

北京郊区河岸带自然性评价指标体系

委会品, 高甲荣, 陈子珊

(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: 河岸带是水陆交错带, 是河溪的重要组成部分, 对人类的生产、生活具有重要的意义。在分析国内外各种对河流评价方法的基础上, 结合安达木河流域特点和野外调查, 从结构和功能两方面选取了相互匹配的 16 个指标, 采用层次分析和模糊综合评价相结合的方法, 构建了河岸带自然性评价指标体系。综合考虑一个平衡河岸带生态系统的特点以及结构和功能等特点, 可以将河岸带的近自然程度分为 4 个等级: 自然状态、近自然状态、退化自然状态和退化状态。并以安达木河为例进行评价, 评价结果与实际相符合, 可作为北京郊区河岸带评价体系。

关键词: 河岸带; 自然性评价; 模糊数学; 稳定性

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2010)01-0161-05 **中图分类号:** U213, U157, X171

Naturalness Evaluation Index System of Riparian Zone in Beijing Suburb

LOU Hui-pin, GAO Jia-rong, CHEN Zi-shan

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification

Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Riparian zone, an ecotone between land and river, is an important component of a river. It is also very significant to human's production and livelihood. Based on a variety of domestic and foreign evaluation systems and combined with the water characteristics and field instigation of the Andamu River, 16 indicators are selected for the naturalness evaluation index system that matches both in structure and functions by using the methods of hierarchical analysis and vague integrated appraisal. Under the comprehensive consideration of the geological features and community characteristics of a balanced riparian ecosystem, the near-natural levels of a riparian zone can be classified into four grades: natural state, near-natural state, degrading state, and degraded state. The evaluation results of the Andamu River by using the naturalness evaluation index system match the actual conditions. The naturalness evaluation index system may be applied as a suitable evaluation system for the riparian zones in Beijing suburb.

Keywords: riparian zone; naturalness evaluation index system; fuzzy math; stability

近年来随着经济的不断发展,北京郊区的几条主要河流因大力发展旅游业,兴建度假村等,遭受严重的人为干扰,导致河溪生态系统严重退化。河溪是十分复杂的四维空间系统^[1],其修复过程不仅具有时空的可变性而且受到自然因素的影响。河岸带是河溪生态系统和陆地生态系统的交错带,具有至关重要的作用。良好的河岸带生态系统具有提高生物多样性和河溪生态系统的生产力,进行水体污染的治理和保护,改善小气候等作用。通过河岸带的治理来改善河溪生态系统是一种间接的、见效快的治理河溪的方法。要对河岸带进行治理,首先要对河岸带的生态状

况进行整体评价。河岸带的自然性评价就是对人为干扰和自然干扰所造成的退化河岸带生态系统的结构和功能作整体性的评价。目前,国外的河溪评价方法主要有 IBI(Karr),RCE(Petersen),ISC(Ladson),RHS(Raven),RHP(Rowntree)和南非的 SASS 等^[1]。这些评价方法能够较全面的评价河溪的近自然状况,但是有些因子只能进行定量描述,带有一定的主观性,降低了评价结果的可信性,而且这些评价方法带有地域性,并不适合我国河岸带的评价。本文选取了与河岸带密切相关的指标对其进行综合性评价,从定量的角度评价河岸带所处的健康状况,为北

京郊区河岸带的有效管理和受损河岸带生态系统的修复提供了科学的指导和参考依据,避免了河岸带生态系统建设、保护和管理的片面性和盲目性。

1 评价方法的确定

河岸带生态系统受到很多因素的制约和影响,这些因素既有定性指标,也有定量指标,而且指标间具有较强的层次关系;对于定量指标可以通过一定的数学公式求出其准确数值;定性指标具有一定的模糊性,很难用某一准确的量值对其描述,对于这种模糊性较强的综合评价问题,采用模糊综合评价是比较合适河岸带自然性评价的^[2-3];又由于指标的层次性,因此,采用层次分析法与模糊综合评价法相结合的方法进行评价。

1.1 指标结构

生态系统结构决定功能,不同类型生态系统的结构不相同,这也决定了其功能有很大差异,其生态价值也存在较大的差别。生态系统的服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[4-5]。河流生态系统的近自然状况不仅取决于生态系统结构的完整性和稳定性,还与生态系统的服务功能密切相关。

由于影响河岸带生态系统的众多因素具有明显的层次性,因此将评价指标也分为若干层次进行评价。河岸带自然性评价指标体系可以分为 4 层:目标层、子目标层、准则层、指标层^[4]。其体系结构如图 1 所示。

