

乡村河道生态修复技术评价与选择

徐得潜, 夏鲲鹏

(合肥工业大学 土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: [目的] 探讨乡村河道生态修复技术综合评价方法, 为乡村河道生态修复技术选择提供理论依据。[方法] 采用模糊层次综合评价法, 从经济效益、社会及生态环境效益、对河道基本功能的影响、污染情况、自然条件等 5 个方面, 系统地构建了乡村河道生态修复技术评价的指标体系。[结果] 合肥市派河紫蓬镇河段 4 种生态修复技术综合评价价值分别为: 植物修复 85.058, 河道曝气 70.255, 人工湿地 73.456, 生态浮床 68.018, 表明应选择植物修复技术进行生态修复。[结论] 应用模糊层次分析法所建立的生态修复技术评价体系全面客观, 结合所确定的选择标准可为乡村河道选择适宜的生态修复技术提供参考。

关键词: 乡村河道; 生态修复; 模糊层次分析法; 评价指标体系; 技术选择

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2017)06-0184-05

中图分类号: X522, X171.1

文献参数: 徐得潜, 夏鲲鹏. 乡村河道生态修复技术评价与选择[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 184-188. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.031; Xu Deqian, Xia Kunpeng. Evaluation and selection of ecological restoration technology in rural river[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 184-188. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.031

Evaluation and Selection of Ecological Restoration Technology in Rural River

XU Deqian, XIA Kunpeng

(School of Civil and Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei, Anhui 230009, China)

Abstract: [Objective] The objective of this paper was to discuss the evaluation method of rural river ecological restoration technology, and to provide theoretical basis for the ecological restoration of rural river. [Methods] Considering economic benefits, social and ecological environmental benefits, the impact of river basic functions, pollution and natural conditions, this paper established an index system of comprehensive assessment on the ecological restoration of rural river by fuzzy analytic hierarchy process(FAHP). [Results] The comprehensive assessment values of four kinds of ecological restoration technologies of Zipeng Town reach of Paihe River in Hefei City were as follows: the evaluation values of phytoremediation, river aeration, constructed wetlands and ecological floating bed were 85.058, 70.255, 73.456 and 68.018 respectively. Phytoremediation was determined to be adopted for the ecological restoration. [Conclusion] The application of ecological restoration technology assessment system established by the FAHP was comprehensive and objective. If combined with the decided selection criteria, it can provide references for the selection of appropriate ecological restoration technology of rural river.

Keywords: rural river; ecological restoration; fuzzy hierarchy evaluation; index system of assessment; choice of technology

乡村河道是指流经或分布在广大农村的河流、小型湖泊和沟塘。中国乡村河道多数属于中小河流的支流及末端河道, 是中小河流的重要组成部分, 数量多, 分布广, 承担着灌溉、供水、调洪、航运、生态、景观等重要功能。近年来, 随着乡村经济发展, 乡村河道

环境问题日益突出, 水体污染严重, 乡村河道生态修复显得尤为重要。乡村河道生态修复主要有植物修复、河道曝气、人工湿地和生态浮床技术^[1-4]。对于具体的乡村河道, 不同的生态修复技术所获得的修复效果会相差很大。因此, 为了获取较好的生态修复效

收稿日期: 2017-03-28

修回日期: 2017-05-12

资助项目: 上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司“生态河道助力美丽乡村建设”

第一作者: 徐得潜(1960—), 男(汉族), 安徽省青阳县人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事水资源利用与水环境保护, 给水排水工程优化规划与经济运行, 水利水电工程优化规划与经济运行方面的研究。E-mail: xudeqian60@163.com。

