

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第15期 Vol.32 No.15 **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 15 期

2012 年 8 月 (半月刊)

目 次

放牧对青藏高原东部两种典型高寒草地类型凋落物分解的影响.....	张艳博, 罗 鹏, 孙 庚, 等 (4605)
北京地区外来入侵植物分布特征及其影响因素.....	王苏铭, 张 楠, 于琳倩, 等 (4618)
温带混交林碳水通量模拟及其对冠层分层方式的响应——耦合的气孔导度-光合作用-能量平衡模型	施婷婷, 高玉芳, 袁凤辉, 等 (4630)
洞庭湖景观格局变化及其对水文调蓄功能的影响	刘 娜, 王克林, 段亚锋 (4641)
大辽河口水环境污染生态风险评估.....	于 格, 陈 静, 张学庆, 等 (4651)
标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数	渠晓东, 刘志刚, 张 远 (4661)
不同年龄段大连群体菲律宾蛤仔 EST-SSR 多样性	虞志飞, 闫喜武, 张跃环, 等 (4673)
基于地统计分析西印度洋黄鳍金枪鱼围网渔获量的空间异质性	杨晓明, 戴小杰, 朱国平 (4682)
广东罗坑自然保护区鳄蜥生境选择的季节性差异.....	武正军, 戴冬亮, 宁加佳, 等 (4691)
甘肃兴隆山森林演替过程中的土壤理化性质.....	魏 强, 凌 雷, 柴春山, 等 (4700)
短轮伐期毛白杨不同密度林分土壤有机碳和全氮动态.....	赵雪梅, 孙向阳, 康向阳, 等 (4714)
放牧对呼伦贝尔草地植物和土壤生态化学计量学特征的影响.....	丁小慧, 官 立, 王东波, 等 (4722)
UV-B 辐射增强对抗除草剂转基因水稻 CH ₄ 排放的影响	娄运生, 周文麟 (4731)
基于核磁共振波谱的盐芥盐胁迫代谢组学分析.....	王新宇, 王丽华, 于 萍, 等 (4737)
广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定.....	胡春锦, 林 丽, 史国英, 等 (4745)
不同稻蟹生产模式对土壤活性有机碳和酶活性的影响.....	安 辉, 刘鸣达, 王耀晶, 等 (4753)
大兴安岭火烧迹地恢复初期土壤微生物群落特征.....	白爱芹, 傅伯杰, 曲来叶, 等 (4762)
川西北冷杉林恢复过程中土壤动物群落动态.....	崔丽巍, 刘世荣, 刘兴良, 等 (4772)
内生真菌角担子菌 B6 对连作西瓜土壤尖孢镰刀菌的影响	肖 逸, 戴传超, 王兴祥, 等 (4784)
西江颗粒直链藻种群生态特征.....	王 超, 赖子尼, 李跃飞, 等 (4793)
大型人工湿地生态可持续性评价.....	张依然, 王仁卿, 张 建, 等 (4803)
孢粉、炭屑揭示的黔西高原 MIS3b 期间古植被、古气候演变	赵增友, 袁道先, 石胜强, 等 (4811)
树干径流对梭梭“肥岛”和“盐岛”效应的作用机制	李从娟, 雷加强, 徐新文, 等 (4819)
豆科作物-小麦轮作方式下旱地小麦花后干物质及养分累积、转移与产量的关系	杨 宁, 赵护兵, 王朝辉, 等 (4827)
一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因.....	刘义豪, 宋秀凯, 靳 洋, 等 (4836)
盐城国家级自然保护区景观格局变化及其驱动力.....	王艳芳, 沈永明 (4844)
城市屋顶绿化资源潜力评估及绿化策略分析——以深圳市福田区为例.....	邵天然, 李超骥, 曾 辉 (4852)
黄河三角洲区域生态经济系统动态耦合过程及趋势.....	王介勇, 吴建寨 (4861)
重庆市生态功能区蝴蝶多样性参数	李爱民, 邓合黎, 马 琦 (4869)
专论与综述	
干旱半干旱区不同环境因素对土壤呼吸影响研究进展.....	王新源, 李玉霖, 赵学勇, 等 (4890)
土壤呼吸的温度敏感性——全球变暖正负反馈的不确定因素.....	栾军伟, 刘世荣 (4902)
森林土壤甲烷吸收的主控因子及其对增氮的响应研究进展.....	程淑兰, 方华军, 于贵瑞, 等 (4914)
湖泊氮素氧化及脱氮过程研究进展	范俊楠, 赵建伟, 朱端卫 (4924)
研究简报	
刈割对人工湿地风车草生长及污水净化效果的影响.....	吕改云, 何怀东, 杨丹菁, 等 (4932)
学术信息与动态	
全球气候变化与粮食安全——2012 年 Planet Under Pressure 国际会议述评	安艺明, 赵文武 (4940)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-08



封面图说: 水杉是中国特有种, 国家一级保护植物, 有植物王国“活化石”之称, 是 1946 年由中国的植物学家在湖北的利川磨刀溪发现的。水杉曾广泛分布于北半球, 第四纪冰期以后, 水杉属的其他种类全部灭绝, 水杉确在中国川、鄂、湘边境地带得以幸存, 成为旷世奇珍。水杉耐水, 适应力强, 生长极为迅速, 其树干通直挺拔, 高大秀颀, 树冠呈圆锥形, 姿态优美, 枝叶繁茂, 入秋后叶色金黄。自发现后被人们在中国南方广泛种植, 成为著名的绿化观赏植物, 现在中国水杉的子孙已遍及中国和世界 50 多个国家和地区。

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

DOI: 10.5846/stxb201107181065

渠晓东, 刘志刚, 张远. 标准化方法筛选参照点构建大型底栖动物生物完整性指数. 生态学报, 2012, 32(15): 4661-4672.

Qu X D, Liu Z G, Zhang Y. Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(15): 4661-4672.

标准化方法筛选参照点构建 大型底栖动物生物完整性指数

渠晓东¹, 刘志刚^{1, 2}, 张 远^{1, *}

(1. 环境基准与风险评估国家重点实验室, 流域水生态保护技术研究室, 中国环境科学研究院, 北京 100012;

2. 河北联合大学建筑工程学院, 唐山 063009)

