

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

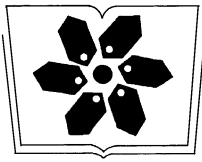
Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **2012**

中国生态学学会
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 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨 健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨 柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩 磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏 岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍 昊, 王 笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜 林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王 琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑 燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹 雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金 川, 王金旺, 郑 坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张 萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷 伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王 鑫, 等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠 腾, 李 蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流域河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄 玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷 燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王 娜, 邵 晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常 亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李 芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖 强, 胡 翀, 肖 洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹 科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温 腾, 徐德琳, 徐 驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石 蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾 伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔, 高 阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一,它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧,延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中,海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下,来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升,给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时,山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布,翠峰直插云霄,森林茂密苍郁,溪流碧澄清澈,奇花异葩繁多,风景美如画卷,气势壮丽非凡。

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

DOI: 10.5846/stxb201105160630

杨柳, 李泳慧, 王俊才, 杨玉格, 丁振军. 基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价. 生态学报, 2012, 32(11): 3313-3322.

Yang L, Li Y H, Wang J C, Yang Y G, Ding Z J. The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3313-3322.

基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价

杨 柳^{1,*}, 李泳慧¹, 王俊才², 杨玉格¹, 丁振军²

(1. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083; 2. 辽宁省环境监测中心站生态室, 沈阳 110031)

摘要: 基于温榆河底栖动物和水质采样数据, 采用底栖动物完整性指数(B-IBI)方法, 进行温榆河生态健康评价, 并探求河流水质与 B-IBI 指数的相关性。通过分布范围、判别能力以及相关性分析等, 确定研究区 B-IBI 指标体系, 包括总分类单元数、总生物量、优势分类单元个体相对丰度、敏感类群分类单元数、生物指数和粘附者个体丰度 6 个指标。根据参照点 25% 分位数确定温榆河底栖动物完整性评价标准, 即 B-IBI > 1.821 为健康, 1.366—1.821 为亚健康, 0.910—1.366 为一般, 0.455—0.910 为较差, 0—0.455 为极差。结果表明, 温榆河 27.3% 河段处于健康状态, 9.1% 河段处于亚健康状态, 13.6% 河段处于一般状态, 50% 河段处于较差和极差状态。河流水质与 B-IBI 指数的相关系数为 -0.549, 表明生物指标作为水体评价的补充指标十分必要。

关键词: 大型底栖动物; 河流生态健康; B-IBI 指数; 水质

The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River

YANG Liu^{1,*}, LI Yonghui¹, WANG Juncai², YANG Yuge¹, DING Zhenjun²

1 China University of Mining & Technology, Beijing, Beijing 100083, China

2 Liaoning Environmental Monitoring & Experiment Center, Shenyang 110031, China

Abstract: By applying the Benthic-Index of Biotic Integrity (B-IBI) to benthic macro-invertebrate and water quality data, we evaluate the health of Wenyu River and explore the relationship between water quality and B-IBI. Macro-invertebrate and water samples are collected from 22 river sites, where 4 are unimpaired or minimally impaired sites and 18 are impaired sites. We mainly consider twenty candidate metrics of macro-invertebrate and twelve water quality indexes. These twenty candidate metrics are total number of taxa, EPT taxa, Crustacea and Mollusca taxa, hironomidae taxa, total biomass, dominant taxa individual relative abundance, the first three dominant taxa individual relative abundance, Trichoptera individual relative abundance, Ephemeroptera individual relative abundance, Tubificida individual relative abundance, Chironomidae individual relative abundance, Hirudinea individual relative abundance, Crustacea and Mollusca individual relative abundance, number of sensitive taxa, tolerant taxa individual relative abundance, sensitive taxa individual relative abundance, biomass percentage of tolerant taxa, biomass percentage of sensitive taxa, BI index and clinger individual relative abundance and twelve water quality indexes are dissolved oxygen (DO), temperature, PH, total suspended solids (TSS), conductance, COD_{mn}, BOD₅, total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), ammonia nitrogen (NH₃), nitrate (NO₃⁻) and nitrite (NO₂⁻). The main results are given as follows:

1) Among these 20 cross box-plots of candidate metrics between reference site (unimpaired sites) and impaired sites,

基金项目: 国家自然科学基金(40901295); 国家杰出青年基金项目(40924003); 国家重点基础研究发展计划 973 计划课题(2007CB407300); 海河流域水生态功能一级二级分区研究(2008ZX07526)

收稿日期: 2011-05-16; **修订日期:** 2011-09-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yang_l@126.com

12 metrics have the higher IQ (interquartile ranges, $IQ \geq 2$). They are total number of taxa, EPT taxa, Crustacea and Mollusca taxa, total biomass, dominant taxa individual relative abundance, the first three dominant taxa individual relative abundance, Ephemeroptera individual relative abundance, number of sensitive taxa, sensitive taxa individual relative abundance, biomass percentage of tolerant taxa, and clinger individual relative abundance.