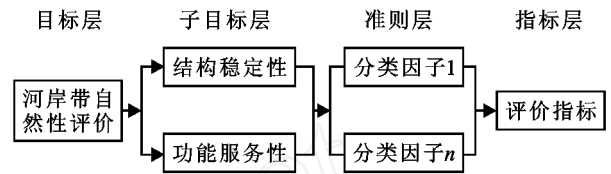


图 1 河岸带自然性评价指标层次结构图

1.2 指标权重

河岸带指标的选择要遵循一定的原则,比如要有目的性、针对性、可行性和综合性。在指标选取过程中,起初选取了 31 个指标作为评价指标体系,但在实际观测和计算过程中,把不易观测和表达意义重合的指标剔除,并加入新的指标,进行检验,不断调整指标体系。最后,从结构(9 个指标)和功能(7 个指标)两方面选取了相互匹配的 16 个指标。采用层次分析法(analytic hierarchy process 简称 AHP),通过建立层次结构、构建判断矩阵、层次单排序及一致性检验和层次总排序及一致性检验 5 个步骤来确定各指标的权重(如表 1)。

表 1 安达木河上游河岸带自然性评价指标权重

子目标层	权重	准则层	指标层	权重
结构稳定性	0.5	岸坡结构特性	斜坡坡角/ (°)	0.034
			斜坡高度/ m	0.032
			降雨特性	水土流失强度/ (t · km ⁻² · a ⁻¹)
		植被生长状况	植被覆盖度/ %	0.237
			植被带宽度/ m	0.116
			Shannon—Winer 指数	0.113
			Pielou 指数	0.107
		种群状况	丰富度指数	0.140
			植被缺口个数	0.062
功能服务性	人为干扰状况		河岸利用程度	0.214
		耕地占用比例	0.207	
		水利工程措施个数	0.127	
	水质状况	溶解氧 DO 含量	0.076	
		纳污强度	0.091	
	生态功能特性	气温变化	0.144	
		空气相对湿度变化	0.141	

1.3 指标获取

河岸带综合调查按照全面普查和重点调查,已有资料收集和实地勘测相结合的方法进行。已有资料包括河溪 1:1 万的地形图、水系图以及地质、地貌、

降水量、日照指数和水文气象等资料。除此之外,还要进行现场测定等以获得实时数据。

(1) 结构稳定性。每 100 m 设置一个调查点,测量岸坡的坡度、斜坡高度、坡向,水体与河床接触情况

的调查是在河滨浅水区设置一个 1 m × 1 m 的样方,采用蛇形布点法,设置 50 个样点,利用探针测定;用插钎法测定水土流失强度;调查乔灌草 3 层是否缺失及其生长状态以反映缓冲带结构的完整性;植被多样性的测定是采用每 300 m 设置一个调查点,在评价河段两侧设置一个 5 m × 5 m 的乔灌样方,然后在其对角线上设置 3 个 1 m × 1 m 的草本样方,记录植物的种类、盖度等特征数据以便计算得出物种丰富度指数、Shannon—Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数。

(2) 功能服务性。用北京中西仪器出品的 BD80 系列野外便携式试剂盒,测溶解氧;用 1:1 万的地形图,实地描绘河岸带的土地利用状况,即河岸带的利用程度和耕地占用率,记录每个评价河段内的水利工程措施个数,以反映河溪水系的连续性。最后,每隔

1 h 用温湿计和温度计测定从 08:00 到 20:00 之间的气温和空气湿度。

1.4 指标标准

在模糊评价中,等级划分是评价的基本工作,只有在评价等级确定的基础上,才能准确评价。北京郊区河岸带生态系统近自然评价的评语结构分为总目标层等级和子目标层等级。子目标层等级包括结构稳定性类别和功能服务性类别。