摘要:依据浑太河流域 340 个样点的栖息地和水质评价结果, 采用标准化方法筛选参照点与受损点, 构建大型底栖动物生物完整性评估指数 (Benthic Macroinvertebrate Index of Biological Integrity, B-IBI), 开展河流健康生物评价研究。标准化方法共筛选出参照点和 6 个受损点构建 B-IBI 指数。B-IBI 指数包括 8 个大型底栖动物核心生物指标, 涵盖了分类单元、相对丰度、耐污特征、优势类群和功能摄食类群的生物指标。利用构建的完整性指数开展浑太河流域健康评价结果显示, 所有样点中“极好”与“好”占 24.8%, “一般”占 27.8%, “差”与“极差”的占 47.4%, 表明浑太河健康状况整体上偏差。B-IBI 指数分值在参照、测试和受损点间的箱线图分布表明验证结果较为可靠; 同时与 2009 年 5 月太子河全流域 70 个样点采用专家经验法构建的大型底栖动物生物完整性指数进行了对比, 结果表明两种方法的评价结果一致性较高, 健康等级完全一致的占 58%, 健康等级只相差一个等级的占 40.6%。B-IBI 与环境要素的回归分析显示, B-IBI 指数与栖息地具有较高的直线线性回归关系 ($R^2=0.25, P<0.01$), 与电导、高锰酸盐指数和氨氮 ($R^2=0.23-0.34, P<0.01$) 均具有极显著的曲线相关关系。3 个水质指标与 B-IBI 指数的回归方程的拐点分别约为 $1000\mu\text{S}/\text{cm}$, $5\text{mg}/\text{L}$ 和 $1.0\text{mg}/\text{L}$, 当 3 个水质指标低于拐点值时, B-IBI 指数表现为显著的下降趋势, 当高于拐点值时, B-IBI 指数的下降趋势明显减弱。表明高锰酸盐指数和氨氮在从清洁水体下降为 III 类的过程中, 对大型底栖动物生物完整性的影响最为强烈。利用标准化方法筛选参照点构建的大型底栖动物完整性指数及其核心参数具有较好的敏感性, 能够指示随人为活动强度增加河流生态系统健康状况的下降, 适用于浑太河流域开展河流健康评估研究。

关键词:标准化方法; B-IBI; 河流健康评价; 浑太河

Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity

QU Xiaodong¹, LIU Zhigang^{1, 2}, ZHANG Yuan^{1, *}

1 State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Laboratory of Riverine Ecological Conservation & Technology, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, 100012, China

2 College of Civil and Architectural Engineering, Hebei United University, Tangshan 063009, China

Abstract: Benthic macroinvertebrate Index of Biological Integrity (B-IBI) was developed of relationships among habitat variables, water quality variables and benthic macroinvertebrate data from 340 sampling sites in the Huntai River for assessment of stream health and standardized reference and impaired sites selection. In this study, 9 reference sites and 6 impaired sites were selected to construct the B-IBI index. Five major benthic macroinvertebrate metric parameters (i. e. taxonomic composition, relative abundance, pollution tolerance characteristics, dominant groups, and functional feeding

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07526-001-02); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (2010KYYW06)

收稿日期:2011-07-18; **修订日期:**2012-07-03

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangyuan@crase.org.cn

groups) were assessed by applying the B-IBI. The results showed that the Huntai River is highly degraded and loss of biological integrity in which 24.8% of sampling sites were in “excellent” and “good” conditions, 27.8% of sampling sites were in “normal” conditions, and 47.4% of sampling sites were in “poor” or “very poor” conditions. The box-plot distributions of B-IBI were highly clustered within the references sites, impaired sites and test sites indicated that the assessment was reliable. Moreover, the resulting B-IBI was highly correlated with the data set of macroinvertebrates across 70 sampling sites in the Taizi River in May 2009, with 58% of the total sampling sites graded in the same stream health categories and 40.6% of total sampling sites with one grade difference in stream health. This correlation was employed to check the accuracy of the assessment result between standardized sites selection and “expert option” reference sites selection and showed strong consistency between two methods. The regression between the B-IBI and habitat assessment was significant in linear regression ($R^2=0.25, P<0.01$). And the regressions between the B-IBI and conductivity (Cond.), permanganate index (COD_{Mn}) and ammonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) were also significant in curved regressions ($R^2=0.23\text{—}0.34, P<0.01$). According to the regressions, the inflexion values of three water quality variables were around 1,000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (Cond.), 5.0mg/L (COD_{Mn}) and 1.0mg/L ($\text{NH}_3\text{-N}$), respectively. The B-IBI decrease sharply when these water quality variables are lower than the inflexion value and decrease minimally when the concentration is higher than the inflexion value. The COD_{Mn} and $\text{NH}_3\text{-N}$ would have significant effect on the stream health and macroinvertebrates communities when the concentration is higher than the III grade of Chinese surface water standards. The sensitivity of the B-IBI and its component metrics to environmental stressors supports the use of this index for monitoring ecological conditions in streams in the Huntai River.

Key Words: standardized method; B-IBI; river health assessment; Huntai River

应用生物完整性评价河流生态系统健康状况,突破以往以单一水化指标或单一的生物指数来评价水环境质量状况的局限性,能从生态系统的角度更好的反映河流健康状况,已成为河流生态系统管理的重要方法。Karr 认为生物完整性可表征河流生态系统健康状况,最早提出利用生物完整性(Biological Integrity)评价河流健康的概念,并以鱼类为例构建生物完整性指数(IBM)开展河流健康评价^[1]。其后,IBM 的概念和方法被广泛应用于鱼类、大型底栖动物、藻类和浮游生物等水生生物类群。在巴西,Bozzetti 和 Schulz 应用鱼类生物完整性指数(F-IBM)评价南部亚热带地区河流健康状况^[2];Oberdorff 等在法国应用 IBM 评价人类干扰活动对河流健康的影响^[3];在德国,Hering 等探讨了 B-IBM 在当地溪流中的适用性^[4];在墨西哥,IBM 被 Brian 等应用中西部地区不同的土地利用方式对溪流生态系统健康的影响^[5];在日本,Schmitter-Soto 等利用基于鱼类建立的生物完整性指数评价外来物种、富营养化及农药毒害对本州河流健康状况的影响^[6];目前,美国是世界上应用 IBM 评价河流健康状况技术最成熟的国家,应用 B-IBM 评价河流健康状况的已有 48 个州^[7]。

在我国,B-IBM 研究起步较晚,1992 年杨莲芳等应用 EPT 分类单元数及科级生物指数 FBI 来进行水质生物评价^[8],首次将水质生物评价方法引进到中国,随后在 1994 年编著出版了我国第一本水生昆虫学专著,系统的介绍了水质生物评价。在 2005 年,王备新等应用 B-IBM 评价安徽黄山地区溪流河流健康状况^[9]。渠晓东等在 2006 年对香溪河河流健康状况进行了评价^[10]。B-IBM 评价河流健康在我国正在快速的发展当中,并逐渐成为我国河流生态系统管理的重要方法。

生物完整性指数构建是基于参照点与受损点筛选基础上进行的,应用生物完整性指数评价河流健康状况就是通过与参照点河流健康进行对比,评估其余样点河流健康退化程度,因此参照样点的筛选是生物完整性评估方法的关键。在以往研究中多数是采用专家判读法进行参照样点筛选,表现出较大的随机性。针对此问题,本研究以浑太河为例,通过水质标准与栖息地评价结果,对参照样点进行了定量化筛选,构建了 B-IBM 指数,并比较分析了其评价结果与传统专家筛选样点的差异,为生物完整性在我国河流健康评价中的推广应用提供重要的理论支持。

1 实验方法

1.1 研究区域

浑太河位于辽宁省东部地区(122.00°—125.30°E,40.45°—42.30°N),包括浑河和太子河两条水系(图1),二者均发源于长白山脉,浑河长415 km,太子河长413 km,流域总面积 2.73×10^4 km²。该流域属暖温带湿润—半湿润季风气候,地形以丘陵为主,植被类型为落叶阔叶林,多年平均天然径流量为 76.32×10^8 m³,主要集中在6—9月份。浑太河流经我国东北老工业基地,沿途分布有抚顺、沈阳、辽阳、鞍山、本溪等工业城市,长期以来受工业点源污染较重,是我国水污染控制重点地区。