2) Since BI index does not follow the normal distribution, we use Pearson's correlation coefficient to evaluate the relationship between the remained 11 metrics. Metrics that are strongly correlated ($r > 0.75$) indicate the overlapped information, and we choose one of them as a surrogate. Based on the above analysis, the B-IBI of Wenyu River including total number of taxa, total biomass, relative abundance of the first dominant taxa individuals, number of sensitive taxa and relative abundance of clinger individuals, are constructed.

3) We use 25% percentile of B-IBI value in reference sites to determine the criteria of health ranking and divide the distribution range below 25% percentile into 4 quarters. The criterion for the benthic macro-invertebrate in Wenyu river is B-IBI > 1.821 , $1.366-1.821$, $0.910-1.366$, $0.455-0.910$ and $0-0.455$, which are corresponding to health, sub-health, fair condition, poor condition and very poor condition, respectively.

4) We find that 27.3% of the river reaches are in health condition, 9.1% are in sub-health condition, 13.6% are in general condition, and 50% are in poor and very poor conditions.

5) The correlation coefficient between B-IBI value and water quality of Wenyu River is -0.549 , which indicates that the biological index, such as benthic macro-invertebrate, should be taken into account for water environmental assessment.

Key Words: benthic macro-invertebrate; river ecosystem health; B-IBI index; water quality

近年来,随着人类活动对河流生态系统影响的加剧,已造成全球范围的河流生态系统破坏^[1-4]。河流生态健康问题引起各国政府与学术界重视,国内外学者开展了大量相关研究^[4-14]。河流生态健康评价机理已成为近年来国际研究热点的问题之一^[4,14]。

生物完整性指数 (Index of Biotic Integrity, 简称 IBI), 最早由 Karr 提出, 用多个生物参数综合反应水体的生物学状况, 评价河流乃至整个流域的健康^[2]。目前, 澳大利亚、美国等广泛使用 IBI 方法评价河流生态健康^[15-19]。我国应用 B-IBI 方法评价河流健康方面起步较晚, 王备新、李强、张远等分别根据底栖动物参数, 建立了祁门县溪流、西苕溪、辽河生态系统健康评价的 IBI 标准^[20-24]。河流生态系统中, 大型底栖无脊椎动物因其不易移动, 具有较长生活周期, 能够稳定反映水体污染变化, 成为水环境评价的最佳选择^[25]。

为进一步探求河流健康评价机理, 本研究选择大型无脊椎动物为河流健康评价的指示生物, 以北京温榆河为例, 根据 B-IBI 指数构建方法, 研究构建北京温榆河 B-IBI 评价指标体系与健康评价标准, 刻画温榆河底栖动物群落完整性, 评价河流生态健康状况。

1 研究区域概况

温榆河, 又称北京市的“母亲河”, 发源于北京燕山南麓的昌平、延庆、海淀一带, 属于北运河水系, 是北京市五大水系之中唯一发源于境内且常年有水的河流, 全长约 47.5 km, 流域面积 2478 km²。温榆河流域内降雨量年际和年内分配极不均衡, 多年平均降水量约为 600 mm, 其中 80% 集中在汛期 6—9 月, 多年平均径流量约 3.5 亿 m³, 其中污水量占 60%—70%^[26]。温榆河流经地区经济发达, 人口稠密, 担负着排洪和城市排污的任务, 其水质受到严重污染^[27]。

2 数据来源

根据《水和废水监测分析方法》的采样原则, 结合实际进行样点布设。温榆河上游分布 11 个样点、中游分布 5 个样点、下游分布 3 个样点, 共 22 个样点 (图 1)。依据 Barbour 无干扰样点和干扰极小样点作为参照点的评价标准^[28], 结合实地考察, 研究区确定了 4 个参照点, 18 个受损点。

本研究采用的底栖生物数据为 2011 年 3 月春季样。底栖生物样品采集是以采样点 (小于 1 m 深的河岸

2), 随干扰加强而减小的候选生物指数, 若上述分值变化不明显, 说明表现的信息指示作用不强, 如 M8、M13、M18, 故予以删除; 随干扰加强而增大的候选生物指数, 若上述分值变化较大, 对信息的波动性较大, 但随干扰增强的 7 个生物指数, 波动性不大, 故予以保留。

表 1 候选生物指标及其对干扰的反应

Table 1 Candidate metrics and their expected direction of response to disturbance

