

京郊河溪岸边带生态恢复适宜性评价

冯泽深, 高甲荣, 娄会品, 赵哲光, 杨海龙, 王颖

(北京林业大学 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

摘要: 运用模糊概率评价模型, 构建岸边带生态恢复适宜性评价指标体系, 对北京郊区安达木河岸边带进行了生态恢复适宜性评价, 并将适宜性分为: 完全不宜(I), 低度适宜(II), 适宜(III), 非常适宜(IV)共4个等级。结果表明, 安达木河岸边带生态恢复适宜性总体处于II和III等级之间的过渡阶段, 各等级岸边带所占比例分别为10.0%, 30.6%, 26.7%和11.7%。并在分析安达木河生态恢复适宜性评价图的基础上, 针对处于不同适宜性等级的岸边带提出了相应的生态恢复建议。

关键词: 岸边带; 生态恢复; 适宜性评价; 安达木河

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)02-0046-05

中图分类号: X826

Suitability Assessment for Ecological Restoration of Rural Riparian Zone in Beijing City

FENG Ze-shen¹, GAO Jia-rong¹, LOU Hui-pin, ZHAO Zhe-guang, YANG Hai-long, WANG Ying

(The Key Laboratory of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: By means of fuzzy probability assessment model, an assessment indicator system was built to assess the suitability for ecological restoration of Andamu River. The suitability for ecological restoration was divided into four grades: not suitable, low suitability, suitable, and very suitable. Results showed that the total suitability for ecological restoration of Andamu River was between the low suitability and the suitable grade. The proportion of four grades that various types of riparian take up was 10.0%, 30.6%, 26.7%, and 11.7%, respectively. On the base of subsection assessment sketch of riparian zone ecological restoration suitability, ecological restoration suggestions for each grade of riparian zone were brought forward.

Keywords: riparian zone; ecological restoration; suitability assessment; Andamu River

岸边带也称岸边缓冲带, 是陆地生态系统和水生生态系统之间进行物质、能量和信息交换的重要生物过渡带^[1]。自然的岸边带是指“正常地从水体边缘延伸到高地群落的区域”^[2], 是由植物、动物以及微生物共同组成的极富生命力的生态系统。它具有稳定河岸、削减地下水与地表径流中氮素含量、调节河溪附近小气候、控制下游洪峰流量以及增强生物多样性等作用^[3-4]。随着人类社会对河岸开发强度的日益加剧, 岸边带生态系统的廊道功能、缓冲功能与植被护岸功能^[5-6]正在遭遇严重的改变、威胁、甚至破坏, 导致岸边带生物多样性锐减、生产力下降、景观价值丧失, 亟待进行生态恢复与保护。然而, 并不是所有的退化岸边带均适宜生态恢复, 如何选择最具生态恢复潜力的岸边带进行生态治理以及依据岸边带的退化程度进行生态恢复适宜性等级划分是当前亟需解决的重要问题之一。岸边带生态恢复适宜性评价是划

分岸边带生态恢复潜力等级的基础, 但目前国内外学者对此却鲜有研究。北京市密云县安达木河从上游到下游其岸边带的退化状况层次明晰, 既有相对原生态的岸边带, 也有完全人工化的浆砌石河岸, 极具研究代表性。本研究基于生态恢复适应性评价模型, 通过构建生态恢复适宜性评价指标体系对安达木河的岸边带进行了生态恢复适宜性评价, 以期提高河溪生态恢复的效率、缓解自然和人为因素对河溪生态系统造成的压力。

1 岸边带生态恢复适宜性评价

1.1 岸边带生态恢复适宜性的内涵

并不是所有的退化岸边带均适合进行生态恢复, 它们受多种因子的制约, 包括土地的公有或私有、是否靠近城市、是否因为较高的防洪标准而不允许进行生态修复、土地利用方式差异等。生态恢复的目标是

