

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第6期 Vol.34 No.6 **2014**

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 34 卷 第 6 期 2014 年 3 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 全球气候变暖对凋落物分解的影响..... 宋 飘,张乃莉,马克平,等 (1327)
- 从系统到景观:区域物质流分析的景观取向 张晓刚,曾 辉 (1340)
- 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法..... 宋豫秦,张晓蕾 (1352)
- 保幼激素在昆虫中的分子作用机理..... 金敏娜,林欣大 (1361)
- 岩画和壁画类文物微生物病害研究进展..... 李 强,葛琴雅,潘晓轩,等 (1371)
- 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 朱卫红,苗承玉,郑小军,等 (1379)
- 跨界保护区网络构建研究进展..... 王 伟,田 瑜,常 明,等 (1391)

个体与基础生态

- 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率..... 邱 权,潘 昕,李吉跃,等 (1401)
- 三种增温情景对入侵植物空心莲子草形态可塑性的影响..... 褚延梅,杨 健,李景吉,等 (1411)
- 气象要素及土壤理化性质对不同土地利用方式下冬夏岩溶作用的影响 刘 文,张 强,贾亚男 (1418)
- 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响..... 梁太波,尹启生,张艳玲,等 (1429)
- 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究 刘 帅,吴舒辞,王 红,等 (1436)
- 近自然毛竹林空间结构动态变化..... 仇建习,汤孟平,沈利芬,等 (1444)
- 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究..... 刁松峰,邵文豪,姜景民,等 (1451)
- 不同林分起源的相容性生物量模型构建..... 符利勇,雷渊才,孙 伟,等 (1461)

种群、群落和生态系统

- 毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响..... 樊艳荣,陈双林,杨清平,等 (1471)
- 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响
..... 陈 婧,陈法军,刘满强,等 (1481)
- 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态 李 洁,张远东,顾峰雪,等 (1490)
- 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价..... 董张玉,刘殿伟,王宗明,等 (1503)
- 秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响..... 陆 斌,张胜利,李 侃,等 (1512)
- 磷浓度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻三者相互作用的影响..... 马剑敏靳 萍,郭 萌,等 (1520)
- 普生轮藻浸提液对两种淡水藻类的化感抑制作用及其数学模型..... 何宗祥,刘 璐,李 诚,等 (1527)
- 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 修 晨,欧阳志云,郑 华 (1535)
- 基于河流生境调查的东河河流生境评价..... 王 强,袁兴中,刘 红,等 (1548)

景观、区域和全球生态

应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 郭军庭,张志强,王盛萍,等 (1559)

长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异..... 陈 力,尹云鹤,赵东升,等 (1568)

石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系..... 李 英,李月丛,吕素青,等 (1575)

不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应..... 闫瑞瑞,辛晓平,王 旭,等 (1587)

南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素..... 武 婕,李玉环,李增兵,等 (1596)

资源与产业生态

跨国土地利用及其生态影响 陆小璇 (1606)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 图们江河流中段——图们江位于吉林省东南边境,发源于长白山东南部的石乙水,河流的绝大部分是中国与朝鲜的界河,下游很小一段为俄罗斯与朝鲜的界河,并由这里流入日本海,我国珲春距离日本海最近的地方仅有 15km。图们江是我国重要的国际性河流之一,随着我国经济的迅速崛起,图们江地区进入到多国合作联合开发阶段,湿地生态系统处于中度预警状态,并有向重度预警发展的趋势,生态安全面临的威胁越来越严重。对该区域进行湿地生态安全评价与预警研究,可为图们江流域生态环境的可持续发展提供依据。图中河道的远方为朝鲜、河道近方为中国。

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

DOI: 10.5846/stxb201210201458

王强,袁兴中,刘红,庞旭,王志坚,张耀光.基于河流生境调查的东河河流生境评价.生态学报,2014,34(6):1548-1558.

Wang Q, Yuan X Z, Liu H, Pang X, Wang Z J, Zhang Y G. Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1548-1558.

基于河流生境调查的东河河流生境评价

王 强^{1,2}, 袁兴中^{2,3,4,*}, 刘 红⁴, 庞 旭^{2,3,4}, 王志坚¹, 张耀光¹

(1. 淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室 水产科学重庆市市级重点实验室 西南大学生命科学学院, 重庆 400715;

2. 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室 重庆大学, 重庆 400044;

3. 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室 重庆大学, 重庆 400044; 4. 资源及环境科学学院 重庆大学, 重庆 400044)

摘要: 河流生境是河流生态系统的重要组成部分, 是河流生物赖以生存的基础。以位于三峡库区腹心区域的典型山区河流东河为研究对象, 采用河流生境调查(RHS)方法调查河流生境, 选择河流生境质量评价指数(HQA)、河流生境退化指数(HMS)评估河流生境现状, 分析生境质量和人为干扰的空间分布规律。结果表明, 51个河段的HQA值介于24—66之间。29.4%河段的HQA为优, 29.4%为良, 23.5%为中, 9.8%为较差, 7.8%为差。从HMS看, 7.8%的河段保持较自然状态, 19.6%受到轻微的破坏, 41.2%退化明显, 27.5%退化严重, 3.9%受到剧烈破坏。HQA与HMS存在显著的负相关关系。东河上、中、下游河段的HQA无明显差异, 但HMS差异显著。从干扰来源看, 东河上游和中游河流生境主要受引水式小水电、沿河公路、河道采砂影响。东河下游河流生境受高强度的土地开发(农业用地、建设用地), 河道采砂, 河堤、排污管、桥梁等水工构筑物的修建和三峡水库水位的波动影响。RHS评价结果能较直观地反映河流生境状况, 以及导致河流生境质量衰退的原因。

关键词: 河流生境调查(RHS); 河流健康; 生境质量评价; 河流生境退化指数; 东河; 三峡库区

Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method

WANG Qiang^{1,2}, YUAN Xingzhong^{2,3,4,*}, LIU Hong⁴, PANG Xu^{2,3,4}, WANG Zhijian¹, ZHANG Yaoguang¹

1 Key laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development (Ministry of Education), Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, School of Life Science Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Key Laboratory for the Exploitation of Southwestern Resources and the Environmental Disaster Control Engineering, Ministry of Education, Chongqing University, Chongqing 400044, China

3 State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing 400044, China

4 College of Resource and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China

Abstract: River habitat is an important component of river ecosystem and also the foundation of existence and development riverine organisms. Recently, the survey and assessment of river habitat plays an increasingly important role in watershed ecological planning, river environmental impact assessment and river ecological restoration.

River Habitat Survey is a methodology for recording habitat features for river habitat, designed by the Environment Agency, England and Wales since 1992. Nowadays, River Habitat Survey is being used as a standard methodology for assessing hydromorphology which is a part of the European Water Framework Directive and also as a tool for monitoring river habitats and assessing potential impacts of developments. As a famous stream physical habitat assessment method, River Habitat Survey was widely applied in many other countries beside Europe countries.