指标类型 Index of type	序号 Serial Number	生物指数 Metrics	对干扰的反应 Responses to Disturbance
群落丰富度 Community richness	M1	总分类单元数	减小
	M2	EPT 分类单元数	减小
	M3	甲壳动物和软体动物分类单元数	减小
	M4	摇蚊分类单元数	减小
	M5	总生物量	减小
个体种类比例 The proportion of individual species	M6	优势分类单元个体相对丰度	增大
	M7	前 3 位优势分类单元个体相对丰度	增大
	M8	毛翅目个体相对丰度	减小
	M9	蜉蝣目个体相对丰度	减小
	M10	颤蚓个体相对丰度	增大
	M11	摇蚊个体相对丰度	增大
	M12	蛭纲个体相对度	增大
	M13	甲壳动物和软体动物个体相对丰度	减小
生境耐污及污 染情况 Habitat tolerance and pollution	M14	敏感类群分类单元数	减小
	M15	耐污类群的个体相对丰度	增大
	M16	敏感类群的个体相对丰度	减小
	M17	耐污类群的生物量百分比	增大
	M18	敏感类群的生物量百分比	减小
小生境质量 Habitat quality	M19	BI 指数	增大
	M20	粘附者个体相对丰度	减小

表 2 20 个生物指数值在参照点的分布情况

Table 2 Distribution of 20 metrics in reference sites

生物学指数 Metrics	平均值 Average	标准差 SD	25% 分位数 25% ile	中位数 Median	75% 分位数 75% ile
M1	10.00	1.87	8.00	10.00	11.00
M2	1.75	0.50	1.00	2.00	2.00
M3	1.25	0.96	0.00	1.50	2.00
M4	4.25	1.26	3.00	4.00	6.00
M5	7.31	12.37	0.71	1.32	1.58
M6	0.36	0.18	0.24	0.29	0.33
M7	0.71	0.178	0.53	0.67	0.70
M8	0.07	0.9	0.00	0.04	0.06
M9	0.09	0.10	0.02	0.03	0.06
M10	0.16	0.18	0.00	0.15	0.31
M11	0.48	0.23	0.19	0.52	0.65
M12	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01
M13	0.07	0.01	0.00	0.05	0.09
M14	2.00	2.16	0.00	1.50	2.00
M15	0.49	0.21	0.28	0.49	0.64
M16	0.09	0.13	0.00	0.04	0.06
M17	0.37	0.33	0.02	0.33	0.40
M18	0.04	0.05	0.00	0.03	0.04
M19	7.11	1.18	5.63	7.15	7.33
M20	0.14	0.17	0.00	0.09	0.11

2) 判别能力分析

据 Barbour 方法^[28-29],比较参照点和受损点在 25%—75% 分位数范围即箱体 IQ 的重叠情况,并分别赋予不同的值:没有重叠,IQ=3;部分重叠,但各自中位数值都在对方箱体范围之外,IQ=2;仅一个中位数值在对方箱体范围之内,IQ=1;各自中位数值都在对方箱体范围之内,IQ=0。只有 IQ≥2 的参数才作进一步分析,故删除 M4、M10、M11、M12 和 M15。

3) 相关性分析

基于 SPSS11.8 统计分析软件,对余下 12 个参数进行正态分布检验,结果显示,除 M19 外(直接列入指标体系),其余 11 个参数均不符合正态分布,故对这 11 个参数进行 spearman 相关分析(表 3),使最后构成 IBI 指标体系的每个指数都至少提供一个新的信息,避免重复信息。如果两个指数间的相关系数 $r>0.75$,表明两个指数间所反应信息大部份是重叠的,选其中一个指标即可。根据相关系数(表 3),考虑指数重要性,并结合指标体系需反映群落丰度、个体数量比例、生物耐污能力和小生境质量 4 方面信息,最终确定温榆河 B-IBI 的指数包括总分类单元数、总生物量、优势分类单元个体相对丰度、敏感类群单元数、生物指数和粘附者个体相对丰度 6 个指标。

表 3 11 个候选生物指数间的 Spearman 相关性系数
Table 3 Spearman's correlation matrix of 11 candidate metrics

指标 Metrics	M1	M2	M3	M5	M6	M7	M9	M14	M16	M17	M20
M1	1										
M2	0.747 **	1									
M3	0.642 **	0.814 **	1								
M5	0.267	0.112	0.260	1							
M6	-0.830 **	-0.672 **	-0.487 *	-0.044	1						
M7	-0.893 **	-0.663 **	-0.504 *	0.043	0.903 **	1					
M9	0.741 **	0.996 **	0.766 **	0.072	-0.676 **	-0.663 **	1				
M14	0.671 **	0.888 **	0.687 **	0.105	-0.654 **	-0.676 **	0.879 **	1			
M16	0.671 **	0.888 **	0.687 **	0.105	-0.654 **	-0.676 **	0.879 **	1	1		
M17	-0.827 **	-0.789 **	-0.632 **	-0.099	0.774 **	0.771 **	-0.782 **	-0.654 **	-0.654 **	1	
M20	0.696 **	0.650 **	0.486 *	0.198	-0.732 **	-0.639 **	0.644 **	0.778 **	0.778 **	-0.583 *	1