收稿日期: 2009-08-07

修回日期: 2009-11-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“北京地区河溪自然性评价及近自然恢复机理研究”(40771128); 国际科技合作项目(2009DFA32490)

作者简介: 冯泽深(1985—), 女(汉族), 重庆市人, 博士研究生, 研究方向为水土保持与流域管理。E-mail: fengweishan@126.com。

通信作者: 高甲荣(1963—), 男(汉族), 陕西省韩城市人, 博士, 教授, 研究方向为流域管理及生态环境建设。E-mail: jiaronggao@sohu.com。

为了使整个河岸生态系统在生物、地理、水文 3 方面尽可能地达到自然状态, 或者达到一个生态系统不需外力的帮助就能进行自我恢复的水平^[7-8], 而成功的、可持续的岸边带生态恢复则首先需要确定最适合生态恢复的区域, 然后再在该区域采取近自然治理措施结合乡土树种进行植被恢复与重建。

岸边带生态恢复适宜性 (suitability for restoration of riparian zone) 可以定义为: 河岸生态系统 (部分生态系统) 受干扰越强烈, 越需要进行生态恢复, 则生态恢复适宜性越高。本研究根据北京地区乡村河溪现状, 在参考植被覆盖、土地利用方式、受干扰岸边带程度、附近水体的重要程度这 4 个大标准的基础上, 将岸边带生态恢复适宜性分为完全不适宜、低度适宜、适宜和非常适宜共 4 个等级。

当然, 岸边带生态恢复适宜性评价还涉及时间与空间尺度问题^[9]。不同时段岸边带的植被组成与覆盖度可能有较大不同, 例如雨季河岸植被覆盖度较高, 缓冲带宽度较大, 评价结果可能更偏向于较低的生态恢复适宜性; 在不同空间尺度下, 上游的岸边带非常适宜生态恢复, 而下游岸边带或许完全不适宜生态恢复。因此, 在评价中, 首先要确定时间与空间尺

度, 评价结论才有实际意义。本次评价的时间尺度为 1 a, 空间尺度为整条河溪的岸边带。

1.2 评价指标体系

迄今为止, 对于北京郊区河溪岸边带生态恢复适宜性评价尚无明确统一的标准。本评价标准的制订参考了国内、外河溪健康评价的相关标准与规范^[10-14], 赋予各项评价指标的 4 个等级分值分别为: I 完全不适宜 (1 分), II 低度适宜 (2 分), III 适宜 (3 分), IV 非常适宜 (4 分)。由于目前北京地区已经较难找到不受人为干扰的岸边带作为参考岸边带, 因而可以选取受人为干扰相对较少的岸边带作为参考标准。本研究选取安达木河上游雾灵山自然保护区内的岸边带作为参考本底值, 认为该段岸边带植被结构完整、物种丰富度高、受人为干扰较少, 为最具生态恢复潜力的岸边带。评价指标的选取按照科学性、系统性、代表性、独立性、创新性、可比性、实用性等指标体系设置选取原则, 从河溪特征、岸边带结构、岸边带植被特征、河岸稳定性、岸边带功能 5 个方面选取了 16 个定性、定量评价指标对研究区域岸边带的生态恢复适宜性进行评价^[15-17]。具体评价指标与分级标准见表 1。