果,应在工程实施前结合乡村河道实际情况构建生态修复技术综合评价模型,根据评价结果合理选择。

目前河道生态修复技术的研究主要集中在城市河道,多为生态修复效果评价,对具体生态修复具体技术评价的研究尚不多见,而乡村河道生态修复技术评价更为少见^[5-10]。Cui等^[5]采用模糊评价法对溢洪河当前生态现状进行了评价分析,虽然考虑到了自然因素及经济因素,但是缺少对生态修复技术选择的分析及原因剖析;李兴德等^[6]应用层次分析法从3个方面,15个层次出发建立了城镇河道生态修复方案评价模型,但是仅建立了相关模型,未具体提及生态修复方案的选择;贾秀粉^[7]则是以天津市大沽排污河生态修复工程为例,从生态效果、经济效果和社会效果出发,建立了城市河道生态修复效果评价体系,评价体系完善,但不适用于乡村河道,也未涉及如何选择生态修复技术;庞翠超等^[8]运用模糊评价法建立了河道生态健康评价指标体系,并应用于崇明岛河道生态修复效果评价,研究创新处在于所选取的河道为潮汐河流,且考虑到了水利工程的影响,但是忽视了社会经济指标,导致评价体系不全面;刘培斌等^[9]依托永定河北京河段生态修复实例,从河流生态服务功能出发,建立了生态修复效果评价体系,该体系虽有创新,但无法进行推广使用,仅适用于永定河北京河段;胡孟春等^[10]以多自然河道理念为指导运用模糊评价法建立了城市河道修复效果评价体系,确定了21个指标,全面准确的覆盖到了各个方面,但无法应用于乡村河道。上述研究都通过不同方法从不同方面建立了生态修复评价体系,但是大多为生态修复效果评价,并没有提及如何选择生态修复技术。这对目前环境污染严重的乡村河道而言,没有太大借鉴意义。本研究拟以乡村河道为研究对象,利用模糊层次分析法,建立乡村河道生态修复技术评价指标体系,在研究国内实际及发展趋势的基础上,提出生态修复技术的选择标准,并以合肥市派河紫蓬镇段为典型研究区,对植物修复等技术进行综合评价,合理选择生态修复技术。

1 研究区概况

派河流域位于东经117.02°,北纬31.68°,干流全长约67 km,流域面积约586 km²。流域年降水量800~1 200 mm。派河属雨源型河流,上游位于江淮分水岭南侧低山区,河流坡度较大,河槽调蓄能力小,降雨汇流迅速,下游常受巢湖洪水顶托倒灌影响。派河干流左岸主要支流有岳小河、斑鸠堰河、滚子河、祁小河、古堰河,右岸主要支流有梳头河、卞小河、五老

堰河、潭冲河。派河不仅为巢湖的入湖河流,也是“引江济淮”的重要通道。

本研究所选取的派河紫蓬镇河段全长约为5 km,为Ⅳ类水体,以有机污染为主。河段地处丘陵地区,为派河的上游河段。经调研发现沿河共有4个排污口,其中仅有一个排污口排放的污废水达标,其中泗州大桥右下(西)排污口达标率仅为4.55%。而且河道被严重挤占,盲目进行填河造地,水体自净能力明显减弱,实施河道生态修复工程刻不容缓^[11]。

2 研究方法

2.1 评价方法

由于乡村河道生态修复技术评价属性的多样性和复杂性,需要采用综合评价方法。目前适用于乡村河道生态修复评价的方法主要有主成分分析法、层次分析法和模糊综合评价法等。主成分分析法是利用多元统计方法将多维数据降维处理,可以指出影响评价结果的主要因素,但是主成分分析法主观性强且权重难以确定;模糊综合评价法权重计算复杂,确定权重矢量主观性强,但可以将一些边界不清、不易量化的因素量化,对实际问题进行综合评价;层次分析法是将定性分析与定量分析相结合,进行多因素系统分析和评价,但是定量数据较少,定性成分过多。基于这些原因,本文运用模糊层次分析法对乡村河道生态修复技术进行综合评价。

(1) 建立乡村河道生态修复技术评价指标体系。

(2) 确定因素集。即由被评价对象具有的评价因素构成因素集,用 $U_i(u_{im})$ 表示,在乡村河道生态修复技术评价体系中, i 是指Ⅰ级指标的个数, m 是每个Ⅰ级指标所对应的Ⅱ级指标的个数。

(3) 确定指标权重。利用层次分析法确定各指标权重,得到指标权重矢量 $A^{[12]}$ 。

(4) 确定专家模糊评语集。专家模糊评语集通过专家咨询,对乡村河道生态修复技术的评价指标给出优、良、中、差的等级评判。然后对等级评判进行统计汇总,得出各个等级评判所占百分比。用 $V(v_j)$ 表示,其中 v_j 代表第 j 个评价结果, $j=1,2,3,4$ 。

(5) 模糊矩阵建立与计算。对于乡村河道生态修复技术评价这类复杂的多层次评价体系,需要先对每个一级指标进行评价,再对目标层进行评价。评价步骤为:首先确定单因素评价隶属度向量,并形成隶属度向量:

$$R_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{im}) \quad (i=1, 2, \dots, n; \sum_{j=1}^m r_{ij} = 1)$$