* *: 置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的; *: 置信度(双侧)为 0.05 时,相关性是显著的

3.1.3 生物学指标记分标准的建立

如何建立 B-IBI 指标体系评价标准,王备新等^[20]对比了 3 分制、4 分制和比值法,发现比值法具有更高的稳定性及准确度,故研究采用比值法进行指标体系计算,即干扰越强,指数值越低的指数,以 95% 分位数值为最佳值,各指数的分值等于指数值除以 95% 分位数值。对于干扰越强,指数值越高的指数,则以 5% 分位数值为最佳值(表 4)。该法规定,经计算后的分值的分布范围为 0—1,如果大于 1,则都记为 1,对于计算结果求和。

表 4 比值法计算 6 个指数的计算公式
Table 4 Formulas for calculation of 6 metrics using the ratio method

指数 Metrics	分值计算公式 Equation
总分类单元数 M1	$M1/11.15$
总生物量 M5	$M5/15$
优势分类单元个体相对丰度 M6	$(0.988-M6)/(0.988-0.204)$
敏感类群分类单元数 M14	$M14/2.45$
BI 指数 M19	$(10.296-M19)/(10.296-4.789)$
粘附者个体相对丰度 M20	$M20/0.149$

按照参照点 B-IBI 值分布的 25% 分位数法进行指标体系的最终划分,如果样点的 B-IBI 值大于等于 25% 分位数值,则表示该样点受到的干扰很小,是健康的。小于 25% 分位数值的分布范围,根据需要可以 4 等分,分别代表不同的健康程度,最终确定温榆河底栖动物完整性评价标准(表 5)。

表 5 温榆河流域底栖动物完整性评价标准
Table 5 The criteria of benthic-index of biotic integrity in Wenyu River

健康 Health	亚健康 Sub-health	一般 Fair	差 Poor	极差 Very poor
>1.82	1.37—1.82	0.91—1.37	0.46—0.91	0—0.46

3.2 多元统计分析

采用 SPSS11.8 统计软件,对温榆河水质指标进行主成分分析,分析该河流的主要污染因子,其详细计算方法另在文献 30 中介绍。另外,为验证 B-IBI 指数作为河流健康评价方法的合理性,以及在水体评价中是否需要在水生态健康评价,研究对温榆河水质与 B-IBI 指数进行了相关性分析。首先,为避免水质指标量纲对结果的干扰,对 19 个样点的水质理化指标进行最大最小值标准化处理,即(具体水质指标值-MIN)/(MIX-MIN),对各样点标准化值进行累加,获得河流不同样点的综合水质数据。然后,采用 SPSS11.8 对各样点综合水质数据与其对应的 B-IBI 指数进行相关分析。

4 研究结果

4.1 温榆河流域底栖动物群落特征

温榆河流域底栖动物物种丰富度为 46 种,其中水生昆虫 36 种(摇蚊科 21 种),寡毛类 4 种,蛭类 2 种,甲壳动物 1 种,软体动物 3 种。优势物种为浅白雕翅摇蚊,其所占百分比为 32.8%,其耐污值为 8^[31],为强耐污类群,主要集中在北沙河桥北与土沟村桥。

全流域范围内,60.9% 的底栖生物为耐污类群,TV ≥ 7;23.9% 的底栖生物为中间类群,TV 为 3—7;仅有 15.2% 的底栖生物为敏感类群,TV ≤ 3。温榆河以耐污类群为优势物种,其污染情况较为严重,敏感类群很难生存。总体上,温榆河流域底栖生物物种丰富度较高,但全流域范围内底栖动物组成以耐污类群为主,说明水体生态环境质量较差。

4.2 温榆河流域河流生态健康状况

温榆河底栖生物完整性评价结果表明,温榆河采样点中 27.3% 为健康,9.1% 为亚健康,13.6% 为一般,13.6% 为差,36.4% 为极差(表 6)。采用克里金插值法对全流域河段进行健康状况评估,获得全河段生态健康状况的分布状况(图 2)。温榆河水系支流样点大多为较差和极差状况,表明该流域范围内人类活动对水环境和生态系统的胁迫作用相对比较严重。