1.2 研究方法

1.2.1 现场调查方法

从2009年5月至2010年6月间,在太子河和浑河开展大型底栖动物调查,设置采样河段340个(图1)。利用索伯网(0.09m²,60目尼龙纱)进行定量采样,每个河段采集3个平行样,以减小采样误差。现场用75%酒精对采集的标本进行固定,并放入500ml样本瓶中。在实验室条件下,对标本进行鉴定和分类。大多数物种鉴定到种或属,摇蚊鉴定到亚科,寡毛类和线虫鉴定到纲^[11-14]。



图1 浑太河流域采样点位分布

Fig.1 The distribution of sample sites in Huntai river basin

采用便携式多参数水质测量仪(型号 YSI-Pro Plus)对 pH、溶氧(DO)、悬浮物(SS)和电导率(EC)进行现场测定。同时现场采集2L水样,在实验室内测定总磷(TP)、5日生化需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、氨氮(NH₃-N)和总氮(TN)。水样采集、保存和室内测定依据我国《水和废水监测分析方法》(第四版)^[15]。根据pH、DO、COD_{Mn}、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N和TP共7项指标,采用单因子评价法进行水质等级划分(国家地表水环境质量标准,GB3838—2002),即7项水质指标中等级最低的指标决定水体水质等级。

本文根据郑丙辉等提出的辽河河流生境质量评价方法^[16],对浑太河采样点河段进行现场评价,该评价指标包括底质异质性、栖境复杂性、流速—水深结合特征、河岸稳定性、河道变化(渠道化情况)、水量状况、水质特性(感官性状)、河岸带植被多样性、河岸带人为活动强度和土地利用类型(土壤营养状况)等,并在此基础上对 10 个指标分别进行打分(满分 200 分),计算栖息地综合指数,分为 5 个等级。

1.2.2 参照点与受损点的筛选

参照点指未受到人为活动干扰或轻度人类活动干扰的样点,受损点指具有明显人为活动干扰的样点,是筛选 IBI 指标的基础^[17]。目前样点筛选尚无统一标准,多依据人工判读^[18-19]。本研究首次采用标准化方法来选择参照点与受损点,其中参照点的水体水质等级为Ⅱ级以上,栖息地质量评价总分为 120 分以上,且栖息地质量评价中的人类干扰强度为最小,河岸带土地利用无耕作土壤,受损点的水体水质等级为Ⅳ以下,栖息地得分小于 90 分,栖息地质量评价中具明显的人为活动痕迹,河岸带有耕作或耕作废弃土壤(表 1)。

表 1 参照点和受损点筛选
Table 1 Sieving of reference sites and impaired sites

样点 Sites	水质等级 Water quality classification	栖息地质量综合评估指数 Integrated habit assessment index	人类干扰强度 Disturbance	河岸带土地利用评估 Riparian landuse
参照点 Reference sites	≥Ⅱ类	>120	人为活动无或极少	无耕作土壤
受损点 Impaired sites	≤Ⅳ	<90	具有明显人为活动	耕作/耕作废弃土壤

1.2.3 评价参数指标体系构建与筛选

在参考北美和欧洲地区河流健康评价指标的基础上^[20-21],基于物种丰富、耐污类型和功能摄食类群等生物特征,构建了大型底栖动物生物完整性指数的候选参数(表 2),力图能够有效开展河流生态系统健康评价。

在上述指标体系中,核心参数筛选,其步骤如下:

大型底栖动物生物完整性评价指标筛选主要包括 3 个步骤,即候选参数分布范围检验、候选参数敏感性分析和候选参数间相关性检验^[22]。

分布范围检验是指对候选参数在所有监测样点中分布频率进行分析的方法,如果参数在样点中分布范围过窄或者存在零值过多情况($\geq 95\%$),将在参数选择中对其进行剔除^[18];

敏感性分析是指分析候选参数对人类活动响应程度的方法,主要是利用箱线图结合单因素方差分析(One-way ANOVA),比较各参数在参照点与受损点间的差异是否达到显著性水平,选择对以人为活动具有显著响应的参数作为评价指标^[18];

相关性分析是指检验候选参数独立性的方法,利用 Pearson 相关性分析(参数符合正态分布)或 Spearman 相关性分析(参数不符合正态分布),剔除相关性较高的参数($|r| > 0.75$)^[19]。

经以上 3 个步骤筛选后,最终确定出 B-IBI 评价指标的核心参数。

1.2.4 B-IBI 评价方法

由于不同评价参数的量纲具有差异,首先对所有评价参数进行利用标准化处理,统一量纲^[22]。本文采用最大最小值法,对每个参数进行标准化处理,标准化后的参数分布范围理论上均为 0—1。然后,根据每个参数的计算值,采用累计加和的方法计算生物完整性指数,采用 95% 分位数值作为健康阈值,后利用四分法确定河流健康分级标准^[18],将河流健康分级为极好、好、一般、差和极差。

为比较本文采用标准化方法选择参照体系的准确性,分别选用太子河 2009 年 5 月(69 个样点,采用专家经验法构建参照体系^[23]和 8 月(与 5 月点位相同,采用标准化方法构建参照体系)大型底栖动物调查数据,采用人工计分法对两次评价中各样点的健康等级进行比较。人工计分法是通过对比两次健康评价的等级,如果两次评价结果一致,则记为 1;如果两次评价结果不同,但仅相差 1 个等级,则记为 0.75;如果两次评价结果相差 2 个等级及其以上,则依次记为 0.50、0.25 和 0。

表 2 大型底栖动物完整性评价候选参数及对人类干扰的反映

Table 2 candidate metrics for B-IBI and their response to human disturbance

参数序号 No.	参数 Attributes	对干扰的反应 Response to disturbance
分类单元数 Taxa		
A1	总分类单元数 Total taxa	下降 Decrease
A2	EPT 分类单元数 EPT taxa	下降
A3	襁翅目分类单元数 Plecoptera taxa	下降
A4	蜉蝣目分类单元数 Ephemeroptera taxa	下降
A5	毛翅目分类单元数 Trichoptera taxa	下降
A6	端足目+软体动物分类单元数 (Amphipoda+Mollusca) taxa	下降
各类群相对丰度 Relative abundance		
A7	襁翅目% Plecoptera%	下降
A8	蜉蝣目% Ephemeroptera%	下降
A9	毛翅目% Trichoptera%	下降
A10	(蜉蝣目+襁翅目+毛翅目)% EPT%	下降
A11	摇蚊科% Chironomidae%	上升 Increase
A12	双翅目% Diptera%	上升
A13	(端足目+软体动物)% (Amphipoda+Mollusca) %	上升
A14	寡毛类% Oligochaeta%	上升
敏感和耐污类群 Tolerant and intolerant		
A15	敏感类群分类单元数 Intolerant taxa	下降
A16	耐污类群% Tolerant taxa%	上升
优势类群 dominant group		
A17	最优势类群% dominant taxon%	上升
功能摄食类群 Functional feeding group		
A18	滤食者% Filterers%	上升
A19	刮食者% Scrapers%	下降
A20	直接收集者% Collect-Gatherers%	上升
A21	捕食者% Predators%	下降
A22	撕食者% Shredders%	下降
生态型 Habitat		
A23	粘附者% Clingers%	下降
A24	粘附者分类单元数 Clingers taxa	下降
多样性指数 Biodiversity Index		
A25	香农-维纳多样性指数 Shannon-Wiener index	下降
A26	马格列夫指数 Margalef's Index	下降
A27	均匀度指数 Evenness Index	下降
A28	辛普森指数 Simpson's Diversity (1- Dominance)	下降