1.4.1 指标标准 在结构稳定性和功能服务性中,指标标准的选取参照现有的国家、地区或行业标准或规范,同时借鉴其它相关领域的研究成果^[6-8]。

根据结构稳定性特点,将河岸带结构分为稳定、基本稳定、次不稳定、不稳定 4 个等级。构建的评价指标标准的选取如表 2 所示。

表 2 结构稳定性评价指标标准

项目	稳定()	基本稳定()	次不稳定()	不稳定()
斜坡坡角/ (°)	平缓 (< 15)	缓倾 (15 ~ 30)	中等 (30 ~ 45)	陡倾 (> 45)
斜坡高度/ m	低 (< 5)	较低 (5 ~ 15)	中等 (15 ~ 30)	高 (> 30)
水土流失强度/ (t · km ⁻² · a ⁻¹)	< 500	500 ~ 999	1 000 ~ 1 500	> 1 500
植被覆盖度/ %	> 90	70 ~ 90	70 ~ 30	< 30
植被带宽度/ m	> 15	10 ~ 15	3 ~ 10	< 3
Shannon—Wiener 指数	W > 3	2.5 W < 3	1.4 W < 2.5	W < 1.4
Pielou 指数	P > 0.95	0.85 P < 0.95	0.65 P < 0.85	P < 0.65
丰富度指数	> 15	10 ~ 15	4 ~ 10	< 4
植被缺口个数	0	1 ~ 2	3 ~ 5	> 6

北京郊区河岸带服务功能分为强、较强、一般、差 4 个等级。构建的评价指标标准的选取如表 3 所示。河岸带的利用程度越大说明河岸带的人为干扰越严重,河岸带原有的服务功能越小;耕地占用比例小,农药化肥对河溪的污染程度就较小;水利工程措施少,说明河溪的连续性好,有助于河溪生物的回游和河溪的健康发展;溶解氧 DO 含量和纳污强度越大,河岸带的稳定性和调节能力越强;气温变化大,河岸带的小气候调节功能就比较弱;空气湿度变化大,就是与河岸带的影响范围外地域的空气湿度作对比,其变化的大小,反映河岸带调节小气候的能力大小。

1.4.2 指标隶属度 评价指标的隶属度采用模糊数学中的半梯形分布函数来描述,对于评价指标值越大,河岸带结构稳定性越好,功能服务性越强的指标,采用升半梯形分布函数来描述它们的隶属度,则每个指标对结构稳定性、功能服务性 4 个等级的隶属函数^[8-9]分别为:

- (1) 当 $x > S_1$ 时, $U_1 = 1, U_2 = U_3 = U_4 = 0$
- (2) 当 $S_{i+1} > x > S_i$ 时,

$$U_{i+1} = \frac{S_i - x}{S_i - S_{i+1}}, U_i = 1 - U_{i+1} (i = 1, 2)$$

(3) 当 $x < S_3$ 时, $U_4 = 1, U_1 = U_2 = U_3 = 0$
 式中: U_1, U_2, U_3, U_4 ——不同等级的隶属度值; S_1, S_2, S_3 ——分别为各个等级间的分界值; x ——各相关因子的实测值。

表 3 功能服务性评价指标标准

项目	强	较强	一般	差
河岸利用程度/ %	< 10	10 ~ 30	30 ~ 50	> 50
耕地占用比例/ %	< 20	20 ~ 40	40 ~ 60	> 60
水利工程措施个数	0	1 ~ 3	4 ~ 7	> 8
溶解氧 DO 含量	> 4.5	4 ~ 4.5	3 ~ 4	< 3
纳污强度	> 0.7	0.3 ~ 0.7	0.1 ~ 0.3	< 0.1
气温变化/	> 4	3 ~ 4	3 ~ 1	< 1
空气相对湿度变化/ %	> 15	10 ~ 15	5 ~ 10	< 5

对于评价指标值越大,河岸带结构稳定性越差,功能服务性越小的指标,采用降半梯形分布函数来描述它们的隶属度,则每个指标对结构稳定性、功能服

务性 4 个等级的隶属函数分别为：

$$(1) \text{ 当 } x < S_1 \text{ 时, } U_1 = 1, U_2 = U_3 = U_4 = 0$$

$$(2) \text{ 当 } S_i \leq x \leq S_{i+1} \text{ 时, } U_{i+1} = \frac{S_i - x}{S_i - S_{i+1}},$$

$$U_i = 1 - U_{i+1} (i = 1, 2)$$

$$(3) \text{ 当 } x > S_3 \text{ 时, } U_4 = 1, U_1 = U_2 = U_3 = 0$$

北京郊区河岸带生态系统自然性评价的总目标等级分为自然状态、近自然状态、退化状态和人工状态。在河岸带结构稳定性、功能服务性评价完成后,按 5 分制对评价结果进行打分。在此基础上,对生态河岸带总体状况进行评价,主要利用加权平均的方法计算出总体自然状况指标值。将指标值与总体评价等级标准进行比较,最终确定出生态河岸带总体生态状况等级。河岸带总体自然性评价等级标准如表 4 所示。