表 1 岸边带生态恢复适宜性评价指标体系和分级标准

指标	级别与标准			
	完全不适宜 (1 分)	低度适宜 (2 分)	适宜 (3 分)	非常适宜 (4 分)
河溪形态	河溪汇合点	多流线, 交叉	单一流线, 少量弯曲	单一流线, 无弯曲
河溪结构 (宽/深)	$W/D > 40$	$26 \leq W/D \leq 40$	$12 \leq W/D \leq 25$	$W/D < 12$
深潭—浅滩结构	明显, 每隔 5 倍河宽长度出现	间隔长度不规则	长深潭分割短浅滩, 无弯曲	河溪渠道化, 无深潭—浅滩结构
岸边带利用方式	未受干扰林地、自然湿地	永久性草地, 有少量农作物	农耕地与草地混合	农耕地
岸边带宽度 (W)	$W \geq 30$ m	$5 \text{ m} \leq W < 30$ m	$1 \text{ m} \leq W < 5$ m	无岸边带
岸边带完整性	岸边带完整, 无沟谷存在	沟谷面积少于岸边带面积的 1/2	调查岸边带有大量沟谷存在	河岸有很深切沟以及其他类型的破坏
岸边带植被组成	原生树种、灌木密度 $> 90\%$	先锋树种与后期成熟树种混合	极少数先锋树种与灌木种类存在	植被由草及稀疏乔、灌木组成
Shannon—Wiener 多样性指数 (H)	$H > 3$	$2.5 \leq H \leq 3$	$1.4 \leq H < 2.5$	$H < 1.4$
Pielou 均匀度指数 (J)	$J \geq 0.95$	$0.85 \leq J < 0.95$	$0.65 \leq J < 0.85$	$J < 0.65$
Gleason 丰富度指数 (d_{g1})	$d_{g1} \geq 15$	$10 \leq d_{g1} < 15$	$4 \leq d_{g1} < 10$	$d_{g1} < 4$
植被缺口个数	0	1~2	3~5	> 6
河岸坡度	$< 1^\circ$	$1^\circ \sim 2^\circ$	$2^\circ \sim 4^\circ$	$\geq 4^\circ$
河岸侵蚀程度	河岸植被覆盖率较高, 无侵蚀	仅在弯曲或者狭窄的地方有侵蚀	岸坡与坡脚侵蚀频繁	沿河有严重侵蚀、河岸坍塌
岸坡组成	岸坡稳定、有乔、灌、草植被护坡	岸坡稳定、仅有灌木和草本护坡	岸坡松散, 仅有稀疏灌木和草本	河岸不稳定, 仅有疏松泥沙或土壤
调节温度变化/°C	> 4	3~4	1~3	< 1
相对湿度变化/%	> 15	10~15	5~10	< 5

1.3 评价指标权重确定

运用层次分析法^[18], 结合专家咨询, 确定要素层和指标层的权重。首先请生态学家、水文学家、环境质量评价专家和郊区河湖管理部门管理人员, 填写各指标权重的判断矩阵; 采用层次分析法确定指标的权重, 具体步骤如下: (1) 将判断矩阵每一列规范化; (2) 将每一列规范化的判断矩阵按行相加得到向量; (3) 对向量做规范化处理, 依次得到的列向量即为所求特征向量; (4) 计算判断矩阵的最大特征根; (5) 对判断矩阵进行一致性检验, 得到各个评价指标对上一层的权重以及各要素对目标层的权重。要素层和指标层的权重计算结果见表 2。

表 2 各层指标权重计算结果

要素层	权重	指标层	权重
河溪特征	0.178	河溪形态	0.349
		河溪结构	0.391
		深潭—浅滩结构	0.260
岸边带结构	0.205	岸边带利用方式	0.318
		岸边带宽度	0.216
		岸边带完整性	0.466
		岸边带植被组成	0.273
岸边带植被特征	0.217	河岸植被多样性	0.151
		河岸植被丰富度	0.257
		河岸植被均匀度	0.157
		河岸植被缺口个数	0.162
		河岸坡度	0.219
河岸稳定性	0.211	河岸侵蚀程度	0.291
		岸坡组成	0.490
		调节温度变化	0.633
岸边带功能	0.189	调节湿度变化	0.367