2 结果

2.1 样点选择

通过参照点和受损点的筛选标准,共筛选参照样点 9 个,受损样点 6 个。参照点与受损点的主要理化参数表明,参照点栖息地综合指数显著高于受损点,且各水质指标与受损点存在显著差异(表 3)。

2.2 B-IBI 指数构建

对所有大型底栖动物参数的分布范围检验表明,全部候选参数的分布范围适中,且出现零值的频率均小于 95%,因此,全部候选指标都符合条件。

敏感性分析表明总分类单元数、EPT 分类单元数、襁翅目分类单元数和浮游目分类单元数等 20 个候选参数在参照点和受损点间具有显著差异(图 2),对人为活动干扰表现出较为稳定的变化趋势,撕食者%、均匀度指数、(端足目+软体动物)% 和襁翅目% 等 8 个指标予以剔除;

表 3 参照和受损点位水质与生境指数(均值±标准差)

Table 3 State of water quality and IHAI* between reference and impaired sites (Mean±SD)

	IHAI*	pH	ρ/(mg/L)					
			DO	TP	BOD ₅	COD _{Cr}	COD _{Mn}	
参照点(R)	142.33±12.93	8.50±0.27	10.68±2.79	0.04±0.03	1.09±1.05	10.38±2.54	1.54±0.90	0.21±0.14
受损点(I)	74.33±13.33	7.85±0.58	7.45±6.22	0.66±1.17	5.02±0.61	38.95±8.78	3.43±1.57	0.42±0.59

* 栖息地综合指数 Integrated habitat assessment index (IHAI)

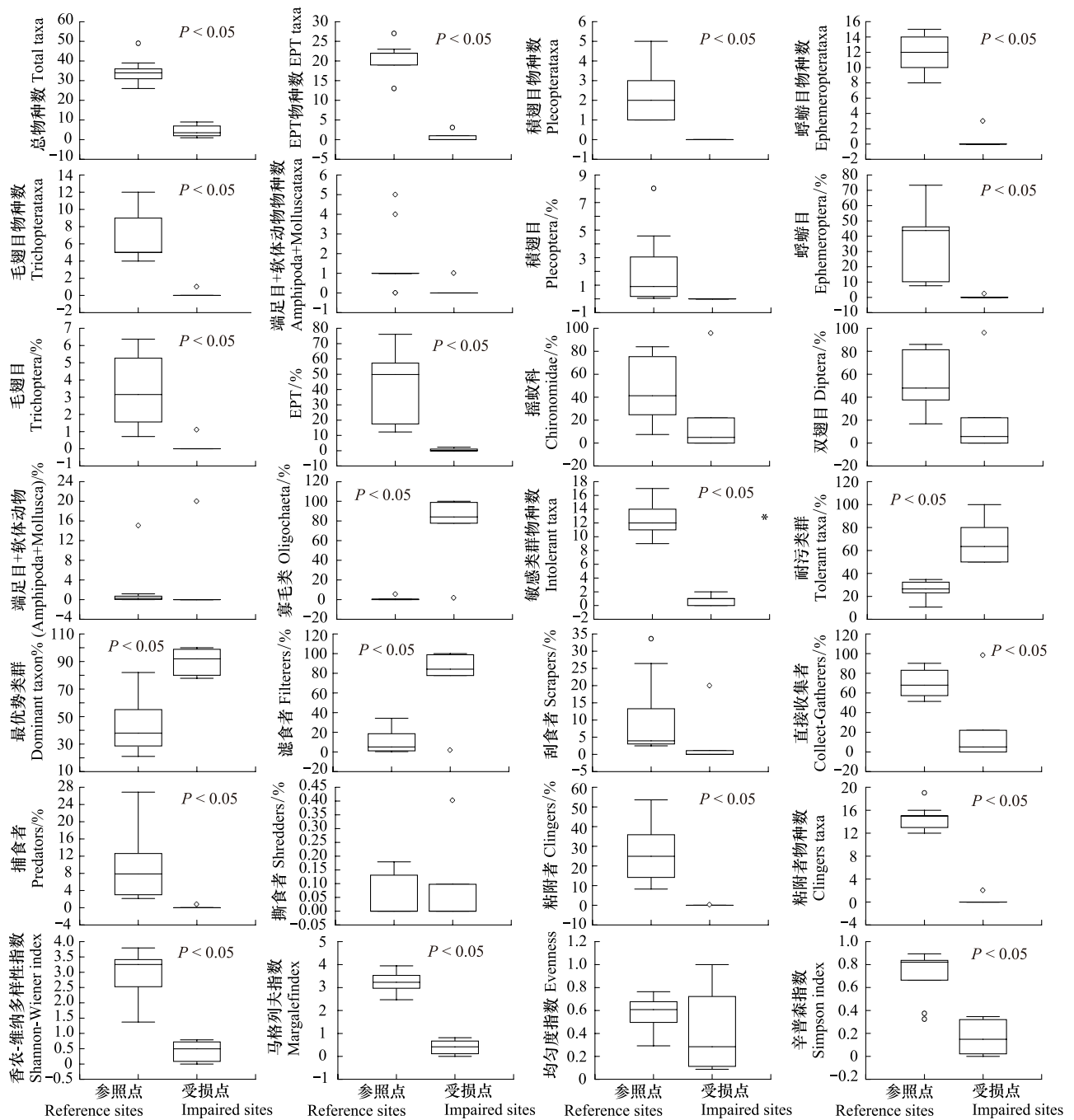


图 2 参照点与受损点生物参数箱线图

Fig. 2 Box plots of attributes in reference and impaired sites

对 20 个候选参数进一步开展相关性分析表明,总分类单元数与 EPT 分类单元数、蜉蝣目分类单元数、毛

翅目分类单元数、敏感类群分类单元数、粘附者分类单元数和马格里夫指数均显著相关($r>0.75$),由于总分类单元数往往更能全面反映群落特征,因此其余参数被剔除;EPT%与蜉蝣目%($r=0.86$)和粘附者%($r=0.85$)显著相关,由于EPT%包含蜉蝣目%的信息,且在大型底栖动物生物评价中使用广泛,因此保留EPT%;滤食者%、直接收集者%和寡毛类%间两两相关($r=-0.77$),但直接收集者%在本研究中随干扰的增强而减小,与多数传统研究不符,寡毛类物种在全流域分布范围相对较窄,因此保留滤食者%;最优势类群%与香农多样性指数和辛普森指数都高度相关($|r|>0.90$),多样性指数对人为活动的敏感性相对较差,构建完整性指数时使用相对较少,因此保留最优势类群%(表4)。