表 6 温榆河流域各样点健康状况
Table 6 Statues of health of sites in Wenyu River

样点序号 Site number	样点类别 Site category	IBI 指数 IBI value	综合水质 Synthesized water quality	健康状况 States of health
温泉桥	受损点	0.00	3.35	极差
前沙涧桥	受损点	0.00	4.25	极差
稻香湖	受损点	2.16	2.30	健康
上庄水库	受损点	0.99	1.57	一般
沙河水库	受损点	1.74	2.70	亚健康
南沙河桥	受损点	0.00	2.97	极差
北沙河桥北	受损点	1.27	3.62	一般
朝宗桥	受损点	1.52	2.66	亚健康
响潭水库	参考点	5.43	0.30	健康

续表

样点序号 Site number	样点类别 Site category	IBI 指数 IBI value	综合水质 Synthesized water quality	健康状况 States of health
羊台子东	参考点	7.49	-0.32	健康
羊台子西	参考点	3.22	0.02	健康
羊台子混合	参考点	1.82	-0.08	健康
南庄水库	受损点	1.26	0.95	一般
肖村桥	受损点	0.00	5.75	极差
沙沟桥西	受损点	0.45	0.09	极差
沙沟桥东	受损点	0.78	2.29	差
秦屯河	受损点	0.00	3.45	极差
土沟村桥	受损点	1.88	4.07	健康
辛堡闸	受损点	0.38	2.70	极差
清河滨河路桥	受损点	0.73	2.37	差
小中河桥	受损点	0.32	2.10	极差
尹各庄桥	受损点	0.66	3.43	较差

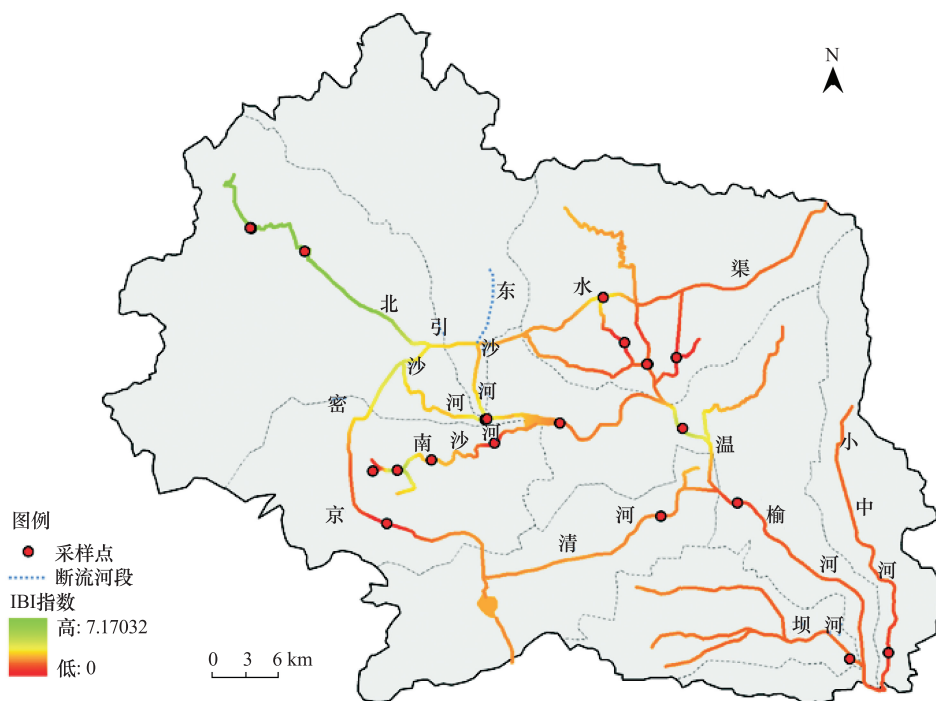


图2 温榆河流域河流生态健康状况分布

Fig. 2 Distribution for Statues of health of sites from Wenyu River

温榆河上游及源头地区(S8 朝宗桥,S9 响潭水库,S10 羊台子东,S11 羊台子西,S12 羊台子混合)河流生态健康状况较好(图2),该区受人类活动影响相对较小,而温榆河中下游地区河流生态健康状况处于极差和较差状态,其中下游主要分布在海淀,昌平,朝阳3个城区,受城市化的影响较重。

4.3 河流水质状况及其与 B-IBI 的相关关系

水质分析结果显示,温榆河流域属于有机污染类型,主要污染因子为 TN、NH₃-N、TP、COD_{Mn}、BOD₅ 等^[27]。温榆河综合水质与 B-IBI 相关分析结果表明,二者具有负相关,相关系数为-0.549。但相关系数较低,这可能说明无法完全用水质理化指标代表河流生态健康状况。目前,国家水质标准中仅规定了水体的理化指标表

针,本研究表明,河流水质理化指标与底栖生物完整性的相关系数较低,即水质理化指标较好的河段,其底栖生物群落完整性不一定较好,因此,在水体评价中既要考虑水质理化性质也需考虑河流生态健康状况。