基金项目: 国家自然科学基金(51179214); 西南大学科研基金(SWU112049); 中央高校基本科研业务费专项资金(XDJK2013C127); 西南大学博士后科研基金

收稿日期: 2012-10-20; 修订日期: 2013-02-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1072000659@qq.com

In order to introduce River Habitat Survey to Chinese scientist and promote river habitat assessment work in China, Dong River located in the Three Gorges Area of China was investigated using River Habitat Survey method to evaluate its habitat quality and identify dominant human disturbances. Both Habitat Quality Assessment and Habitat Modification Score were employed to assess its status and spatial pattern of human disturbance.

In April, 2011, fifty one river reaches of the Dong River were investigated. The result indicated that the Habitat Quality Assessment score ranged from 24 to 66. The reaches with “excellent” Habitat Quality Assessment score was 29.4%, 29.4% “good”, 23.5% “fair”, 9.8% “poor” and 7.8% “extremely poor”. According to Habitat Modification Score, 7.8% of reaches is semi-natural status, 19.6% of predominantly unmodified status, 41.2% of obviously modified status, 27.5% of significantly modified status and 3.9% of severely modified status. Habitat Quality Assessment score was significantly negative correlated with Habitat Modification Score. Habitat Quality Assessment score of upstream, midstream and downstream of the Dong River was not significantly different, while four assessment categories, including channel features, in-stream channel vegetation, land-use within 50 m and trees and associated features, were significantly different. Habitat Modification Score of downstream reaches were significantly different between those of upstream and midstream reaches. The river habitat of upstream and midstream reaches of the Dong River was mainly influenced by small hydropowers, highways along river and sand excavation in river channel, while the river habitat of downstream river reaches was significantly affected by intensive land exploration, sand excavation in river channel, construction of riverbank, drain pipe, bridge and water level fluctuation of the Three Gorges Reservoir. Our research suggested that River Habitat Survey can efficiently detect the status of river habitats and find the dominant reasons for its deterioration.

Key Words: river habitat survey; river health; habitat quality assessment; habitat modification score; Dong River; Three Gorges Reservoir Area

河流生境一般指包括河床、河岸、滨岸带在内的河流的物理结构^[1-2]。河流生境为河流生物提供了生存繁殖所必需的条件,同时也是保持河流健康的必要因素。河流生境评价有助于识别生境退化的原因^[3],为河流生态修复提供依据^[4]。长期以来,河流生境退化对河流生态系统的影响被认为不如水质的影响重要,未得到足够重视^[5]。随着流域水环境问题和水资源危机的日益突出,充分掌握河流的生境、水质和生物资源信息,系统开展河流完整性评价,对河流生态修复和流域可持续管理显得尤为紧迫^[6]。

国外河流生境的研究起步早,已构建多套生境调查、评估体系。英国河流生境调查(RHS)始于1992年^[7]。1997年,应欧盟水框架指令(European Water Framework Directive, WFD)要求^[8],英国环保署发布了RHS野外调查手册^[9],并于2003年对手册进行了完善^[10]。RHS拟通过调查河流物理结构,收集人为干扰因素的基础数据,然后按照河流类型,评估生境质量,确定河段保护价值,为河流环境管理,尤其是为河流生态修复和以破坏河流物理结构为主的建设项目的环境影响评估提供决策依据。

RHS主要由4部分内容组成^[11]:(1)河流生境野外调查方法;(2)调查数据管理系统;(3)河流生境质量评价指标体系(HQA);(4)评价人为活动对河流物理结构破坏程度的生境退化指数(HMS)。因此,RHS是一套包含调查方法和评价模型的河流生境研究技术体系。目前RHS已成为WFD推荐的标准调查方法,同时也是众多河流生境评估方法中应用最广泛的一种^[12-18]。我国河流生境评价的研究刚刚起步^[19]。部分学者已开始尝试开展河流生境评估工作^[2-4,20],但系统的河流生境调查和评估技术体系尚未建立。

本研究在位于三峡库区腹心的东河上选择51个河段,采用RHS方法调查河流生境,并选用RHS生境评价模型对河流生境现状进行评估,为东河河流生态环境保护 and 可持续管理服务,同时向国内相关研究者展示RHS在河流生境评价中的使用方法及特点,为我国的河流生境调查与评价提供借鉴,也为科学全面地评价我国河流生境提供一些新的思路。

1 材料和方法

1.1 研究区域

东河系长江干流左岸一级支流澎溪河的正源,发源于重庆市开县白泉乡一字梁(图1)。东河干流全长 96.7 km,流域面积 1426.6 km²,海拔高程 160—

2626 m,河道平均比降 7.9 ‰。东河源头在位于大巴山南坡的雪宝山国家级自然保护区内,是秦巴山区生物多样性关键区域的组成部分。流域属中山地貌,总体地势北高南低,尤其上游河段,山高谷深,河段侵蚀溶蚀强烈,多呈 V 型峡谷。流域内多年平均降雨量 1530 mm,雨季长,洪旱交替出现。