表4 20个候选参数的Spearman相关性矩阵

Table 4 Spearman's correlation matrix of the 20 attributes

	A1	A2	A3	A4	A5	A8	A9	A10	A14	A15
A1	1.00									
A2	0.96 *	1.00								
A3	0.63 *	0.68 *	1.00							
A4	0.92 *	0.96 *	0.60 *	1.00						
A5	0.92 *	0.94 *	0.55 *	0.84 *	1.00					
A8	0.57 *	0.63 *	0.41 *	0.67 *	0.53 *	1.00				
A9	0.50 *	0.52 *	0.28 *	0.44 *	0.60 *	0.23 *	1.00			
A10	0.68 *	0.74 *	0.51 *	0.72 *	0.70 *	0.86 *	0.68 *	1.00		
A14	-0.53 *	-0.50 *	-0.27 *	-0.50 *	-0.46 *	-0.41 *	-0.34 *	-0.48 *	1.00	
A15	0.90 *	0.94 *	0.80 *	0.90 *	0.86 *	0.58 *	0.45 *	0.69 *	-0.42 *	1.00
A16	-0.71 *	-0.73 *	-0.51 *	-0.69 *	-0.70 *	-0.51 *	-0.48 *	-0.65 *	0.60 *	-0.69 *
A17	-0.59 *	-0.58 *	-0.40 *	-0.54 *	-0.57 *	-0.50 *	-0.51 *	-0.65 *	0.50 *	-0.55 *
A18	-0.36 *	-0.33 *	-0.22 *	-0.36 *	-0.27 *	-0.36 *	0.02 *	-0.27 *	0.92 *	-0.29 *
A20	0.25 *	0.20 *	-0.04	0.26 *	0.17 *	0.24 *	-0.09 *	0.10	-0.77 *	0.11 *
A21	0.04	0.05	0.27 *	0.03	0.01	0.08	0.04	0.13 *	-0.18 *	0.15 *
A23	0.63 *	0.69 *	0.53 *	0.63 *	0.68 *	0.57 *	0.77 *	0.85 *	-0.42 *	0.68 *
A24	0.93 *	0.97 *	0.70 *	0.93 *	0.92 *	0.62 *	0.54 *	0.74 *	-0.48 *	0.94 *
A25	0.77 *	0.76 *	0.53 *	0.71 *	0.73 *	0.58 *	0.57 *	0.74 *	-0.58 *	0.72 *
A26	0.94 *	0.92 *	0.66 *	0.87 *	0.87	0.57	0.53 *	0.71 *	-0.59 *	0.87 *
A28	0.61 *	0.59 *	0.39 *	0.56 *	0.57	0.51	0.49 *	0.64 *	-0.57 *	0.54 *
	A16	A17	A18	A20	A21	A23	A24	A25	A26	A28
A1										
A2										
A3										
A4										
A5										
A8										
A9										
A10										
A14										
A15										
A16	1.00									
A17	0.48 *	1.00								
A18	0.46 *	0.32 *	1.00							
A20	-0.33 *	-0.06	-0.83 *	1.00						
A21	-0.14 *	-0.33 *	-0.21 *	-0.22 *	1.00					
A23	-0.61 *	-0.66 *	-0.14 *	-0.05	0.16 *	1.00				
A24	-0.73 *	-0.58 *	-0.31 *	0.17 *	0.07	0.72 *	1.00			
A25	-0.62 *	-0.94 *	-0.39 *	0.13 *	0.33 *	0.74 *	0.75 *	1.00		
A26	-0.74 *	-0.73 *	-0.42 *	0.22 *	0.20 *	0.69 *	0.90 *	0.88 *	1.00	
A28	-0.50 *	-0.98 *	-0.40 *	0.14 *	0.34 *	0.64 *	0.59 *	0.95 *	0.75 *	1.00

A1—A28 代码对应大型底栖动物参数见表1, * 相关显著 $P<0.05$

通过以上分析,浑太河流域大型底栖动物生物完整性评价核心参数包括总分类单元数、EPT 分类单元数、毛翅目%、EPT%、耐污类群%、最优势类群%、滤食者%和捕食者%。与张远等^[24]在辽河流域构建的 B-IBI 指数的核心参数相比,仅总分类单元数一致,而其他核心参数均不同。其中除摇蚊分类单元数外,两次研究的核心参数间具有较高的相关性,可以认为两次研究得到的核心参数总体是一致的。例如,在张远等^[24]研究中粘附者个体数相对丰度作为核心参数,而本文中 EPT% 与粘附者个体数相对丰度具有较高的相关性($r=0.85$),因此 EPT% 可以作为此核心参数的替代。

2.2 浑太河底栖完整性评估

根据参数值标准化方法,提出浑太河的底栖生物完整性评价参数标准化公式(表 5),累计加和得到各样点的大型底栖动物生物完整性指数得分,指数的理论范围为 0—8,值越小代表河流健康状况越差,反之则越好。

表 5 核心参数及计算公式
Table 5 Formula for calculating of the core attributes

生物参数 Attributes	计算公式 Equations
总分类单元数 Total taxa	总分类单元数/39
襀翅目分类单元数 Plecoptera taxa	襀翅目分类单元数/3
毛翅目 Trichoptera/%	毛翅目/38.46
(蜉蝣目+襀翅目+毛翅目) EPT/%	EPT/75.46
耐污类群 tolerant taxa/%	(100-耐污类群)/(100-19.21)
最优势类群 dominant taxon/%	(100-最优势类群)/(100-18.93)
滤食者 filterers/%	(100-滤食者)/(100-0.31)
捕食者 predators/%	捕食者/27.17 predators/21.17

将所有样点得分实际分布范围的 95% 分位数值设定为河流“健康”的标准(6.18),共分为 5 个等级“极好”(>6.18),“好”(4.64—6.18),“一般”(3.10—4.64),“差”(1.57—3.10)和“极差”(<1.57)(表 6)。

表 6 B-IBI 河流健康评价等级
Table 6 Grade for river health assessment of B-IBI

健康等级 Health grade	极好 Excellent	好 Good	一般 Normal	差 Poor	极差 Very poor
B-IBI 值	>6.18	4.64—6.18	3.10—4.64	1.57—3.10	<1.57

浑太河流域健康评价结果(图 3)表明,河流总体健康状况不佳,“极好”和“好”状况的点位仅占总点位数的 24.8%,“一般”的点位占 27.8%,而“差”和“极差”的点位高达 47.4%。

不同区域健康状况分布不均,从上下游的关系比较,观音阁水库和大伙房水库上游的样点总体较好,其中观音阁水库上的太子河南支的健康状况评价在全流域最佳,所有样点均为“极好”和“好”。自观音阁水库和大伙房水库下,随城市化面积和农业土地利用面积的增加,样点的健康状况逐渐下降。太子河流域从筏窝水库至河口段,浑河流域从大伙房水库至河口段的健康状况在全流域内最差,其中“极差”的样点占干流样点的 25.6%。同时研究表明,太子河流域支流评价结果相对好于干流,而浑河流域的干流与支流间的评价结果无差异。

对比浑太河两个子流域的健康状况表明,浑河的人为干扰总体上高于太子河,浑河除源头河流外,其余样点评价结果均为“好”以下,其中“极差”的样点占 25%,“差”的样点占 35%;太子河流域河流健康相对好于浑河流域,其中“差”的样点占 28%,“极差”的样点占 15%。