表 4 河岸带自然性评价等级标准

项目	自然状态	近自然状态	退化自然状态	退化状态
标准	5~3	3~2	2~1	1~0

2 实例分析

2.1 研究区概况

安达木河位于密云县东北山区。发源于河北省滦平县涝洼村北山区和承德县乱石洞子,分别由北岭和黑关入密云县境,在曹家路村东汇合后称安达木河。境内全长 68 km,流域面积 364.31 km²。地处密云县东北山区,海拔 904.6~463.4 m,属于暖温带半湿润大陆性季风气候区。四季分明,温差较大,光照充足,雨量不均,干湿冷暖变化剧烈。年平均气温 6~12℃,年平均降水量为 470~850 mm,无霜期平均为 150~200 d。

2.2 结果分析

安达木河上游河岸带自然性评价中,对河岸带的结构稳定性和功能服务性进行评价,按照上述方法,确定安达木河上游河岸带结构稳定性和功能服务性评价隶属度如表 5 所示。

由表 5 可以看出,安达木河上游河岸带结构稳定性隶属于稳定级的隶属度值为 0.361,隶属于基本稳定级的隶属度值为 0.496,隶属于次不稳定级的隶属度为 0.084,隶属于不稳定的隶属度为 0.059。根据模糊数学隶属度最大原则,最终评定该段属于基本稳定状态。结构稳定性主要受到自然特性,植被生长状况和种群状况的影响,而从实际观测来看,安达木河上游河岸带处在自然保护区,水土流失强度、植被盖

度、Shannon—Winer 多样性指数、Pielou 均匀度指数和丰富度等各项指标大都处在自然近自然状态,总体结构基本稳定。

表 5 安达木河上游河岸带结构稳定性和功能服务性隶属度

子目标	等级	隶属度
结构稳定性	稳定	0.361
	基本稳定	0.496
	次不稳定	0.084
	不稳定	0.059
功能服务性	强	0.537
	较强	0.332
	一般	0.094
	差	0.037

同样,可以看出(见表 5),安达木河上游河岸带的功能服务性隶属于强级的隶属度值为 0.537,隶属于较强级的隶属度值为 0.332,按照模糊数学隶属度最大原则,安达木河属于功能服务性强的河段。功能服务性主要受到人为干扰状况和功能特性影响,而安达木河上游河岸带结构基本稳定,稳定的结构决定了该河岸带对河岸利用程度、耕地占用比例、水利工程措施个数等指标对河岸带以及小气候都有很强的调节能力。从实际角度考虑,安达木河上游河岸带的土地利用中耕地所占的比例小,农药化肥污染少;几乎没有水利措施阻断河流的连续性,对河岸带的干扰小;小气候的调节功能较强,河岸带结构处于稳定状态。安达木河上游河岸带的功能服务性很强。

河岸带自然性总体评价的指标为结构稳定性和功能服务性。经判断这 2 个指标同等重要,因此权重分别为 0.5。按照上述评价等级标准值和隶属度模型计算出安达木河上游河岸带自然性隶属度如表 6 所示。

表 6 安达木河上游河岸带自然性评价隶属度

近自然性等级	隶属度
自然状态	0.291
近自然状态	0.658
退化自然状态	0.034
退化状态	0.017

安达木河上游河岸带,近自然性隶属于自然状态的隶属度值为 0.291,隶属于近自然状态的隶属度值为 0.658(见表 6)。从模糊数学隶属度最大原则来看,安达木河上游河岸带自然性隶属于近自然状态。安达木河上游河岸带自然状况是由结构稳定性和功能服务性确定的,从上述结果可知,安达木河河岸带

的结构基本稳定,功能服务性强。安达木河上游雾灵山自然保护区至遥桥峪水库处在自然保护区内,河流沿岸自然状况良好,河岸带植物生长好,物种丰富,土壤侵蚀量少。评价结果与实际相符合,表明该评价体系比较适用于安达木河河岸带评价。

3 结论

通过对国内国外河岸带自然评价方法的分析,结合北京地区的河流特点、自然和经济状况,具体得出以下两点结论。

(1) 建立了符合北京地区的河岸带生态系统近自然评价体系,从结构(9个指标)和功能(7个指标)两方面选择了16个指标,利用层次分析的方法确定各指标权重,用模糊数学的方法建立河岸带的近自然评价方法,计算河岸带的近自然隶属度。