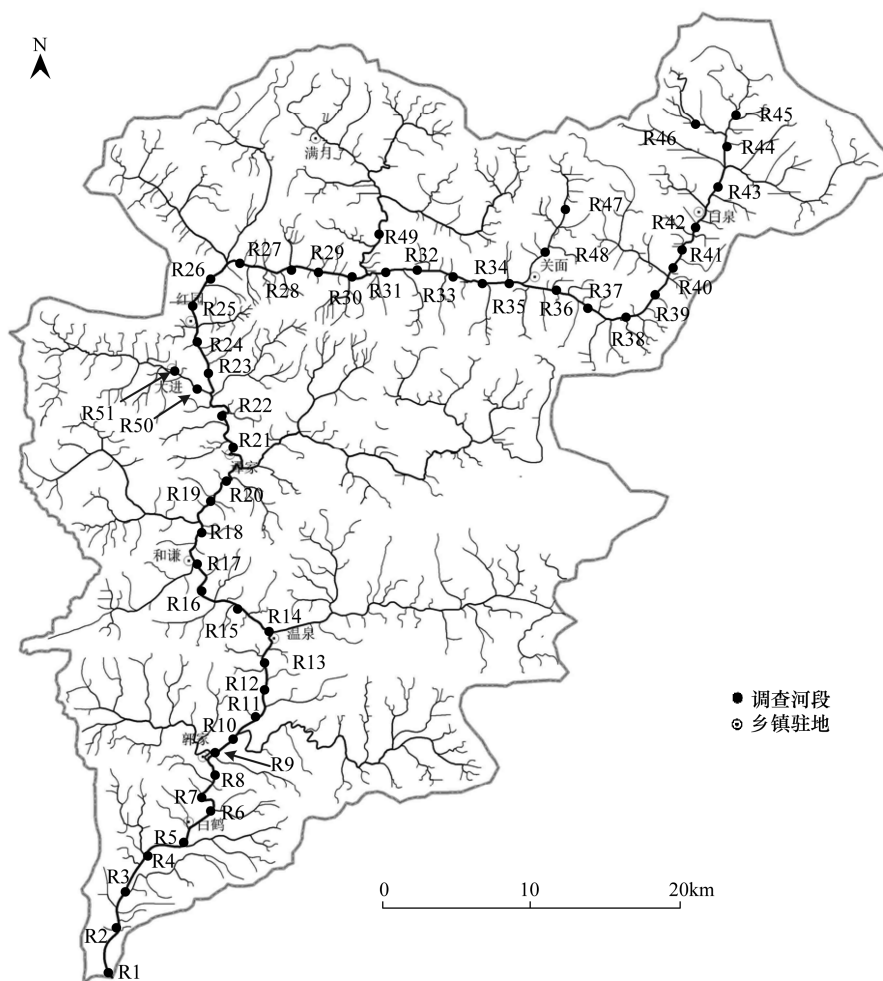


图1 研究区域及调查河段位置示意图

Fig.1 Drainage map of Dong River and location of sampling reaches

1.2 调查指标和方法

RHS 调查以 500 m 长的河段为调查单位。调查数据主要通过两种方式获得:一种是分析地形图、土壤类型分布图等基础图件,获取调查河段海拔、坡降、地质、地貌、土壤类型等数据;另一种是对河床、河岸以及河岸坡顶外侧 50 m 范围内的河流生境进行实地考察。主要调查项目有 16 项(表 1)。

调查河段中每间隔 50 m 设置 1 个调查断面,共计 10 个调查断面,对各断面依次调查(Spot-check)。调查内容主要包括 8 项(表 1)。河岸坡顶土地利用

类型、河岸植被层次两项指标调查范围是以各调查断面为中心长 10 m 的河岸,其他调查项目的调查范围为以各调查断面为中心长 1 m 的河段。断面调查完毕后,对河段整体特征进行记录,对断面调查中遗漏信息进行补充。主要调查内容有 8 项(表 1)。左右岸的河岸高度、河岸剖面形态、河岸土地利用类指标需分开记录。测量河道几何特征选在具有浅滩生境的平直河段。选用激光测距仪器、水文测杆、皮尺等工具直接测量河岸高度、平滩宽度、水深、水面宽度等指标。

表 1 RHS 的主要调查指标
Table 1 Major sampling indicator of RHS

项目 Item	调查指标 Metrics
基于图件获取的信息 Map-based variables	海拔、坡降、地质地貌、土壤类型等
河床 Channel	河道几何特征:河岸高度 ^a 、平滩宽度、水深、水面宽度等 河床底质主要类型 ^b :基岩、漂砾、圆石、砾石/卵石、细砂、淤泥、粘土、人工底质等 流态主要类型 ^b :自由跌落、斜槽、破损驻波、驻波、混流、涟漪、上涌、平滑、静止、干涸等 水工构筑物数量与规模:涵洞、水坝/水闸、简易公路、桥梁、取水口/排污口等 河床特征 ^b :裸露的基岩、裸露的漂砾、有/无植被的心滩等 河床植被类型与覆盖度:地钱和苔藓、挺水阔叶草本、挺水莎草科/禾本科植物、浮叶/漂浮/两栖植物、沉水阔叶植物、沉水细叶植物等 特殊生境:落差大于 5 m 的自然瀑布、落水洞、植物碎屑坝等 浅滩、水潭、边滩、心滩数量
河岸 ^a Banks	河岸材质类型 ^{ab} :基岩、漂砾、圆石、卵石、砂砾/细砂、泥土、泥炭、胶质粘土、混泥土、编织物、木桩、砌石等 河岸改造程度 ^{ab} :切坡、加固、筑堤等 河岸特征(河岸稳定性和边滩植被) ^b :侵蚀/稳定河岸、有/无植被的曲流/侧向边滩等 河岸坡顶土地利用类型(坡顶外侧 0—5 m 范围) ^{ab} :林地、灌丛、旱地、水田、果园、自然湿地、人工水体、建城区等 河岸剖面形态 ^a :垂直、平缓、阶梯状等 河岸植被层次 ^{ab} :即苔藓层、草本层、灌木层、乔木层层层次总数量
河谷形态与河岸土地利用 Valley form and land-use of banktop	河谷形态:浅 V 型、深 V 型、深谷型、碗状(concave/bowl)、不对称型、U 型 河岸土地利用类型(坡顶外侧 0—50 m 范围) ^a :林地、灌丛、旱地、水田、果园、自然湿地、人工水体、建城区等

a 河流左右岸分开记录,b 断面调查时记录指标

RHS 调查要求避开洪水,在平水期进行。因为洪水不但会改变水流状态,并且伴随着水位上升和水体变浊,河床底质类型的判别也将受到影响^[10]。因此,本研究于 2011 年 4 月,在东河流域内选取 51 个河段进行河流生境调查(图 1)。其中 R1—R14 位于东河下游,R15—R24、R50 和 R51 位于中游,其他河段位于上游。东河上游、中游、下游的划分方法见文献^[21]。

1.3 河流生境质量评价

HQA 从自然性、多样性和稀有性 3 个方面评估河流生境质量。自然性包含两方面的内容^[11]:河床水文地貌结构是天然的,未被破坏;河岸植被应以自然或半自然的地带性植被为主。多样性指河段中自然河流生境结构的丰富程度。稀有性指对动植物保护具有特殊意义的生境类型的数量和分布。例如,河床中堆积的倒木、植物碎屑和直径大于 1 m 的漂砾被认为可改善水文状态,提高水生昆虫多度,对鱼类资源保护具有重要意义。调查河段中这些生境类型越多,出现的频率越高,结构越复杂,生境质量越好。

HQA 评价项目包括 10 项(表 2)。HQA 以河流生境类型为评价项目,并根据在河段出现与否、出现

频率和分布等因素进行评分。各评分项目包含的评价指标数量不一。一般由该项目对应的自然河流生境类型数决定。例如,RHS 中将河床底质分为 9 类,但在进行河流生境质量评价时,只对基岩、漂砾、圆石、砂砾/卵石、细砂、淤泥、粘土、泥土等 8 类自然河床底质评分。人工硬化的河床底质不具有自然性,不能作为评价指标进行打分。评价指标得分值多在 0—3 之间,不超过 7。评分项目的得分为下属评价指标得分的累加。将 10 个评分项目得分相加即为河段 HQA 值。不同类型(或级别)河流的生境结构差异明显,因此不同类型河流的 HQA 值不具直接可比性^[11]。为此,RHS 在前期工作中建立了一个由无干扰和较小干扰河段组成的参照点数据库。HAQ 值等级的划分是通过与具有相似地貌特征的参照点比较来确定^[11]。