3 讨论

3.1 不同参照体系构建方法对评价结果的影响

将受损点与参照点进行对照而评价河流健康受损程度,是河流健康评价中最广泛运用的方法。但目前参



图3 浑太河流域 B-IBI 评价结果

Fig.3 Results of river health assessment using B-IBI

照点的定义及其设定方法尚存在较大争议^[25]。参照点是指无人为活动干扰或人类活动干扰极小样点,是评估河流健康受损程度的基准^[26],在具体应用中如何通过现场调查确定样点是否可以作为参照点,不同的专家往往采用不同的规则与方法^[22, 27],但均依据专家经验作为判断的主要标准,其方法在推广应用时存在一定的局限性。

因为栖息地反映了人为活动对河流的长期干扰状况,所以本文将河岸带栖息地评价作为参照点选择的首要标准,专家经验法选择参照点时栖息地特征是最重要的评判标准^[18, 22]。同时选择水质作为参照点选择的依据,是由于偶发性水污染事件的存在,通过水质指标可以极大降低参照点错选的概率^[27],尤其是长期、稳定的水质监测数据将提供可靠的水环境背景,但费用相对昂贵。本文的研究首次将栖息地特征与水质标准相结合,是因为二者可以提供一个相对较为简单的参照点选择方法,将极大的促进水生生物完整性评价河流健康在较大尺度上的推广与应用。

为检验标准化方法筛选参照点与受损点方法的可靠性与适用性,比较了 B-IBI 在参照、测试及受损点位间分值的分布特征(图4),结果表明 B-IBI 分值在参照点与受损点间的差异显著,同时测试点的 B-IBI 分值分散均匀,表明 B-IBI 指数可较好表征各点位的健康状况。为进一步检验采用标准化方法与传统专家法构建的 B-IBI 指数的差异,对比了两种方法结果的一致性,结果显示二者一致性较高(图5)。其中 40 个样点的健康等级在两种方法评估中结果一致,占总样点数的 58%;评估结果相差一个健康等级的达 40.6%;仅有 1 个样点在两次评估中的健康级别为两级(图5),因此认为采用标准化方法构建的评估因子与传统方法相比,具有较高的稳定性与可重复性。

3.2 B-IBI 与环境因子的关系

利用生物指数评价河流健康,反映的是河流长期受各类型人为活动干扰后的一个综合状况。因此 B-IBI 指数通常对不同类型的干扰活动表现出不同的响应趋势^[22]。本次研究的结果显示浑太河 B-IBI 指数与栖息

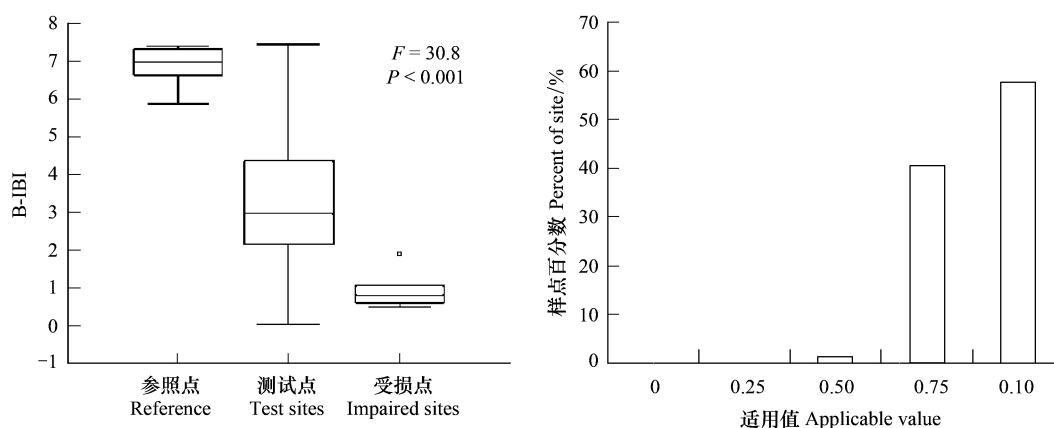


图4 B-IBI 可靠性分析

Fig. 4 available analysis of B-IBI

地生境质量呈显著的线性负相关关系 ($R^2 = 0.25, P < 0.01$, 图5)。这是因为河岸带栖息地质量的下降,通常也是人为活动长期作用的结果,与大型底栖动物群落的退化具有一致性^[28]。通过水质指标与 B-IBI 线性回归分析显示,多数水质指标与 B-IBI 指数间无显著线性关系,仅电导率、高锰酸盐指数和氨氮表现出显著的曲线回归复关系 ($R^2 = 0.23-0.34, P < 0.01$, 图5)。

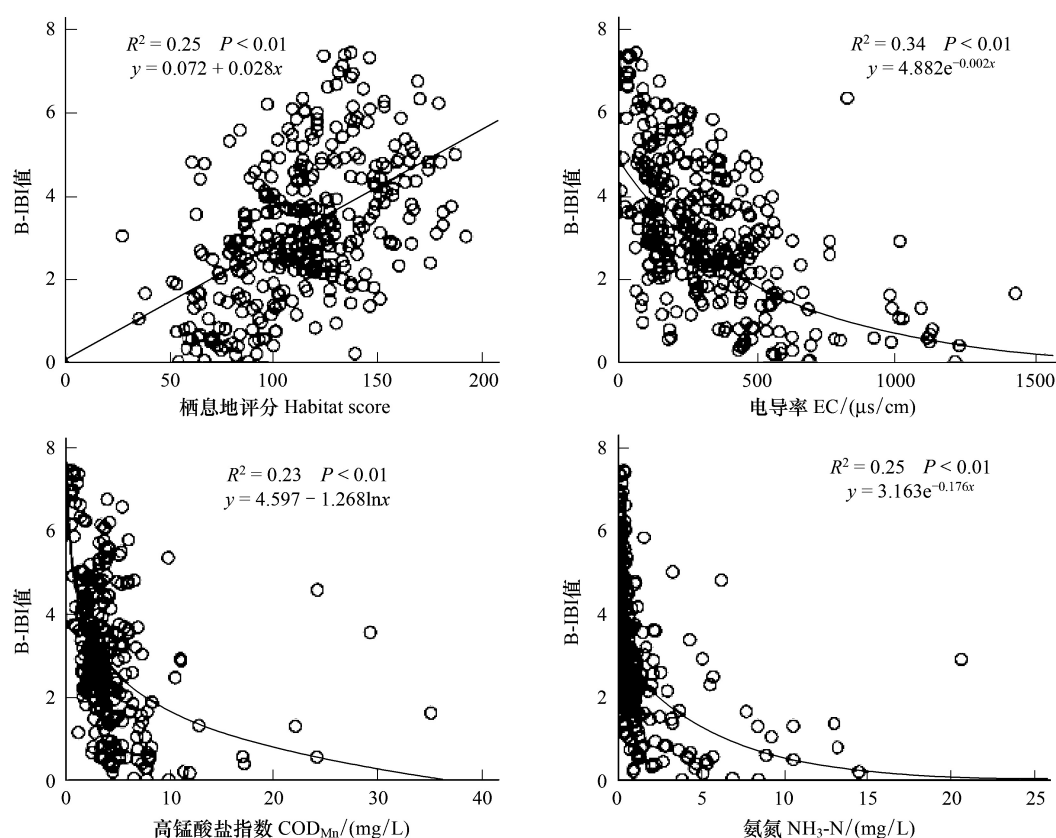


图5 B-IBI 与环境因子间的回归分析

Fig. 5 Regression analysis between B-IBI and environmental parameters

电导率可表征水环境中总溶解离子量,与土地利用类型具有显著的相关性,可综合反映流域内土地利用开发对河流生态系统的影响,通常电导率越高,人为活动对流域的干扰强度越高^[29]。本研究分析表明,B-