式中: r_{ij} ——某个被评Ⅰ级指标第 i 个Ⅱ级指标做出

的第 j 级评语的隶属度,形成隶属度矩阵 $R(r_{ij})_{n \times n}$; 然后再利用模糊矩阵的合成运算,可得综合评价模型为:

$$B=A \cdot R=(b_1, b_2, \dots, b_n)$$

式中: B ——综合评价集; b_i ——被评价指标从整体上看对模糊评语集元素 v_j 的隶属度。

(6) 评价结果分析。模糊综合评价的结果是一个模糊矢量 B ,而不是一个点值,其所能提供的信息比其他方法更丰富,但是对多个方案进行比较时就需要进一步处理。设与“优、良、中、差”相对应的分数集合向量为:

$$F=[95 \quad 75 \quad 55 \quad 25]^T$$

结合综合评价集 B 可得综合指数 $Y=B \cdot F^{[13]}$ 。

2.2 生态修复技术选择标准

根据我国生态修复应用现状和发展趋势,确定综合指数划分标准(表 1)。在生态修复技术选择上,应选择综合指数在 65~100 之间的生态修复技术,如有多种技术符合要求,可选择其中综合指数最高的 2 种

技术对乡村河道进行复合修复;不宜选择综合指数在 65 以下的生态修复技术。

表 1 综合指数划分标准

划分级别	适宜采用	较适宜采用	勉强适宜采用	不适宜采用
综合指数 Y	85~100	65~84	50~64	0~49

3 结果与分析

3.1 评价指标体系构建

建立乡村河道生态修复技术评价体系是一项复杂的系统工程,本文在国内外相关文献的研究基础上并结合乡村河道生态修复特性,根据评价指标体系构建原则^[14]提出经济效益、社会及生态环境效益、对河道基本功能的影响、污染状况、自然条件等 5 个 I 级指标,以及工程造价等 12 个 II 级指标,组成乡村河道生态修复技术评价体系(表 2)。其中,II 级指标分为优、良、中、差 4 个等级。

表 2 乡村河道生态修复技术评价指标体系及量化方法

目标层	I 级指标	II 级指标	指标量化方法	等级标准(分值)			
				优(85~100)	良(70~84)	中(50~69)	差(0~49)
生态修复技术选择	经济效益	工程造价	是否经济	造价低	造价适中	造价较高	造价高
		工程收益	是否有收益	收益好	收益一般	收益差	无收益
	社会及生态环境效益	社会效益	改善周边居民生活环境效果	显著改善	改善	基本改善	没有改善
		生物多样性水平	多样性指数提高程度	显著提高	大幅提高	提高	没有提高
		水质改善程度	水质是否会有明显改善	显著改善	改善	基本改善	没有改善
	对河道基本功能的影响	景观性	河道景观要求	高	较高	中等	低
		对防洪的影响	对防洪的影响程度	不影响	有影响	影响一般	影响较大
		对蓄水的影响	是否满足不同水平年蓄水量	满足	较满足	基本满足	不满足
	污染情况	污染程度	河道水质	IV	V	劣五类但不黑臭	劣五类且黑臭
		污染类型	河道是什么类型的污染	氮磷污染为主	有机物污染为主	重金属污染为主	复合污染
	自然条件	河床坡度	河床坡度变化是否产生影响	不影响	有影响	影响一般	影响较大
		气温变化	气温变化是否会产生影响	不影响	有影响	影响一般	影响较大

3.2 数据及处理

确定表 2 中 II 级指标等级,其中对于定量指标根据相关规范公式进行确定,对于定性指标则采用德尔菲法确定打分值。德尔菲法作为一种主观、定性的方法,可以广泛应用于各种评价指标体系的建立和具体指标的确定过程^[15]。具体步骤为:选定一组该领域的专家,利用专家的经验 and 直觉对指标进行打分;预测基于专家答卷的统计分布特征,将统计结果反馈给专家,影响部分专家修正他们偏离平均值较大的估计值,并进行下一轮打分;反复进行几轮,直到收敛性较好时为止;然后求加权平均值,确定最终的打分值^[16]。为确保最终结果客观科学,邀请十名来自高校、工程