1.4 河流生境退化指数

HMS 评价指标见表 3。各指标的评分方式及 HMS 的计算方式与 HQA 类似。不同的是,HMS 是对人类活动的河流生境破坏强度进行评估,不受河流类型影响,因此不同类型河流的 HMS 可以直接比较。HMS 在 0—2 之间被认为河段的生境保持了较原始状态;3—8 之间,表明受到轻微的破坏;9—20

之间,表明生境出现明显退化;21—44 之间,表明生境已经发生较严重的退化;超过 45,则该河段生境已

经受到剧烈破坏。

表 2 河流生境质量评价(HQA)的评价指标与评分方法

Table 2 Indicators and assessment methods of Habitat Quality Assessment (HQA)

评分项目 Assessment categories	评价指标及评分方法 Metrics and score criteria
流态 Flow types (A1)	某种流态在 10 个调查断面中有 1 次被记录为主要流态类型,则这种流态得 1 分;若记录 2—3 次,得 2 分;4—10 次,得 3 分;河床干涸不得分;若某流态在 10 个调查断面中均不是优势流态,但又在调查河段中出现,则得 1 分
河床底质 Channel substrates (A2)	某种天然河床底质(基岩、漂砾、圆石、砂砾/卵石、细砂、淤泥、粘土、泥土)在 10 个调查断面中有 1 次被记录为主要河床底质,则这种底质得 1 分;若记录 2—3 次,得 2 分;4—10 次,得 3 分;人工底质不得分
河床特征 Channel features (A3)	10 个调查断面中,某种天然的河床特征生境(如:裸露的基岩、裸露的漂砾、有/无植被的心滩)出现 1 次,则该类型生境得 1 分;若出现 2—3 次,得 2 分;4—10 次,得 3 分;若某种天然的河床特征生境在 10 个断面中未被记录,但又在调查河段中出现,则得 1 分
河岸特征 Bank features (A4)	对河流左右岸分别评分;10 个调查断面中,某天然的河岸特征生境(如:侵蚀/稳定河岸、有/无植被的曲流/侧向边滩)出现 1 次,则该类型生境得 1 分;若出现 2—3 次,得 2 分;4—10 次,得 3 分;若某天然的河岸特征生境在 10 个断面中未被记录,但是又在调查河段中出现,则得 1 分
河岸植物结构 Bank vegetation structure (A5)	对河流左右岸分别评分,并且对坡顶和坡面分别评分;10 个调查断面中,植被层次 ≥ 2 层的断面只有 1 个时,则得 1 分;有 2—3 时,得 2 分;4 个以,得 3 分
边滩 Point bars (A6)	边滩总数在 3—8 之间,得 1 分;大于 8 个,得 2 分
河床植被 In-stream channel vegetation (A7)	10 个调查断面中,某河床植被类型(只对地钱和苔藓、挺水阔叶草本、挺水莎草科/禾本科植物、浮叶/漂浮/两栖植物、沉水阔叶植物、沉水细叶植物 6 种植物类型评分)出现 1—3 次,该河床植被类型得 1 分;4—10 次,得 2 分
河岸土地利用类型 (坡顶外侧 0—50 m 范围) Land-use within 50 m (A8)	对河流左右岸分别评分;某种土地利用类型(只对阔叶林、自然松林、石楠林、湿地 4 种土地利用类型评分)在调查河段中出现,则该土地利用类型得 1 分;若分布广泛(覆盖范围 $\geq 33\%$ 河段),得 2 分;若河岸土地利用方式只有阔叶林、自然松林、湿地 3 种中的 1 种,且无其他土地利用方式,则得 7 分
河岸林相关特征 Trees and associated features (A9)	河岸林:乔木稀疏分布,得 1 分;等间距或呈斑块状分布,得 2 分;半连续或连续分布,得 3 分;对河流左右岸分别评分 其他:若树枝覆盖河床、河岸树根裸露、水下树根、粗木质残体、倒木生境出现,则该类型生境得 1 分;若河岸树根裸露或水下树根生境分布范围广泛(在 $\geq 33\%$ 河段长度范围内出现),则得 2 分;若粗木质残体分布广泛,则粗木质残体生境得 3 分;若倒木分布广泛,则倒木生境得 5 分
特殊生境 Special features (A10)	某种特殊生境类型(落差大于 5 m 的自然瀑布、辫状河道、堆积的植物碎屑、自然敞水面、浅水沼泽、地下水出口、林沼、酸性泥炭沼泽等)只要出现,则该类型生境得 5 分

1.5 数据分析

采用 Pearson 相关性分析,分析评价指标之间的相关性。运用主成分分析方法(PCA)确定评价指标对 HQA、HMS 的贡献率,找出影响河段生境评估的主导评价因子。选用 SPSS 15.0 中的 Kruskal-Wallis H 方法检验上、中、下游河段 HQA、HMS 以及相关指标的差异显著性。选用一元线性回归方法分析 HQA 与 HMS 的相关性。显著性水平取 0.05。

2 结果与分析

2.1 评价指标相关性分析

评价指标重叠性过高将降低评价结果的可靠性。Pearson 相关性分析表明,HQA 的评价指标之间

存在较显著的相关性(表 4)。HMS 的评价指标有 16 项,但是本研究中有 6 项评价指标在各调查河段中得分为 0。对 HMS 的 10 项有效评价指标进行 Pearson 相关性分析,结果表明指标间存在较显著的相关性(表 5)。因此,需要对 HQA 和 HMS 的评价指标进行主成分分析,以验证评价指标选择的合理性。

2.2 主成分分析

对 HQA 评价指标进行主成分分析,结果表明 Kaiser-Meyer-Olkin 值为 0.552, Bartlett 球度检验值为 132.586,相伴概率为 0,适合于主成分分析。前 5 个主成分解释了 HQA 评价指标中 77.994%的信息(表 6),能够较好的反应 HQA 的空间格局。从评价指标

表 3 河流生境退化指数(HMS)的评价指标与评分方法

Table 3 Indicators and assessment methods of Habitat Modification Score (HMS)