1.4 评价模型

岸边带是否适宜生态恢复是一个相对的概念, 是相对于参考岸边带而言的, 并且结果是基于多指标和多样点调查得到的, 评价指标具有动态性, 评价结果存在模糊性和概率性, 因此, 岸边带生态恢复适宜性可以作为一个模糊问题来处理^[19], 在小尺度上 (10² m ~ 10 m) 应用模糊概率评价模型来评价岸边带生态恢复的适宜性 (图 1)。

$$A = W \times R \quad (1)$$

式中: A ——岸边带生态恢复适宜性等级状况矩阵; W ——评价要素的权矩阵, $W (w_1, w_2, w_3, w_4, w_5)$; R ——各评价要素对各级适宜性等级标准 (非常适宜、适宜、低度适宜、完全不适宜) 的隶属度矩阵。

$$R = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & R_{14} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{24} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & R_{34} \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & R_{44} \\ R_{51} & R_{52} & R_{53} & R_{54} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_j = (W_{i1}, W_{i2}, \dots, W_{ik}) \times \begin{bmatrix} r_{1j} \\ r_{2j} \\ \vdots \\ r_{kj} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式(2—3)中: R_{ij} ——第 i 要素对第 j 级适宜性等级的隶属度; W_{ik} ——第 i 评价要素对其包含的第 j 个指标所赋予的权重, 其中 k 为各评价要素所包含的指标个数; r_{kj} ——第 k 指标对第 j 级标准的相对隶属度, r_{kj} 的计算对正向指标 (指标值越大, 适宜性程度越高) 和负向指标 (指标值越小) 的计算有所不同, 其计算方法 (以第 y 项指标值 x_y 为例, $y = 1, 2, \dots, k$; S_{yj} ——第 j 级生态恢复适宜性等级标准值) 为:

(1) 正向指标。如岸边带宽度、河岸植被多样性等

$$\textcircled{1} \text{ 当 } x_y > S_{y1} \text{ 时, } r_{y1} = 1, r_{y2} = r_{y3} = r_{y4} = 0$$

$$\textcircled{2} \text{ 当 } S_{yj} \geq x_y \geq S_{y,j+1} \text{ 时, } r_{y,j+1} = \frac{S_{y,j} - x_y}{S_{y,j} - S_{y,j+1}},$$

$$r_{y,j} = 1 - r_{y,j+1}; (j = 1, 2, 3) \quad (4)$$

$$\textcircled{3} \text{ 当 } x_y < S_{y4} \text{ 时, } r_{y4} = 1, r_{y1} = r_{y2} = r_{y3} = 0$$

(2) 负向指标。如河溪结构 (宽/深)、河岸坡度等

$$\textcircled{1} \text{ 当 } x_y < S_{y1} \text{ 时, } r_{y1} = 1, r_{y2} = r_{y3} = r_{y4} = 0$$

$$\textcircled{2} \text{ 当 } S_{y,j} \leq x_y \leq S_{y,j+1} \text{ 时, } r_{y,j+1} = \frac{x_y - S_{y,j}}{S_{y,j+1} - S_{y,j}},$$

$$r_{y,j} = 1 - r_{y,j+1}; (j = 1, 2, 3) \quad (5)$$

$$\textcircled{3} \text{ 当 } x_y > S_{y4} \text{ 时, } r_{y4} = 1, r_{y1} = r_{y2} = r_{y3} = 0$$