企业及当地政府相关部门的专家,对派河紫蓬镇河段进行实际考察,根据评价体系,对植物修复等 4 种生态修复技术进行打分。根据每位专家打分,用下式计算专家评价准确度^[17]:

$$p_i = e^{-\frac{1}{2}(\frac{x_i - \bar{X}}{S})^2} \quad (i=1, 2, \dots, 10)$$

式中: p_i ——第 i 位专家评价的准确度; x_i ——第 i 位专家的评价值; \bar{X} ——评价值的平均值; S ——评价值的标准差。

为确保数据客观准确,将去掉两位准确度最小的专家评价,再计算剩余专家评价数据的平均值,作为最终的评价结果。

3.3 技术评价及选择

根据专家的评价结果,运用模糊层次分析法先确定评价指标体系中各指标权重值,再建立专家模糊评语集并得到最终的评价结果及综合指数,结果详见表

3—5。由表 1 中的划分标准可知,仅有植物修复技术为适宜采用,其余技术均为较适宜采用。派河紫蓬镇段生态修复技术综合评价结果显示,应采用植物修复技术进行生态修复,其余技术可适当采用。

表 3 丘陵区河道农村段生态修复技术评价权重赋值

目标层	I 级指标	I 级指标相对权重	II 级指标	II 级指标相对权重	II 级指标绝对权重
生态修复技术选择	经济效益	0.300	工程造价	0.670	0.200
			工程收益	0.330	0.100
	社会及生态环境效益	0.120	社会效益	0.250	0.030
			生物多样性水平	0.250	0.030
			水质改善程度	0.500	0.060
	对河道基本功能的影响	0.210	景观性	0.250	0.052
			对防洪的影响	0.250	0.053
			对蓄水的影响	0.500	0.105
	污染情况	0.210	污染程度	0.670	0.140
			污染类型	0.330	0.070
	自然条件	0.160	河床坡度	0.500	0.080
			气温变化	0.500	0.080

表 4 派河紫蓬镇河段生态修复技术专家模糊评语集

指标层	专家模糊评语集															
	植物修复				河道曝气				人工湿地				生态浮床			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
工程造价	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.3	0.0	0.1	0.6	0.3	0.1	0.7	0.2	0.0
工程收益	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	0.2	0.6	0.2	0.0	0.0	0.1	0.6	0.3
社会效益	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.5	0.0	0.2	0.5	0.3	0.8	0.2	0.0	0.0
生物多样性水平	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	0.3	0.2	0.6	0.2	0.0	0.1	0.6	0.3	0.0
水质改善程度	0.1	0.7	0.2	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.2	0.6	0.2	0.0	0.0	0.2	0.5	0.3
景观性	0.9	0.1	0.0	0.0	0.1	0.7	0.2	0.0	0.8	0.2	0.0	0.0	0.7	0.2	0.1	0.0
对防洪的影响	0.0	0.5	0.3	0.2	0.0	0.1	0.6	0.3	0.9	0.1	0.0	0.0	0.1	0.7	0.2	0.0
对蓄水的影响	0.9	0.1	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.8	0.2	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0
污染程度	0.1	0.7	0.2	0.0	0.7	0.2	0.1	0.0	0.2	0.6	0.2	0.0	0.0	0.1	0.5	0.4
污染类型	0.9	0.1	0.0	0.0	0.2	0.7	0.1	0.0	0.1	0.7	0.2	0.0	0.0	0.2	0.5	0.3
河床坡度	0.7	0.2	0.1	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.1	0.7	0.2	0.0
气温变化	0.1	0.7	0.2	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	0.2	0.0	0.7	0.2	0.1	0.0

表 5 派河紫蓬镇河段生态修复技术评价结果及综合指数

生态修复技术	评价结果				综合指数
	优	良	中	差	
植物修复	0.610	0.300	0.080	0.010	85.058
河道曝气	0.426	0.181	0.213	0.180	70.255
人工湿地	0.326	0.374	0.231	0.069	73.456
生态浮床	0.247	0.344	0.284	0.125	68.018

4 结论

(1) 在实际评价中,应结合乡村河道生态修复工程的具体情况,合理选择评价指标,选择时力争既能反映生态修复技术的特性,又能减少重复,便于量化。

本文初步建立了乡村河道生态修复技术评价指标体系,为使评价结果更客观,从 5 个不同角度提出了 12 项乡村河道生态修复技术评价指标。

(2) 根据各指标的特性,需要选择合适的量化方法计算指标权重。模糊层次分析法在对乡村河道生态修复技术进行综合评价时,首先利用层次分析法,根据各评价指标的重要程度,分别赋予相应的权重,在此基础上进行模糊综合评价,从而克服了模糊综合评价权重计算复杂、主观性强的问题。