评分项目 Assessment categories	评价指标 Metrics	评分方法 Score criteria
调查断面河流生境退化情况 Modifications at spot-checks	河岸加固(S1)	10 个断面中每出现 1 次得 2 分
	河床加固(S2)	同上
	河岸平整(S3)	10 个断面中每出现 1 次得 1 分
	河岸阶梯化(S4)	同上
	筑堤(S5)	同上
	河岸牲畜践踏(S6)	10 个断面中出现 3—5 次得 1 分,出现 6—10 次得 2 分
断面调查未出现或遗漏的项目 Modification present but not recorded at spot-checks	人工河床(S7)	1 分
	整个河岸全被加固(S2)	仅见于一测河岸得 2 分,见于两侧河岸得 3 分
	仅河岸顶部或底部被加固(S2)	仅见于一测河岸得 1 分,见于两侧河岸得 2 分
	河岸平整(S3)	同上
	筑堤(S5)	仅见于一测河岸得 1 分,见于两侧河岸得 1 分
	河道拓宽(S8)	仅见于一测河岸得 1 分,见于两侧河岸得 3 分
	清除河岸草丛(S9)	1 分
	河岸种植牧草(S10)	仅见于一测河岸得 1 分,见于两侧河岸得 1 分
	排污管、涵洞(S11)	出现 1 个得 8 分
	水坝、水闸、简易公路、采砂(S12)	出现 1 个得 2 分
其他 Others	公路桥(S13)	只有一座得 1 分,两座以上得 2 分
	防波堤、丁坝(S14)	同上
	流量变化(S15)	流量被改变的河段长度比例在 1/3 以下得 1 分,超过 1/3 得 2 分
	改道(S16)	1/3 以下的河段被改道得 5 分,超过 1/3 得 10 分

表 4 河流生境质量指数(HQA)评价指标间的 Pearson 相关系数

Table 4 Pearson correlation matrix between metrics of Habitat Quality Assessment (HQA) and Habitat Modification Score (HMS)

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
A2	-0.266	1								
A3	0.527 **	-0.180	1							
A4	-0.032	0.253	-0.416 **	1						
A5	-0.089	0.280 *	-0.215	0.257	1					
A6	0.193	0.043	0.282 *	0.073	0.189	1				
A7	-0.124	0.088	-0.309 *	0.170	0.196	-0.194	1			
A8	0.267	0.075	0.381 **	-0.173	0.068	-0.038	-0.037	1		
A9	-0.213	0.242	-0.229	0.317 *	0.291 *	-0.026	0.549 **	-0.375 **	1	
A10	0.484 **	-0.188	0.456 **	-0.122	0.088	0.394 **	-0.292 *	0.292 *	-0.311 *	1

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

表 5 河流生境退化指数(HMS)评价指标间的 Pearson 相关系数

Table 5 Pearson correlation matrix between metrics of Habitat Modification Score (HMS)

	S1	S3	S5	S9	S11	S12	S13	S14	S15
S3	0.306 *	1							
S5	-0.054	0.011	1						
S9	-0.064	-0.118	0.094	1					
S11	0.142	0.321 *	0.313 *	-0.053	1				
S12	-0.108	0.116	0.110	-0.213	0.170	1			
S13	0.066	0.284 *	0.078	0.057	0.028	0.053	1		
S14	0.447 **	0.378 **	-0.065	-0.109	0.100	0.312 *	0.041	1	
S15	0.044	0.037	0.427 **	0.103	0.112	0.183	0.169	0.088	1
S16	-0.059	0.480 **	0.277 *	-0.078	0.798 **	0.229	0.221	0.023	0.144

** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

的载荷上来看(表6),第1主成分主要反映A1、A3、A9、A10等指标;第2主成分主要反映A5和A6两指标;第3—5主成分分别主要反映A8、A7、A4三个指标。A2在各主成分中载荷均未达到0.6,表明河床底质对调查河段河流生境变化的解释程度较差。这主要是因为51个调查河段均属典型山区河流生境类型,河床底质以卵石(16—64 mm)和圆石(cobble, 64—256 mm)为主,各河段之间差异不大。

对HMS评价指标进行主成分分析,结果表明Kaiser-Meyer-Olkin值为0.514, Bartlett球度检验值为130.777,相伴概率为0,适合于主成分分析。前5个主成分解释了HMS评价指标中77.238%的信息(表6),能够较好的反应HMS的空间格局。从评价指标的载荷上来看(表6),第1主成分主要反映S3、S11、S16等指标;第2主成分主要反映S1和S14两指标;第3—5主成分分别主要反映S15、S12、S13三个指标。S5、S9在各主成分中载荷均未达到0.6,表明筑堤和清除河岸草丛两种河流生境干扰行为对调查河

段河流生境变化的解释程度较差。原因可能是筑堤是调查河段中最常见的河流生境干扰方式,而清除河岸草丛在调查河段中出现的频次较低。通过PCA分析,可以发现HQA和HMS的评价指标均能够较好的反应调查河段河流生境特征与干扰因素的空间分布特征,无明显冗余。

PCA分析结果似乎与Pearson相关性分析结果相矛盾。其原因在于HQA和HMS评价指标反映的是河流生态系统不同空间位置的生境结构和干扰因素的属性特征。这些生境结构或干扰因素之间密切相关。但是这些指标之间不具有可替代性。以流态和河床底质为例,流速越快,河床底质颗粒一般越大。调查河段中流态类型越多,与之相应的河床底质类型也就越多,但是显然流态的生态功能是不能被底质替代的。基于此,可以认为RHS中任何一项评价指标的缺失将影响对河流生境状况的真实反映能力,HQA和HMS评价指标的选择是合理的。

表6 河流生境质量指数(HQA)与生境退化指数(HMS)评分项目主成分分析结果

Table 6 Principal components of assessment categories of Habitat Quality Assessment (HQA) and Habitat Modification Score (HMS)

HQA 项目 Item of Habitat Quality Assessment	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	HMS 项目 Item of Habitat Modification Score	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
特征值 Eigenvalues	3.029	1.654	1.148	1.114	0.855	特征值 Eigenvalues	2.569	1.682	1.274	1.196	1.003
贡献率 Contribution rates	30.289	16.536	11.483	11.138	8.548	贡献率 Contribution rates	25.688	16.817	12.736	11.963	10.034
累积贡献率 Cumulative contribution rates	30.289	46.825	58.308	69.446	77.994	累积贡献率 Cumulative contribution rates	25.688	42.505	55.241	67.203	77.238
评分项目 Assessment categories						评分项目 Assessment categories					
A1	0.6340	0.2876	-0.0350	0.4433	0.3004	S1	0.274	-0.633	0.375	0.220	-0.365
A2	-0.3973	0.3826	0.3759	-0.4734	-0.2340	S3	0.674	-0.382	-0.029	0.280	0.185
A3	0.7760	0.1231	0.0850	0.2161	-0.3561	S5	0.413	0.582	0.312	-0.150	-0.254
A4	-0.4792	0.4510	-0.1966	-0.0688	0.6047	S9	-0.153	0.329	0.484	0.414	-0.092
A5	-0.3017	0.6931	0.1898	-0.0980	-0.0090	S11	0.769	0.210	-0.313	0.195	-0.327
A6	0.3011	0.6236	-0.4526	-0.1570	-0.3015	S12	0.418	-0.034	-0.123	-0.737	0.223
A7	-0.5603	0.1263	0.2998	0.6375	-0.0542	S13	0.341	0.018	0.327	0.270	0.768
A8	0.4719	0.1673	0.7808	-0.0423	0.1372	S14	0.407	-0.663	0.269	-0.275	-0.124
A9	-0.6678	0.3051	-0.1031	0.4453	-0.3067	S15	0.365	0.356	0.616	-0.320	-0.027
A10	0.6878	0.4467	-0.0937	0.0326	0.1029	S16	0.816	0.279	-0.358	0.210	0.028