IBI 指数对电导率表现为显著的对数曲线(图 5)。当电导率高于 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 后,B-IBI 指数维持在一个较低的水平上,结果与澳大利亚国家地表水水质标准相一致^[30]。高锰酸盐指数是反映水体有机污染指标之一,高锰酸盐指数越高,有机污染越严重,相应的 B-IBI 指数越低,与本研究的结果一致。在 5mg/L 以下时,B-IBI 指数与高锰酸盐指数表现为较为明显的直线关系,B-IBI 指数随高锰酸盐指数的增加急剧降低,当高锰酸盐指数大于 5mg/L 时,曲线出现拐点,B-IBI 指数的下降趋势明显减弱(图 5)。5mg/L 浓度的高锰酸盐指数属 II 类水和 III 类水之间,反映了高锰酸盐指数在下降到 II 类水到 III 类水之间时,对 B-IBI 完整性指数的影响开始减弱。氨氮是导致富营养化主要因子之一,浓度较低时也对水生生物具有较高的毒性作用^[30]。氨氮对 B-IBI 指数影响的趋势与高锰酸盐指数相类似,当氨氮高于 1mg/L 时,对大型底栖动物的影响显著减弱,表明氨氮浓度在 III 类水时,其对于大型底栖动物的影响逐渐减弱。

3.3 采用标准化方法筛选参照点与受损点的优缺点分析

标准化方法便于推广和应用,即使是非专业人员也能简便的利用标准化方法对研究区域参照点和受损点进行有效的筛选,对于水质生物评价方法,尤其是 B-IBI 方法的推广和应用具有优势,同时其客观性较强,可大大降低研究人员的主观误差。但标准化方法与专家法相比,缺乏一定程度的灵活性,同时选用水质指标作为评估的标准之一,由于客观采样误差的存在,对指数构建与健康评价结果的影响难以评估。

致谢:中国环境科学研究院张楠、万峻、陈立斌、郑文浩等参加采样,陈立斌和郑文浩参与底栖动物样品鉴定工作,特此致谢。

References:

- [1] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 1981, 6(6): 21-27.
- [2] Bozzetti M, Schulz U H. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil. *Hydrobiologia*, 2004, 529 (1/3): 133-144.
- [3] Oberdorff T, Hughes R M. Modification of an Index of Biotic Integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiologia*, 1992, 228(2): 117-130.
- [4] Hering D, Meier C, Rawer-Jost C, Feld C K, Biss R, Zenker A, Sundermann A, Lohse S, Böhmer J. Assessing streams in Germany with benthic invertebrates: selection of candidate metrics. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 2004, 34(4): 398-415.
- [5] Weigel B M, Henne L J, Martínez-Rivera L M. Macroinvertebrate-based index of biotic integrity for protection of streams in west-central Mexico. *Journal of the North American Benthological Society*, 2002, 21(4): 686-700.
- [6] Schmitter-Soto J J, Ruiz-Cauich L E, Herrera R L, González-Solís D. An Index of Biotic Integrity for shallow streams of the Hondo River basin, Yucatan Peninsula. *Science of the Total Environment*, 2011, 409(4): 844-852.
- [7] Karr J R, Chu E W. Sustaining living rivers. *Hydrobiologia*, 2000, 422-423: 1-14.
- [8] Yang L F, Li Y W, Qi D G, Sun C H, Tian L X. Community structure of aquatic insect and biomonitoring of water quality in Jiuhe River. *Acta Ecologica Sinica*, 1992, 12(1): 8-15.
- [9] 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.
- [10] Qu X D. Studies on the Spatial-Temporal Variation and Biological Integrity of Macroinvertebrate in the Xiangxi River, and the Impact of Small Hydro Power on Its Communities [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2006.
- [11] Wiggins G B. Larvae of the North American Caddisfly Genera (Trichoptera). 2nd ed. Toronto: University of Toronto Press Inc, 1996.
- [12] Merritt R W, Cummins K W, Berg M B. An Introduction to the Aquatic Insects of North America. 4th ed. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 2008.
- [13] You D S, Gui H. Economic Insect Fauna of China, Fasc. 48 Ephemeroptera. Beijing: Science Press, 1995.
- [14] Tian L X, Yang L F, Li Y W. Economic Insect Fauna of China, Fasc. 49 Trichoptera Hydropsychidae Stenopsychidae Hydropsychidae Leptoceridae. Beijing: Science Press, 1996.
- [15] Editorial Board of State Environment Protection Bureau of China. Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [16] 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.

- [17] Steedman R J. Ecosystem health as a management goal. *Journal of the North American Benthological Society*, 1994, 13(4): 605-610.
- [18] 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.
- [19] Maxted J R, Barbour M T, Gerritsen J, Poretti V, Primrose N, Silvia A, Penrose D, Renfrow R. Assessment framework for mid-Atlantic coastal plain streams using benthic macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society*, 2000, 19(1): 128-144.
- [20] Wright J F, Moss D, Armitage P D, Furse M T. A preliminary classification of running-water sites in Great Britain based on macro-invertebrate species and the prediction of community type using environmental data. *Freshwater Biology*, 1984, 14(3): 221-256.
- [21] Hawkins C P, Olson J R, Hill R A. The reference condition; predicting benchmarks for ecological and water quality assessments. *Journal of the North American Benthological Society*, 2010, 29(1): 312-343.
- [22] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, Stribling J B. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*. 2nd ed. Washington DC: EPA 841-OB-99-002. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999.
- [23] Chinese Research Academy of Environmental Sciences. Study Reports of Assessment and Zoning of Aquatic Ecological Function in the Basin (2008ZX07526-001). Beijing: Major Science and Technology Program for Water Pollution Control, China, 2011: 1-426.
- [24] Zhang Y, Xu C B, Ma X P, Wang J C. Biotic integrity index and criteria of benthic organisms in Liao River basin. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2007, 27(6): 919-927.
- [25] Stoddard J L, Larsen D P, Hawkins C P, Johnson R K, Norris R H. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. *Ecological Applications*, 2006, 16(4): 1267-1276.
- [26] Norris R H, Thoms M C. What is river health?. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2): 197-209.
- [27] Rrwer-Jost C, Zenker A, Böhmer J. Reference conditions of German stream types analysed and revised with macroinvertebrate fauna. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 2004, 34(4): 390-397.
- [28] 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.
- [29] Welch E B, Jacoby J M, May C W. Stream quality. In: Naiman R J, Bilby R E, eds. *River Ecology and Management*. New York: Springer-Verlag, 1998.
- [30] Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. Canberra, Australia, 2000.