(3) 河段整体生态修复工程应采用植物修复技术,而对于河段中一些区域可适当穿插加入河道曝气、人工湿地、生态浮床等技术,提升河段整体修复效果。

[参 考 文 献]

- [1] 韩黎. 生态河道治理模式及其评价方法研究[D]. 辽宁大连:大连理工大学,2010.
- [2] 吴林林. 黑臭河道净化试验研究及综合治理工程应用[D]. 上海:华东师范大学,2007.
- [3] 孙卫星,汪翔. 浅议受污染水体生态修复技术[J]. 环境科学与技术,2003,26(S2):108-110.
- [4] Cui Baoshan, Yang Oichun, Yang Zhifeng, et al. Evaluating the ecological performance of wetland restoration in the Yellow River Delta, China[J]. *Ecological Engineering*, 2009,35(7):190-1103.
- [5] Cui Zhencai, Yang Yongzhen, Gao Xiaoli, et al. Research and application of ecological river courses restoration technology[J]. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2016,39(1):12-40.
- [6] 李兴德,颜宏亮,李浩宇,等. 城镇河道生态修复方案评价模型构建[C]. 北京:全国河道治理与生态修复技术汇总,2012.
- [7] 贾秀粉. 城市河道生态修复规划、效果评价及生物控藻技术[D]. 天津:南开大学,2011.
- [8] 庞翠超,陶静,吴小慧,等. 强感潮河网生态治理工程综合评价[J]. 人民长江,2016,47(1):15-22.
- [9] 刘培斌,沈来新,刘俊国,等. 基于生态服务价值的永定河(北京段)生态修复效果评价[J]. 水利水电技术,2016,47(4):9-13.
- [10] 胡孟春,张永春,唐晓燕,等. 城市河道近自然修复评价体系与方法及其在镇江古运河的应用[J]. 应用基础与工程科学学报,2010,18(2):187-196.
- [11] 张广萍,周美正,张延,等. 安徽派河流域水污染特征及原因分析[J]. 人民长江,2014(18):20-24.
- [12] 马农乐,赵中极. 基于层次分析法及其改进对确定权重系数的分析[J]. 水利科技与经济,2006,12(11):732-736.
- [13] 梁保松,曹殿立. 模糊数学及其应用[M]. 北京:科学出版社,2007:105-120.
- [14] 王梅婷,徐得潜,陈凯. 城市河道生态护坡综合评价指标体系研究[J]. 水土保持通报,2011,31(1):198-202.
- [15] 刘学毅. 德尔菲法在交叉学科研究评价中的运用[J]. 西南交通大学学报:社会科学版,2007,8(2):21-25.
- [16] 徐联舫. 用德尔菲专家调查法对超导量子干涉仪的技术预测[J]. 科学学研究,1989,7(1):68-86.
- [17] 冯晖,王志中. 基于专家评价准确度的评估数据处理方法研究[J]. 学位与研究生教育,2002(7/8):59-60.
- [16] O'Neill, M P, Schmidt J C, Dobrowolski, J P, et al. Identifying sites for riparian wetland restoration: Application of a model to the upper Arkansas River Basin [J]. *Restoration Ecology*, 1997,5(4S):85-102.
- [17] Huang Ni, Wang Zongming, Liu, Dianwei. et al. Selecting sites for converting farmlands to wetlands in the Sanjiang Plain, Northeast China, Based on Remote Sensing and GIS [J]. *Environmental Management*, 2010,46(5):790-800.
- [18] Li Xiaowen, Li Cong, Zhang Lina. Modeling the scenarios of wetland restoration in Hengshui Lake National Nature Reserve [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010,2(1):1279-1289.
- [19] Zhao Ruifeng, Chen Yaning, Zhou Huarong, et al. Assessment of wetland fragmentation in the Tarim River basin, Western China [J]. *Environmental Geology*, 2009,57(2):455-464.
- [20] Finlayson C M, Davidson N C, Stevenson N J. Wetland inventory, assessment and monitoring: Practical techniques and identification of major issues [M]// Darwin: Proceedings of Workshop International Conference on Wetlands and Development, Dakar, Senegal, 8. 14 November 1998, Supervising Scientist Report 161, Supervising Scientist, 2001.

(上接第 183 页)