2.3 参照点

本研究中各调查河段所在区域均属典型的中山地貌,山区河流生境特征明显。因此可选择同一参

照体系。R18、R33、R44、R45、R46、R50等6个河段距离场镇较远,受人类活动干扰小,河流生境较自然,被选为HQA评价的参照点。以参照点HQA值

分布的 25%分位数值(54)作为河段生境质量健康的评价标准。对小于 25%分位数值分布范围进行等分,确定各河段 HQA 评价标准为:差(≤ 31)、较差(32—39)、中(40—46)、良(47—53)、优(≥ 54)。

2.4 评价结果

51 个河段的 HQA 值介于 24—66 之间(图 2)。根据河流生境质量分级标准,15 个河段的河流生境质量为“优”,占 29.4%;15 个河段为“良”,占

29.4%;12 个河段为“中”,占 23.5%;5 个河段为“较差”,占 9.8%;4 个河段为“差”,占 7.8%。51 个河段的 HMS 值介于 1—122 之间(图 2),其中 4 个河段人为干扰少,保持较自然状态,占 7.8%;8 个河段的河流生境受到轻微的破坏,占 15.7%;22 个河段生境退化明显,占 43.1%;14 个河段生境退化严重,占 27.5%;3 个河段生境受到剧烈破坏,恢复难度较大,占 5.9%。

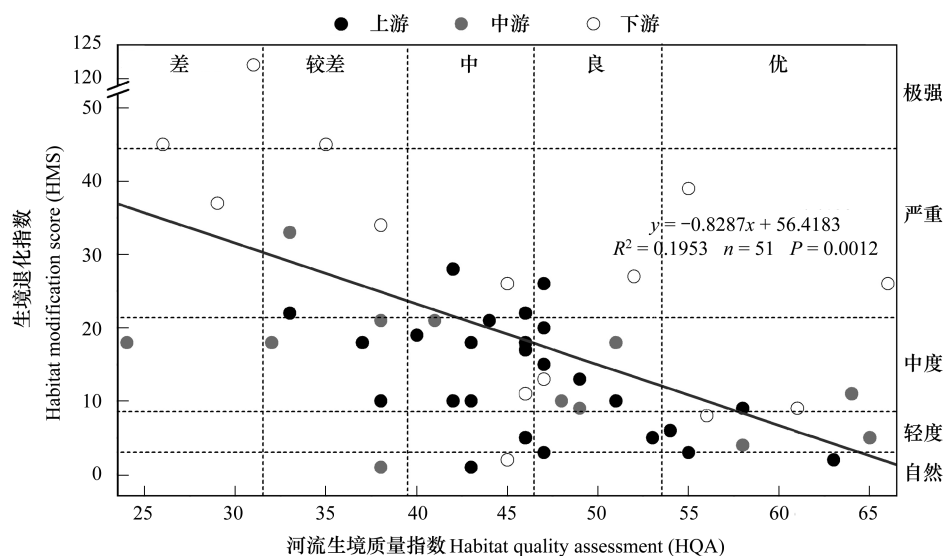


图 2 河流生境质量指数(HQA)与生境退化指数(HMS)的回归分析

Fig.2 Linear regressions between Habitat Quality Assessment (HQA) and Habitat Modification Score (HMS)

回归分析表明 HQA 与 HMS 存在显著的负相关关系(图 2)。这表明干扰强度越大,河流生境质量越差。从空间上看(表 7),东河上、中、下游调查河段的 HQA 无明显差异($P = 0.931$)。从 HQA 评价指标上看,A3、A7、A8、A9 四项指标差异显著($P < 0.05$)。这主要是因为越往上游,平均水深越浅,河床中漂砾、心滩等生境结构发育。同时越往上游,人口密度越小,坡顶外侧自然植被越好。越往下游,平均流速逐渐降低,河岸坡度变缓,河床中湿地植被和河岸林发育。临近乡镇驻地河段的生境质量一般较差,如 R9、R15、R16、R51。这些河段流态单一,河岸土地利用以农业用地或建设用地为主,河岸林破坏严重,覆盖度和层次性差。东河上、中、下游调查河段的 HMS 差异显著($P = 0.028$)。对 HMS 评价指标的 Kruskal-Wallis 检验表明,S1、S3、S11、S16 四项指标差异显著($P < 0.05$)。

3 讨论

3.1 东河河流生境恢复措施

从人为干扰特征和 HMS 值上看,东河上游、中游河段与下游河段明显不同。东河上游、中游地势陡峭,河流沿岸人口密度低,土地开发强度小。但是由于水能资源丰富,建有大量引水式小水电,导致引水坝至发电厂房之间河段减脱水严重。此外,由于地势陡峭,上游、中游的主要交通干道都沿河修建,对东河河岸造成一定破坏。针对东河上游、中游生境现状和人为干扰特点,建议整体规划流域水电资源开发项目,实施生态放流,保证坝下减脱水河段河流健康;修建沿河公路产生的弃土集中堆放,严禁堆弃在河岸,避免对河岸结构和河床底质造成破坏。东河下游河段生境的主要人为干扰为高强度的土地开发(农业用地、建设用地),河道采砂,河堤、排污管、桥梁等水工构筑物和三峡水库水位的波动(R6 以下河段)。下游河段的生态恢复重点为改造和重

表 7 东河上中下游河流生境质量指数(HQA)与生境退化指数(HMS)的评价结果

Table 7 Habitat Quality Assessment (HQA) and Habitat Modification Score (HMS) of sampling reaches in upstream, midstream and downstream of Dong River

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	HQA
上游 Upstream	9.28	5.8	5.2	4.48	7.8	0.32	0.04	3.52	0.16	9.80	46.4
中游 Midstream	8.17	6.25	3.42	6.58	9.92	0.17	0.50	2.00	0.58	7.50	45.08
下游 Downstream	8.36	6.50	3.64	6.29	8.29	0.14	1.21	0.50	4.14	6.07	45.14
Kruskal-Wallis Test	0.136	0.326	0.012	0.062	0.211	0.380	<0.001	<0.001	<0.001	0.078	0.931
	S1	S3	S5	S9	S11	S12	S13	S14	S15	S16	HMS
上游 Upstream	0	1.60	6.56	0.04	0	3.72	0.40	0.08	0.80	0.04	13.24
中游 Midstream	0	1.50	4.42	0.08	0.67	6.33	0.42	0.17	0.50	—	14.08
下游 Downstream	0.50	5.57	5.00	0.14	14.29	3.43	0.29	0.36	0.57	1.57	31.71
Kruskal-Wallis Test	0.016	0.048	0.162	0.524	<0.001	0.341	0.815	0.178	0.841	0.018	0.028
出现频率%											
上游 Upstream	0	72.0	96.0	4.0	0	64.0	28.0	8.0	36.0	4.0	—
中游 Midstream	0	58.3	83.3	8.3	8.3	83.3	33.3	8.3	33.3	—	—
下游 Downstream	21.4	78.6	92.9	14.3	71.4	50.0	21.4	28.6	50.0	28.6	—