5 讨论

5.1 参考点的选择

参照点位的确定是制定标准的关键性因素^[22],原则上依据 Barbour 无干扰样点和干扰极小样点作为参照点的评价标准。无干扰点标准是指样点上游无农田分布、森林覆盖率 90% 以上,干扰极小样点的标准是样点上游无点污染源、样点上游 5 km 之内无村庄、上游两侧 100 m 宽 5 km 长的范围内无农田^[23]。由于温榆河为城市河流,划分时适当降低了此标准,结合水质状况,确定温榆河流域的参照点位选取条件。研究发现,参照点选择不同,对研究结果具有一定影响,因此,需对参考点选择方法的科学性进行深入研究,利于河流生态健康的进一步科学定量评价。

5.2 B-IBI 指数构成

通过 B-IBI 候选指数分布范围分析、判别能力分析和相关分析等过程,筛选出研究区 B-IBI 指数的 6 个指标。国内不同学者研究结果来看(表 7),辽河与祁门县溪流的指标构成 5 个指标基本相同,其他地区的 B-IBI 指标均呈现较大差异性。候选指标的筛选结果受多种因素影响,其中影响最大的是研究区所处的生态区,另外,采样方法、鉴定方法的准确性和数据处理的准确性也会在一定程度上对筛选结果造成一定影响。综合国内现有研究成果,总分类单元数在各河流健康评价中均作为评价指标,而前 3 位优势分类单元个体相对丰度和 BI 指数在多数河流健康评价中应用,此 3 个指标可作为其它河流健康评价的推荐指标。因指标确定受研究河流具体底栖生物群落差异影响较大,因此,在实际评价中,必须对候选指标进行科学筛选,以确保评价指标选择的准确性。

表 7 国内不同河流健康评价 B-IBI 指数构成

Table 7 The river health assessment index components of B-IBI of different rivers in China

河流名称 Name of river	河流长度 River length /km	流域面积 River area /km ²	B-IBI 指数构成 Component of Benthic- Index of Biotic Integrity (B-IBI)															
			总分 类单 元数	前 3 位优 势分 类单 元个 体 /%	耐污 类群 /%	捕食 者 /%	BI 指数	多样 性指 数	EPT 分类 单元 数	粘附 者 /%	敏感 类群 /%	敏感 类群 单元 数	摇蚊 分类 单元 数	鞘翅 目 /%	纹食 蛾科 /%	滤食 者 /%	总密 度	总生 物量
祁门县溪流 ^[19]	—	9807	*	*	*	*	*	*										
西苕溪 ^[20]	157	2200	*	*	*	*			*	*	*							
辽河 ^[21]	706	2.19×10 ⁵	*	*		*	*	*	*									
挠力河 ^[32]	—	2.3×10 ⁴	*	*	*	*	*											
长江口 ^[33]	1.8×10 ⁶	—	*		*					*	*	*	*					
温榆河	47.5	2478	*	*	*		*	*			*							

* : 选中指标, —: 无数据; 总分单元数 Number of total taxa; 优势分类单元个体百分数 Relative abundance of the first dominant taxa individuals; 前 3 位优势分类单元百分比 Relative abundance of the first three dominant taxa individuals; 耐污类群百分比 Relative abundance of the tolerant taxa individuals; 捕食者百分比 Relative abundance of the predators; BI 指数 Biotic index; 多样性指数 Shannon-Wiener diversity index; EPT 分类单元数 Number of EPT taxa; 粘附者 Relative abundance of clinger individuals; 敏感类群 Relative abundance of the sensitive taxa; 敏感类群分类单元数 Number of the sensitive taxa; 摇蚊分类单元数 Number of chironomidae taxa; 鞘翅目 Relative abundance of the coleoptera individuals; 纹食蛾科/毛翅目 Relative abundance of the hydropsychidae/trichoptera individuals; 滤食者 Relative abundance of the filterers individuals; 总密度 Total density; 总生物量 Total biomass; 甲壳类密度 Percentage of carapace density; 棘皮动物密度 Percentage of echinoderms density

5.3 B-IBI 指数的适用性

国内外学者一般选用级别较高的河流为对象建立底栖动物完整性评价标准,而温榆河属于级别较小的城市河流。Paller 等人的相关研究表明运用底栖生物监测水质与溪流的级别不存在显著相关关系^[32],表明运用 IBI 指数评价城市河流的合理性。本研究对温榆河流域的底栖生物完整性指数及其标准进行了初步分析,尽