按照最大隶属度原则, 判定被评价岸边带所做的生态恢复适宜性等级。如果相邻两个等级的隶属度差值 ≤ 0.1 , 则处于等级间的过渡带。

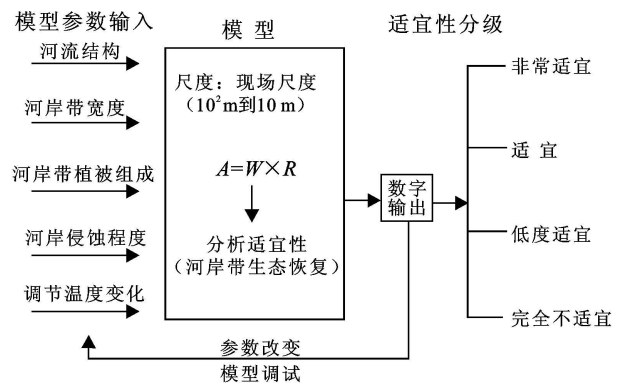


图 1 岸边带生态恢复适宜性评价模型

2 评价实例

安达木河地处北京市密云县东北山区, 发源于河北省滦平县涝洼村北山区和承德乱石洞子, 经黑关入密云县境, 至桑园村西入潮河。该河在北京境内全长 68 km, 流域面积 364.31 km², 均为山地, 为典型的山区河溪。以安达木河上游雾灵山自然保护区至遥桥峪水

库入库口河段岸边带为研究区域, 整个岸边带长 11 854.2 m。近年来随着旅游业的发展, 河溪水源补给量减少, 岸边带生态系统遭到破坏, 特别是下游河段, 河岸利用方式单一为旅游业服务, 缓冲带植被连通性差, 受人为干扰严重。在 2007 年和 2008 年的 7—8 月间所进行的野外调查中, 按照每 100 m 布一个基本调查点, 如遇到河岸情况突变, 则加测一点的原则, 在研究区布设调查点 112 个, 在自然保护区内布设调查点 10 个, 共计布设调查点 122 个; 在研究后期评价中, 以

生态环境相似为准则, 将每 10 个基本调查点作为一个调查河岸样带, 如遇生态突变立即加设 1 个调查河岸样带的原则, 共设置 17 个调查河岸样带, 以防止某段岸边带特征的突变, 对整个评价结果造成影响。

2.1 评价结果

根据 2007 年、2008 年监测数据、实地调查结果并结合上述评价模型, 得出 17 个调查河岸样带对各适宜性级别的隶属度, 从而判定各岸边样带所处的生态恢复适宜性等级(表 3)

表 3 安达木河各调查河岸样带对不同生态恢复适宜性等级的隶属度

河样带号	完全不适宜(I)	低度适宜(II)	适宜(III)	非常适宜(IV)	所处等级
1	0.524	0.308	0.125	0.043	I
2	0.112	0.315	0.483	0.090	II
3	0	0.193	0.073	0.734	IV
4	0.031	0.516	0.282	0.171	II
5	0.183	0.305	0.468	0.044	III
6	0.114	0.118	0.365	0.403	III—IV过渡
7	0.121	0.489	0.248	0.142	II
8	0.050	0.446	0.227	0.277	II
9	0.237	0.261	0.453	0.049	III
10	0.136	0.278	0.395	0.191	III
11	0.312	0.138	0.496	0.054	III
12	0.237	0.398	0.279	0.086	II
13	0.075	0.281	0.174	0.470	IV
14	0.399	0.367	0.194	0.040	II—III过渡
15	0.333	0.393	0.265	0.009	II—III过渡
16	0.138	0.184	0.366	0.312	III—IV过渡
17	0.467	0.134	0.305	0.094	I
总体	0.221	0.326	0.298	0.155	II—III过渡

根据上表的隶属度计算结果, 分别用不同的颜色表示河岸样带所处的生态恢复适宜性等级, 并按照比例尺将实际岸边带垂直投影到评价结果图上, 从而更直观地了解各段评价河岸样带所处的地域与生态恢复适宜性等级(图 2)。