建河岸林,提高河岸植被的多样性和群落结构层次结构,减缓面源污染对河流水质的影响;对采砂河道进行合理规划和有序管理,恢复山区河流自然的浅滩-深潭生境格局;加强乡镇驻地的生活垃圾、生活污水的环境管理,减水入河污染物总量。水工构筑物的设计施工在保证安全使用的前提下,尽可能减少对自然环境的破坏。对受三峡水库水位波动影响的河段,由于靠近开县城区,建议结合城市景观规划,对 175 m 以下三峡水库消落带进行生境改造,实施“基塘工程”、“林泽工程”等项目,改善生境质量^[22]。

3.2 RHS 特点

目前,国外河流生境评估的方法颇多,如德国的水环境野外调查方法,法国的河流物理环境质量评价系统,澳大利亚河流评估系统、河岸快速评估法,美国的快速生物评估草案、栖息地评估程序等。但是这些方法多存在一些问题或局限性。例如 RARC 被认为适用于树木占主导地位的、自然状态的河岸带评估;AusRivAS 被认为适用于环境压力较小的河流^[19];RBP 调查河段长度仅为 100 m,长度明显偏短。

赵进勇按照评价方法的技术特征,将河流生境的评价方法分为水文水力学方法、河流地貌法、栖息地模拟法、综合评估法等 4 类^[3]。RHS 主要是通过河流生境物理结构的调查,评估河流生境现状,属典型的河流地貌类生境评价方法。RHS 野外调查记

录多达 200 多项,但绝大多数生境指标不需要精确的测量和繁琐的计算,只需记录存在与否,调查结果不会因调查人员的不同产生巨大差异,数据重复性好。每个河段的调查只需 1 名调查人员在 1h 内完成。调查仅需记载植被类型,不涉及物种鉴定,调查人员不要求具有专业的生物分类学知识,稍加培训即可开展调查工作。

河流的物理结构具有高度的异质性。不同地域、不同类型河流的地质、地貌、气候、水文等环境条件可能差异巨大。基于河流生境的这一特点,RHS 并未通过制定统一的 HQA 分级标准来判定河流生境质量状态,而是通过与同类型河流上多个参照河段的 HQA 值相比较来确定河流生境质量状态。同时 HQA 的评价指标数量也是灵活的。一些指标(如:特殊生境)可以根据其在某类河流中的重要程度做相应增减。因此 RHS 的生境质量评价模型可用于多种类型河流的生境质量评估。从对东河河流生境的评价结果看,HQA 和 HMS 两个指数能较直观的反映河流生境质量现状,能有效的反应人类活动对河流生境结构的破坏强度和主要干扰因素。因此作为一种针对小型和中型河流通用的生境调查方法,RHS 方法能够有效的采集河段生境信息,调查方法与评估模型具有简单、高效、操作性强的特点^[23]。

3.3 对我国河流生境评价的启示

国内现有的河流生境评价研究多针对某一条或某一类河流,提出相应的评估指标体系,因此评价方

法的应用具有一定局限性。同时,由于国内关于河流生境与河流生物关系的基础研究薄弱,没有很好的揭示河流生境影响河流生物的生态环境机理,对河流生境的概念和内涵没有清晰的认识,不同学者选择的评价指标差异较大,部分评价指标(如水深、流速、污水处理率等)的合理性还值得商榷。此外,国内的研究重视建立河流生境评价指标体系,但很少提出系统的生境调查方法。建立一套成熟的河流生境调查和评价方法需要开展大量的野外调查工作和基础理论研究,是一项长期的工作。根据 RHS 的开发经验,1994—1996 年间,编制委员会的调查河段数量超过 5000 个。截止 1998 年,调查河段总长度已达到 85000 km。在大量的野外调查基础上,研究人员对调查数据进行了严谨的统计分析,并且开展了大量基础理论研究^[5, 23-26],不断完善了 RHS 的调查方法和评价体系。

因此,现阶段借鉴 RHS 技术和经验开展河流调查,建立适合我国国情和河流环境特点的河流生境评价模型,将对完善我国现有河流健康评价技术,提高河流环境管理水平具有积极的意义。

References:

- [1] Parsons M, Thoms M, Norris R. Australian River Assessment System: Review of Physical River Assessment Methods — A Biological Perspective. Canberra: Commonwealth of Australia and University of Canberra, 2002: 2-10.
- [2] Chen T. Studies on Habitat Assessment of Urban River in China's Plain Water Network Region [D]. Shanghai: East China Normal University, 2007.
- [3] Zhao J Y, Dong Z R, Sun D Y. State of the art in the field of river habitat assessment. Science and Technology Review, 2008, 26(17): 82-88.
- [4] 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.
- [5] Newson M D, Harper D M, Padmore C L, Kemp J L, Vogel B. A cost-effective approach for linking habitats, flow types and species requirements. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 1998, 8(4): 431-446.
- [6] Raven P J, Holmes N T H, Charrier P, Dawson F H, Naura M, Boon P J. Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of three survey methods. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2002, 12(4): 405-424.
- [7] Raven P J, Fox P, Everard M, Holmes N T H, Dawson F H. River Habitat Survey: A New System for Classifying Rivers According to Their Habitat Quality. Edinburgh: The Stationery Office, 1997.
- [8] Commission for the European Communities. Proposal for a council directive establishing a framework for community action in the field of water policy (COM(97)49). Brusselss: Commission for the European Communities, 1997.
- [9] Environment Agency. The quality of rivers and canals in England and Wales 1995. Bristol: Environment Agency, 1997.
- [10] Environment Agency. River Habitat Survey in Britain and Ireland: Field Survey Guidance Manual (2003 Version). London: Environment Agency, 2003.
- [11] Raven P J, Holmes N T H, Dawson F H, Everard M. Quality assessment using river habitat survey data. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 1998, 8(4): 477-499.
- [12] Szoszkiewicz K, Buffagni A, Davy-Bowker J, Lesny J, Chojnicki B H, Zbierska J, Staniszewski R, Zgola T. Occurrence and variability of River Habitat Survey features across Europe and the consequences for data collection and evaluation. Hydrobiologia, 2006, 566(1): 267-280.
- [13] Raven P J, Holmes N T H, Naura M, Dawson F H. Using river habitat survey for environmental assessment and catchment planning in the U. K. Hydrobiologia, 2000, 422-423: 359-367.
- [14] Harvey G L, Wallerstein N P. Exploring the interactions between flood defence maintenance works and river habitats: the use of River Habitat Survey data. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2009, 19(6): 689-702.
- [15] Cortes R M V, de Oliveira S V, Hughes S J, Ferreira M T. Combining habitat and biological characterization: Ecological validation of the river habitat survey. Limnetica, 2008, 27(1): 39-56.
- [16] Davenport A J, Gurnell A M, Armitage P D. Habitat survey and classification of urban rivers. River Research and Applications, 2004, 20(6): 687-704.
- [17] Hastie L C, Cooksley S L, Scougall F, Young M R, Boon P J, Gaywood M J. Characterization of freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) riverine habitat using River Habitat Survey data. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2003, 13(3): 213-224.
- [18] Vaughan I P, Noble D G, Ormerod S J. Combining surveys of river habitats and river birds to appraise riverine hydromorphology. Freshwater Biology, 2007, 52(11): 2270-2284.
- [19] Shi R H, Xu S G. Methods for river habitat survey and evaluation. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(9): 2081-2086.
- [20] Wang Q, Yuan X Z, Liu H, Zhang Y W. Rapid assessment model for mountain stream habitat and its application. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42(8): 928-933.
- [21] Wang Q. Research on the effect of river habitat on biodiversity in mountain river [D]. Chongqing: Chongqing University, 2011.