管评价结果与水质具有一定相关性,能够反映出城市河流健康状况,但仍需要进行长期观测和研究,健全 IBI 指数评价河流健康的理论体系与实证研究。

6 结论

本研究以北京温榆河为例,探讨了 B-IBI 指数在河流生态健康评价中应用的合理性和可行性,为丰富河流健康评价指标的选择提供了科学依据。通过 B-IBI 候选指数分布范围、相关关系和判别能力分析等过程筛选,温榆河流域 B-IBI 指数由总分类单元数、总生物量、优势分类单元个体相对丰度、敏感类群分类单元数、生物指数和粘附者个体相对丰度 6 个指标构成;研究区底栖生物群落特征表现为物种丰富度为 46,其中,60.9% 的底栖生物为耐污类群,23.9% 的底栖生物为中间类群,15.2% 的底栖生物为敏感类群。温榆河流域底栖生物群落的优势物种为浅白雕翅摇蚊,为强耐污类群;温榆河流域 B-IBI 评价结果表明,河流采样点的 50% 为较差和极差,均位于干流及城区,受乡镇城市化影响强烈;27.3% 为健康,9.1% 为亚健康,主要位于温榆河上游及源头地区。B-IBI 指数与河流水质相关系数为-0.549,说明生物指标需作为河流水体评价的指标,B-IBI 指数应用于温榆河流域具有可行性。

致谢:中国科学院数学与系统科学研究院的李启寨副研究员对本文写作给予帮助,特此致谢。

References:

- [1] Tang T, Cai Q H, Liu J K. River ecosystem health and its assessment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9):1191-1194.
- [2] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 1981, 6(6):21-27.
- [3] Pinto U, Maheshwari B L. River health assessment in peri-urban landscapes: an application of multivariate analysis to identify the key variables. *Water Research*, 2011, 45(13):3915-3924.
- [4] Zhao Y W, Yang Z F. Preliminary study on assessment of urban river ecosystem health. *Advances in Water Science*, 2005, 16(3):349-355.
- [5] Norris R H, Thoms M C. What is river health? *Freshwater Biology*, 1999, 41:197-209.
- [6] Meng W, Zhang N, Zhang Y, Zheng B H. Integrated assessment of river health based on water quality, aquatic life and physical habitat. *Journal of Environmental Sciences*. 2009, 21(8):1017-1027
- [7] Shi W P, Liu L, Wang Z. Research on setting up River Ecological Restoration Systems of Tiaoxi River Valley in Taihu Lake Basin. *Journal of Hydroecology*, 2010, 3(1):121-124
- [8] Zhang F L, Liu J L, Yang Z F. Ecosystem health assessment of urban rivers and lakes for six lakes in Beijing. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 12(11):3019-3027.
- [9] Johnson R K, Hering D, Furse M T, Verdonschot P F M. Indicators of ecological change: comparison of the early response of four organism groups to stress gradients. *Hydrobiologia*, 2006, 566(1):139-152.
- [10] Li L, Zheng B H, Liu L S. Biomonitoring and bioindicators used for river ecosystems: definitions, approaches and trends. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2:1510-1524.
- [11] Zheng B H, Zhang Y, Li Y B. Study of indicators and methods for river habitat assessment of Liao River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6):928-936.
- [12] Zhang Y, Zhang N, Meng W. River eco-system health assessment based multi-elements for Liao River Basin. *Science and Technology Review*, 2008, 26(17):36-41.
- [13] Wang S Y, Wang J, Han Z L. Study on the river ecological restoration. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(3):178-181.
- [14] Dai J C, Ni J R. Roles of benthos in the aquatic ecosystem health assessment. *Ecology and Environment*, 2008, 17(5):2107-2111
- [15] Mason C F, Parr L B. Long-term trends in water quality and their impact on macroinvertebrate assemblages in eutrophic lowland rivers. *Water Research*, 2003, 37(12):2969-2979.
- [16] Yagow G, Wilson B, Srivastava P, Obropta C C. Use of biological indicators in TMDL assessment and implementation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2006, 49(4):1023-1032.
- [17] Niemi G J, McDonald M E. Application of ecological indicators. *Annual Review. Ecology Evolution, and Systematics*, 2004, 35(1):89-111.
- [18] Birk S, Hering D. A new procedure for comparing class boundaries of biological assessment methods: a case study from the Danube Basin. *Ecological Indicators*, 2009, 9(3):528-539.
- [19] Torrisi M, Scuri S, Dell'Uomo A, Cocchioni M. Comparative monitoring by means of diatoms, macroinvertebrates and chemical parameters of an Apennine watercourse of central Italy: the river Tenna. *Ecological Indicators*, 2010, 10(4):910-913.