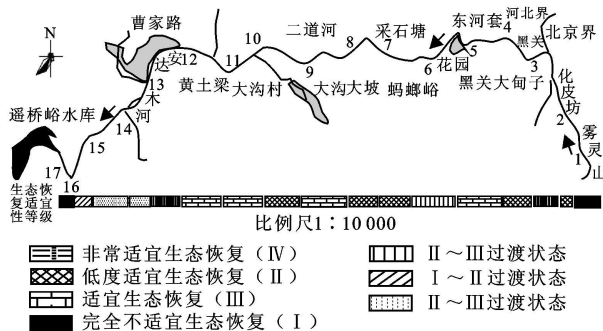


图 2 安达木河岸边带生态恢复适宜性评价图

2.2 分析与讨论

通过对安达木河岸边带进行生态恢复适宜性评价, 结果表明安达木河多数河岸样带处于低度适宜生态恢复等级, 但其总体对于 II, III 等级隶属度差值仅

为 0.028, 处于低度适宜与适宜生态恢复两等级之间的过渡阶段。根据图 2 显示, 3 号与 13 号岸边样带处于非常适宜生态恢复等级, 所占比例为 11.7%。3 号岸边带地处黑关长城旅游景点附近, 左岸为公路, 右岸为岩石峭壁, 河水被“长城第一泉”拦截, 基本无岸边带存在; 13 号河岸样带位于曹家路镇下游, 河道被渠化, 河水被拦截开发为水上娱乐中心, 河岸为光滑的浆砌石坡面, 无任何植被保留, 人为干扰非常严重; 此两处河段完全阻断了河溪生态系统的连续性, 使岸边带消失殆尽, 非常适宜采取近自然治理措施恢复河岸植被, 从而有助于整个河溪生态系统的生态恢复。但是, 3 号岸边带由于所处地理位置较为特殊, 河左岸的公路有助于促进当地经济和旅游业的发展, 不能恢复为植被群落, 可在公路近水边坡适当植树种草恢复河岸植被景观。

处于适宜生态恢复等级的岸边带主要分布于河溪中、下游, 占总河岸长的 26.7%。其共同特征是河岸植被结构不完整, 土地利用方式为农耕地, 河中水量稀少, 河床部分裸露, 河岸侵蚀明显。此类岸边带恢复应采取工程措施与生物措施相结合, 在保证行洪

标准的前提下进行植被恢复以达到其原有状态。

研究区 30.6% 的岸边带处于低度适宜生态恢复等级, 主要在河溪的上、中游分布。该类岸边样带虽存在部分植被缺失, 但河水清澈, 河中大石杂乱分布, 常有游人在河中嬉戏, 具有较强的景观娱乐功能, 因而只需采取少量措施便可恢复其原有生态功能。对于此类岸边带需要采取一定的生物恢复措施, 完善其植被群落结构, 促进其向完全不适宜等级方向发展。

完全不适宜生态恢复的岸边带位于河溪上游雾灵山自然保护区附近与中下游遥桥峪水库入河口, 所占比例为 10.0%。1 号河岸样带与保护区内设置的参考岸边带植被结构相近, 生态、地貌、水文特征相似, 较少受人为干扰; 17 号河岸样带靠近水库集水区, 河中水量丰富, 河岸植被为天然草地; 同时遥桥峪水库是密云水库水量的重要来源之一, 其周围环境亦受到良好保护, 因而完全不需要采取措施进行生态修复。处于此等级的岸边带只需保护其不受较大人为干扰, 便可自然恢复。

3 结论

(1) 在阐释生态恢复适宜性内涵的基础上, 从河溪特征、岸边带结构、岸边带植被特征、河岸稳定性、岸边带功能 5 个方面选取 16 个定性和定量指标, 构建了一套岸边带生态恢复适宜性潜力评价指标体系, 采用模糊概率评价法在安达木河进行了实例研究。结果表明, 安达木河岸边带生态恢复潜力总体处于低度适宜与适宜生态恢复等级之间的过渡阶段, 处于 I, II, III, IV 等级的岸边带所占比例分别为 10.0%, 30.6%, 26.7% 和 11.7%。

(2) 自然保护区与遥桥峪水库附近岸边带较少受人为干扰, 其各项生态功能均接近参考岸边带, 最不适宜采取措施进行生态修复。而完全无植被存在以及被硬化的岸边带则非常适宜采取适当措施恢复其近自然风貌。低度适宜生态恢复岸边带应多采取生物恢复措施, 促进其向良性方向发展。适宜生态恢复岸边带则需采取工程措施与生物措施相结合, 在保证行洪标准的前提下尽可能构建河岸带植被群落。