- [22] Yuan X Z, Xiong S, Li B, Xu J B, Liu H, Wang Q. On the eco-friendly utilization of littoral wetland of three gorges reservoir. *Journal of Chongqing Normal University: Natural Science*, 2011, 28(4): 23-25.
- [23] Raven P J, Holmes N T H, Vaughan I P, Dawson F H, Scarlett P. Benchmarking habitat quality: observations using River Habitat Survey on near-natural streams and rivers in northern and western Europe. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2010, 20(S1): S13-S30.
- [24] Harper D, Everard M. Why should the habitat-level approach underpin holistic river survey and management?. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1998, 8(4): 395-413.
- [25] Jeffers J N R. Characterization of river habitats and prediction of habitat features using ordination techniques. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1998, 8(4): 529-540.
- [26] Walker J, Diamond M, Naura M. The development of physical quality objectives for rivers in England and Wales. *Aquatic*

Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 2002, 12(4): 381-390.

参考文献:

- [2] 陈婷. 平原河网地区城市河流生境评价研究: 以上海为实例 [D]. 上海: 华东师范大学, 2007.
- [3] 赵进勇, 董哲仁, 孙东亚. 河流生物栖息地评估研究进展. *科技导报*, 2008, 26(17): 82-88.
- [4] 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. *环境科学学报*, 2007, 27(6): 928-936.
- [19] 石瑞华, 许士国. 河流生物栖息地调查及评估方法. *应用生态学报*, 2008, 19(9): 2081-2086.
- [20] 王强, 袁兴中, 刘红, 张跃伟. 山地河流生境快速评价模型与应用. *水利学报*, 2011, 42(8): 928-933.
- [21] 王强. 山地河流生境对河流生物多样性的影响研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [22] 袁兴中, 熊森, 李波, 徐静波, 刘红, 王强. 三峡水库消落带湿地生态友好型利用探讨. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 28(4): 23-25.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.6 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Impacts of global warming on litter decomposition SONG Piao, ZHANG Naili, MA Keping, et al (1327)
- From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis ZHANG Xiaogang, ZENG Hui (1340)
- A multi-dimensional approach for wetland ecosystem service valuation SONG Yuqin, ZHANG Xiaolei (1352)
- Molecular mechanisms of the insect juvenile hormone JIN Minna, LIN Xinda (1361)
- Microbial deterioration in ancient cave and wall paintings LI Qiang, GE Qinya, PAN Xiaoxuan, et al (1371)
- Study on ecological safety evaluation and warning of wetlands in Tumen River watershed based on 3S technology
..... ZHU Weihong, MIAO Chengyu, ZHENG Xiaojun, et al (1379)
- A review of transboundary protected areas network establishment WANG Wei, TIAN Yu, CHANG Ming, et al (1391)

Autecology & Fundamentals

- Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow
seedlings QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al (1401)
- Three warming scenarios differentially affect the morphological plasticity of an invasive herb *Alternanthera philoxeroides*
..... CHU Yanmei, YANG Jian, LI Jingji, et al (1411)
- The influence of meteorological factors and soil physicochemical properties on karst processes in six land-use patterns in summer
and winter in a typical karst valley LIU Wen, ZHANG Qiang, JIA Yanan (1418)
- Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco
..... LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, et al (1429)
- The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram LIU Shuai, WU Shuci, WANG Hong, et al (1436)
- Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands
..... QIU Jianxi, TANG Mengping, SHEN Lifen, et al (1444)
- Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits
..... DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, et al (1451)
- Development of compatible biomass models for trees from different stand origin ... FU Liyong, LEI Yuancai, SUN Wei, et al (1461)

Population, Community and Ecosystem

- The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtoneura* in extensively managed *Phyllostachys edulis*
plantation FAN Yanrong, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (1471)
- Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and
nitrogen, and nematode communities CHEN Jing, CHEN Fajun, LIU Manqiang, et al (1481)
- Temporospatial variations in net ecosystem productivity in Northeast China since 1961
..... LI Jie, ZHANG Yuandong, GU Fengxue, et al (1490)
- Assessment of the habitat suitability for waterfowls in the Panjin, Liaoning with GIS and remote sensing
..... DONG Zhangyu, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al (1503)
- Distribution of soil macropores and their influence on saturated hydraulic conductivity in the Huoditang forest region of the
Qinling Mountains LU Bin, ZHANG Shengli, LI Kan, et al (1512)

- Influences of phosphorus concentration on interactions among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* ...
 MA Jianmin, JIN Ping, GUO Meng, et al (1520)
- Allelopathic inhibition and mathematical models of *Chara vulgaris* extracts on two freshwater algae species
 HE Zongxiang, LIU Lu, LI Cheng, et al (1527)
- Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua (1535)
- Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method
 WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong, et al (1548)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Appling SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern
 China GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al (1559)
- Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China
 CHEN Li, YIN Yunhe, ZHAO Dongsheng, et al (1568)
- The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang
 LI Ying, LI Yuecong, LÜ Suqing, et al (1575)
- The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe
 YAN Ruirui, XIN Xiaoping, WANG Xu, et al (1587)
- Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region
 WU Jie, LI Yuhuan, LI Zengbing, et al (1596)

Resource and Industrial Ecology

- Transnational land use and its potential environmental consequence LU Xiaoxuan (1606)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 薛建辉

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 34 卷 第 6 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 6 (March, 2014)

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

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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 90.00 元