- [20] Wang B X, Yang L F, Hu B J, Shan L N. A preliminary study on the assessment of stream ecosystem health in south of Anhui Province using Benthic-Index of Biotic Integrity. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1481-1490.
- [21] Li Q, Yang L F, Wu J, Wang B X. Stream health assessment using a Benthic-Index of Biotic Integrity in Xitiaoxi Stream, Zhejiang Province, China. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2007, 28(9): 2141-2147.
- [22] Zhang Y, Xu C B, Ma X P, Zhang Z, Wang J C. Biotic integrity index and criteria of benthic organisms in Liao River Basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 919-927.
- [23] Wang J H, Tian J H, Lu X G. B-IBI assessment of streams in Naoli River Watershed, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6672-6680.
- [24] Zhou X W, Wang L P, Zheng B H, Liu L S, Fu Q. Estuary health assessment using a Benthic-Index of Biotic Integrity in Yangtze estuary and its adjacent waters. *Environmental Science*, 2009, 30(1): 242-247.
- [25] Dauvin J C, Ruellet T, Desroy N, Janson A L. The ecological quality status of the Bay of Seine and the Seine estuary: use of biotic indices. *Marine Pollution Bulletin*, 2007, 55(1/6): 241-257.
- [26] Zheng F D, Meng Q Y, Wang P J, Jin G Q. Study on status and improvement strategies of water environment in Wenyu River of Beijing. *Beijing Water*, 2007, (5): 5-8.
- [27] Wang F F, Cheng W L. Design of control ability of city ecological environmental quality: a case of Beijing Wenyu River biological corridor. *Research of Environmental Sciences*, 2004, 17(2): 18-21.
- [28] Barbour M T, Gerritsen J, Griffith G E, Frydenborg R, McCarron E, White J S, Bastian M L. A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 1996, 15(2): 185-211.
- [29] Blocksom K A, Kurtenbach J P, Klemm D J, Fulk F A, Cormier S M. Development and evaluation of the Lake Macroinvertebrate Integrity Index (LMII) for New Jersey lakes and reservoirs. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 77(3): 311-333.
- [30] Zhang L P, Pang J, Wang Y C, Yang M Q, Shi Y Y, Yang L. SPSS for water quality assessment of Beijing typical river based on principal component analysis. 2010 International Conference on Digital Manufacturing and Automation. Changsha, 2010: 395-398.
- [31] Wang B X, Yang L F. A study on tolerance values of benthic macroinvertebrate taxa in eastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2768-2775.
- [32] Paller M H, Specht W L, Dyer S A. Effects of stream size on taxa richness and other commonly used benthic bio-assessment metrics. *Hydrobiologia*, 2006, 568(1): 309-316.

参考文献:

- [1] 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态健康及其评价. *应用生态学报*, 2002, 13(3): 1191-1194.
- [4] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探. *水科学进展*, 2005, 16(3): 349-355.
- [7] 施稳萍, 刘凌, 王哲. 太湖苕溪流域河流生态修复体系研究. *水生态学杂志*, 2010, 3(1): 121-124.
- [8] 张凤玲, 刘静玲, 杨志峰. 城市河湖生态系统健康评价——以北京市“六海”为例. *生态学报*, 2005, 12(11): 3019-3027.
- [11] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 928-936.
- [12] 张远, 张楠, 孟伟. 辽河流域河流生态系统健康的多要素评价. *科技导报*, 2008, 26(17): 36-41.
- [13] 王淑燕, 王军, 韩子叻. 河流生态化整治对策研究. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(3): 178-181.
- [14] 戴纪翠, 倪晋仁. 底栖动物在水生生态系统健康评价中的作用分析. *生态环境*, 2008, 17(5): 2107-2111.
- [20] 王备新, 杨莲芳, 胡本进, 单林娜. 应用底栖动物完整性指数 B-IBI 评价溪流健康. *生态学报*, 2005, 25(6): 1481-1490.
- [21] 李强, 杨莲芳, 吴璟, 王备新. 底栖动物完整性指数评价西苕溪溪流健康. *环境科学*, 2007, 28(9): 2141-2147.
- [22] 张远, 徐成斌, 马溪平, 张铮, 王俊臣. 辽河流域河流底栖动物完整性评价指标与标准. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 919-927.
- [23] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流的 B-IBI 评价. *生态学报*, 2009, 29(12): 6672-6680.
- [24] 周晓蔚, 王丽萍, 郑丙辉, 刘录三, 付青. 基于底栖动物完整性指数的河口健康评价. *环境科学*, 2009, 30(1): 242-247.
- [26] 郑凡东, 孟庆义, 王培京, 金桂琴. 北京市温榆河水环境现状及治理对策研究. *北京水务*, 2007, (5): 5-8.
- [27] 王飞飞, 成文连. 城市生态环境质量调控能力设计——以北京市温榆河生物通道设计为例. *环境科学研究*, 2004, 17(2): 18-21.
- [31] 王备新, 杨莲芳. 我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值. *生态学报*, 2004, 24(12): 2768-2775.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)
Review and Monograph	
Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)
Discussion	
Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
Scientific Note	
Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《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 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 11 (June, 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