参考文献:

- [8] 杨莲芳, 李佑文, 戚道光, 孙长海, 田立新. 九华河水生昆虫群落结构和水质生物评价. *生态学报*, 1992, 12(1): 8-15.
- [9] 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.
- [10] 渠晓东. 香溪河大型底栖动物时空动态、生物完整性及小水电站的影响研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- [13] 尤大寿, 归鸿. 中国经济昆虫志-第四十八册 蜉蝣. 北京: 科学出版社, 1995.
- [14] 田立新, 杨莲芳, 李佑文. 中国经济昆虫志-第四十九册 毛翅目(一) 小石蛾科、角石蛾科、纹石蛾科、长角石蛾科. 北京: 科学出版社, 1996.
- [15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [16] 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.
- [23] 中国环境科学研究院. 国家科技重大专项-水体污染控制与治理: 流域水生态功能评价与分区技术(2008ZX07526-001) 课题研究报告. 北京, 2011: 1-426.
- [24] 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.
- [28] 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.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.15 August ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Effects of grazing on litter decomposition in two alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibet Plateau	ZHANG Yanbo, LUO Peng, SUN Geng, et al (4605)
Distribution pattern and their influencing factors of invasive alien plants in Beijing	WANG Suming, ZHANG Nan, YU Linqian, et al (4618)
Simulation of CO ₂ and H ₂ O fluxes over temperate mixed forest and sensitivity analysis of layered methods: stomatal conductance-photosynthesis-energy balance coupled model	SHI Tingting, GAO Yufang, YUAN Fenghui, et al (4630)
Analysis on the responses of flood storage capacity of Dongting Lake to the changes of landscape patterns in Dongting Lake area	LIU Na, WANG KeLin, DUAN Yafeng (4641)
Integrated water risk assessment in Daliao River estuary area	YU Ge, CHEN Jing, ZHANG Xueqing, et al (4651)
Discussion on the standardized method of reference sites selection for establishing the Benthic-Index of Biotic Integrity	QU Xiaodong, LIU Zhigang, ZHANG Yuan (4661)
Genetic diversity analysis of different age of a Dalian population of the Manila clam <i>Ruditapes philippinarum</i> by EST-SSR	YU Zhifei, YAN Xiwu, ZHANG Yuehuan, et al (4673)
Geostatistical analysis of spatial heterogeneity of yellowfin tuna (<i>Thunnus albacares</i>) purse seine catch in the western Indian Ocean	YANG Xiaoming, DAI Xiaojie, ZHU Guoping (4682)
Seasonal differences in habitat selection of the Crocodile lizard (<i>Shinisaurus crocodilurus</i>) in Luokeng Nature Reserve, Guangdong	WU Zhengjun, DAI Dongliang, NIN Jiajia, et al (4691)
Soil physical and chemical properties in forest succession process in Xinglong Mountain of Gansu	WEI Qiang, LING Lei, CHAI Chunshan, et al (4700)
Dynamics of soil organic carbon and total nitrogen contents in short-rotation triploid <i>Populus tomentosa</i> plantations	ZHAO Xuemei, SUN Xiangyang, KANG Xiangyang, et al (4714)
Grazing effects on eco-stoichiometry of plant and soil in Hulunbeir, Inner Mongolia	DING Xiaohui, GONG Li, WANG Dongbo, et al (4722)
Effect of elevated ultraviolet-B (UV-B) radiation on CH ₄ emission in herbicide resistant transgenic rice from a paddy soil	LOU Yunsheng, ZHOU Wenlin (4731)
NMR spectroscopy based metabolomic analysis of <i>Thellungiella salsuginea</i> under salt stress	WANG Xinyu, WANG Lihua, YU Ping, et al (4737)
Screening and identification of associative nitrogen fixation bacteria in rhizosphere of sugarcane in Guangxi	HU Chunjin, LIN Li, SHI Guoying, et al (4745)
Effects of different rice-crab production modes on soil labile organic carbon and enzyme activities	AN Hui, LIU Mingda, WANG Yaojing, et al (4753)
The characteristics of soil microbial communities at burned forest sites for the Great Xingan Mountains	BAI Aiqin, FU Bojie, QU Laiye, et al (4762)
Changes of soil faunal communities during the restoration progress of <i>Abies faxoniana</i> Forests in Northwestern Sichuan	CUI Liwei, LIU Shirong, LIU Xingliang, et al (4772)
The effects of the endophytic fungus <i>Ceratobasidium stevensii</i> B6 on <i>Fusarium oxysporum</i> in a continuously cropped watermelon field	XIAO Yi, DAI Chuanchao, WANG Xingxiang, et al (4784)
Population ecology of <i>Aulacoseira granulata</i> in Xijiang River	WANG Chao, LAI Zini, LI Yuefei, et al (4793)
Evaluation of ecosystem sustainability for large-scale constructed wetlands	ZHANG Yiran, WANG Renqing, ZHANG Jian, et al (4803)
MIS3b vegetation and climate changes based on pollen and charcoal on Qianxi Plateau	ZHAO Zengyou, YUAN Daoxian, SHI Shengqiang, et al (4811)
The effects of stemflow on the formation of "Fertile Island" and "Salt Island" for <i>Haloxylon ammodendron</i> Bge	LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (4819)
Accumulation and translocation of dry matter and nutrients of wheat rotated with legumes and its relation to grain yield in a dryland area	YANG Ning, ZHAO Hubing, WANG Zhaohui, et al (4827)
Occurrence characteristics of <i>akashiwo sanguinea</i> bloom caused by land source rainwater	LIU Yihao, SONG Xiukai, JIN Yang, et al (4836)
Analysis on landscape pattern change and its driving forces of Yancheng National Natural Reserve	WANG Yanfang, SHEN Yongming (4844)
Resource potential assessment of urban roof greening and development strategies: a case study in Futian central district, Shenzhen, China	SHAO Tianran, LI Chaosu, ZENG Hui (4852)
Analysis of the dynamic coupling processes and trend of regional eco-economic system development in the Yellow River Delta	WANG Jieyong, WU Jianzhai (4861)
The diversity parameters of butterfly for ecological function divisions in Chongqing	LI Aimin, DENG Heli, MA Qi (4869)
Review and Monograph	
Responses of soil respiration to different environment factors in semi-arid and arid areas	WANG Xinyuan, LI Yulin, ZHAO Xueyong, et al (4890)
Temperature sensitivity of soil respiration: uncertainties of global warming positive or negative feedback	LUAN Junwei, LIU Shirong (4902)
The primary factors controlling methane uptake from forest soils and their responses to increased atmospheric nitrogen deposition: a review	CHENG Shulan, FANG Huajun, YU Guirui, et al (4914)
The research progresses on biological oxidation and removal of nitrogen in lakes	FAN Junnan, ZHAO Jianwei, ZHU Duanwei (4924)
Scientific Note	
Cutting effects on growth and wastewater purification of <i>Cyperus alternifolius</i> in constructed wetland	LÜ Gaiyun, HE Huaidong, YANG Danjing, et al (4932)

《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 15 期 (2012 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 15 (August, 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