(2) 以安达木河为例,利用评价体系对安达木河上游河岸带进行了评价。结果表明,安达木河上游河岸带人为干扰较小,基本处于近自然状态,该评价方法所得出的评价结果与实际相符合,表明该评价体系适用于北京郊区河岸带的近自然性评价。

河岸带自然评价体系受到众多因素的影响,如经济、自然环境和人为因素的影响,尤其在评价指标的选择和指标标准的制定过程中,易受到人为因素的影响,导致评价指标及标准与实际有偏差,因此在指标的选取时要与实际的自然环境相结合,并在实践中不断地筛选;而且该评价体系主要是针对北京郊区河岸带,是否适应其它河岸带还需要进一步的检验。因此,要在实际应用中做进一步的修正,使其准确性更高,适用范围更广。

[参 考 文 献]

- [1] 温存,高阳,高甲荣,等. 河溪近自然治理技术及其评价方法[J]. 中国水土保持科学,2006(4):39-44.
- [2] 陈子珊,高甲荣. 北京郊区河岸带自然性评价与生态恢复[D]. 北京:北京林业大学,2008:22-55.
- [3] 高阳,高甲荣,李付杰,等. 基于河道—湿地—缓冲带复合指标的京郊河溪生态评价体系[J]. 生态学报,2008(10):5148-5160.
- [4] 欧阳志云,王如松. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展[J]. 世界科技研究与发展,2000,14(5):45-55.
- [5] 孙铁珩,区自清,李培军,等. 城市污水处理技术研究[M]. 北京:科学出版社,1997:19-181.
- [6] 高阳,高甲荣,陈子珊,等. 河溪近自然治理评价指标体系探讨以及应用[J]. 水土保持研究,2007,14(6):404-408.
- [7] 孙志毅,钱陈,钦佩. 外秦淮河生态系统健康评价及南京城市水环境改善对策[J]. 现代城市研究,2005,20(4):25-31.
- [8] 高甲荣. 近自然治理:以景观生态学为基础的治理工程[J]. 北京林业大学学报,1999,21(1):78-82.
- [9] 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.
- [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] 高甲荣,齐实. 生态环境建设规划[M]. 中国林业出版社,2006.
- [12] 彭静,董哲仁. 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.
- [13] 欧阳志云,王如松. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展[J]. 世界科技研究与发展,2000,22(5):45-50.
- [14] 孙铁珩,区自清. 城市污水土地处理技术研究[M]. 北京:科学出版社,1997:19-181.
- [15] Daily G C. Natures Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems [M]. Washington D. C.: Island Press,1997.
- [16] 张颖,张棣,贾宏宇,等. 生态系统结构与功能对水环境质量的影响[J]. 中国卫生工程学,2003,2(1):10-13.
- [17] 夏继红,严忠民,蒋传丰. 河岸带生态系统综合评价指标体系研究[J]. 水科学进展,2005,16(8):345-348.
- [18] 夏继红,胡玲. 生态河岸带功能区划的定性与定量研究[J]. 水利学报,2007(S):542-546.
- [19] 刘瑛,高甲荣,陈子珊,等. 北京郊区两种生态护岸方式温湿度效应对比[J]. 水土保持研究,2007,14(6):219-223.
- [20] 牟长城,倪志英,李东,等. 长白山溪流河岸带森林木本植物多样性沿海拔梯度分布规律[J]. 应用生态学报,2007,18(5):945-952.
- [21] 罗利民,田伟君,翟金波. 生态交错带理论在生态护岸构建中的应用[J]. 自然生态保护,2004(11):26-30.
- [22] 夏继红,严忠民. 国内外城市河道生态型护岸研究现状及发展趋势[J]. 中国水土保持,2004(3):20-21.
- [23] 夏继红,严忠民. 生态河岸带的概念及功能[J]. 水利水电技术,2006,37(5):14-18.
- [24] 夏继红,严忠民. 生态河岸带研究进展与发展趋势[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(3):252-255.
- [25] Morgen R P C, Rickson R J. Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach [M]. E & F N Spon, London, 1995:35-41.
- [26] 罗利民,田伟君,翟金波,等. 生态交错带理论在生态护岸构建中的应用[J]. 自然生态保护,2004(11):26-30.
- [27] Robert J N, Henri D. The Ecology of Interfaces: Riparian Zones [J]. Annu Rev Ecol Syst, 1997, 28:621-6581.
- [28] 胡宝清. 模糊理论基础 [M]. 武汉:武汉大学出版社,2004:22-40.