(3) 本评价指标体系是在北京郊区安达木河岸边带的调查和研究基础上确定的, 但是所选择参考岸边带的本底值数据库还不全面, 未涉及到岸边带的过滤作用^[20]、屏蔽作用以及管理方面的评价标准。因而需要扩大调查的范围与内容, 不断充实与完善本底值数据库, 力图使评价标准更为统一。

[参 考 文 献]

[1] 杨胜天, 王雪蕾, 刘昌明, 等. 岸边带生态系统研究进展

[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 894-905.

- [2] Naiman R J, Decamps H, McClain M E. Riparia: Ecology, conservation, and management of streamside communities[M]. London, Great Britain: Elsevier Academic Press, 2005: 28-37.
- [3] Gregory S V, Swanson F J, McKee W A, et al. An ecosystem perspective on riparian zones[J]. Bioscience, 1991, 41(8), 34-42.
- [4] Quinn J M. Riparian management classification for Canterbury streams (No. NIWA client report HAM2003-064) [J]. National Institute of Water & Atmospheric Research, 2003; 16(2): 139-147.
- [5] 夏继红, 严忠民. 生态岸边带的概念及功能[J]. 水利水电技术, 2006, 37(5): 14-17.
- [6] 诸葛亦斯, 刘得富, 黄钰铃. 生态河流缓冲带构建技术初探[J]. 水资源与水工程学报, 2006, 17(2): 63-67.
- [7] Boone K J, Beschta R L, Otting N, et al. An ecological perspective of riparian and stream restoration in the western United States[J]. Fisheries, 1997, 22(5): 12-24.
- [8] Morten L P, Nikolai F. Restoration of Skjern River and its valley: Short term effects on river habitats, macrophytes and macroinvertebrates[J]. Ecological engineering, 2007, 30: 145-156.
- [9] 董哲仁. 河流生态修复的尺度格局和模型[J]. 水利学报, 2006, 37(12): 1476-1481.
- [10] 高甲荣, 王芳, 朱继鹏, 等. 河溪生态系统自然性评价指标体系[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(5): 66-70.
- [11] 耿雷华, 刘恒, 钟华平, 等. 健康河流的评价指标和评价标准[J]. 水利学报, 2006, 37(3): 253-258.
- [12] Benett J. Investing in ecosystem health: Using rivers as a case study[J]. Ecological Management & Restoration, 2002, 3(2): 104-107.
- [13] Allan J D. Stream ecology, structure and function of running waters[M]. London: Chapman and Hall, 1997: 305-330.
- [14] Baina M B, Harigb A, Loucksc D P, et al. Aquatic ecosystem protection and restoration: Advances in methods for assessment and evaluation[J]. Environment Science & Policy, 2000, 3: 89-98.
- [15] 蔡守华, 胡欣. 河流健康的概念及指标体系和评价方法[J]. 水利水电科技进展, 2008, 28(1): 23-26.
- [16] 杨文慧, 杨宇. 河流健康概念及诊断指标体系的构建[J]. 水资源保护, 2006, 22(6): 28-30.
- [17] 冯泽深, 高甲荣. 北京郊区雁栖河自然性定量评价[J]. 中国农村水利水电, 2008, (10): 14-17.
- [18] 彭静, 董哲仁, 李翀. 河流生态功能综合评价的层次决策分析方法[J]. 水资源保护, 2008, 24(1): 45-48.
- [19] 张凤玲, 刘静玲, 杨志峰. 城市河湖生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 3019-3024.
- [20] 夏继红, 严忠民. 生态岸边带研究进展与发展趋势[J]. 河海大学学报, 2004, 32(3): 252-255.