第24卷第6期
2008年11月
水 资 源 保 护
WATER RESOURCES PROTECTION
Vol.24 No.6
Nov. 2008

基于层次分析法的河湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价

钱 进[1,2],王 超[1,2],王沛芳[1,2],侯 俊[1,2]

(1.河海大学浅水湖泊综合治理与资源开发教育部重点实验室,江苏 南京 210098;2.河海大学环境科学与工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:在分析河湖滨岸缓冲带宽度确定影响因素的基础上,构建湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价指标体系。以南京牛首山河河滨缓冲带为例,运用层次分析法确定各层次评价指标的权重。最后运用距离指数-层次分析综合法对其宽度的适宜性进行评价。结果表明,牛首山河河滨缓冲带的宽度是适宜的。

关键词:河湖滨岸缓冲带;宽度适宜性;层次分析法;牛首山河

中图分类号:TU985.12　　**文献标识码**:B　　**文章编号**:1004-6933(2008)06-0076-04

Evaluation of width suitability of riparian buffer strip based on analytic hierarchy process

QIAN Jin[1,2], WANG Chao[1,2], WANG Pei-fang[1,2], HOU Jun[1,2]

(1. *Key Laboratory of Integrated Regulation and Resource Development of Shallow Lakes of Ministry of Education, Hohai University*, *Nanjing* 210098, *China*; 2. *College of Environmental Science and Engineering*, *Hohai University*, *Nanjing* 210098, *China*)

Abstract: By analyzing the factors influencing the width of a riparian buffer strip, an index system for the suitability evaluation of the width of a riparian buffer strip is established. Using the Niushoushan River buffer strip as an example, the weight of each evaluation index was identified by the analytic hierarchy process (AHP). The suitability of the width was evaluated by an integrated method of distance index-AHP. The results show that the width of the Niushoushan River buffer strip is suitable.

Key words: riparian buffer strip; width suitability; analytic hierarchy process (AHP); the Niushoushan River

河湖滨岸缓冲带功能的发挥与其宽度有着极为密切的关系,宽度适宜与否直接影响其有效性的发挥[1]。国内外许多学者从环境科学的角度出发,通过室内室外试验的方法研究某一具体河湖滨岸缓冲带对污染物的净化效果和规律,并试图通过河湖滨岸缓冲带宽度变化引起的不同净污效果的对比,探求河湖滨岸缓冲带的适宜宽度[2-4],总体上这些研究取得了很多不错的成果。但是由于所选择的河湖滨岸缓冲带的区域地理位置、土壤特性、植物种类、坡度以及河岸带过程与生境的侧向影响范围等等因素的不同,因此所得出的河湖滨岸缓冲带的适宜宽度彼此之间并没有可比性,其研究结果只能对类似河湖滨岸缓冲带适宜宽度的确定提供借鉴作用。

同时,在河湖滨岸缓冲带重建、设计和构建的过程中,影响其宽度确定的因素不仅仅只有环境的因素。由于我国土地面积有限,在考虑一定宽度的河湖滨岸缓冲带对非点源污染物净化效果的同时,还要考虑河湖滨岸缓冲带建设的经济成本、建成后的管理以及景观美学等等其他因素。事实上,河湖滨岸缓冲带具有生态环境功能、社会经济功能以及美学功能等三大功能,因此只有从生态、环境、经济和社会等角度对河湖滨岸缓冲带的适宜宽度进行深入的综合研究,才能科学界定‘适宜宽度’的概念并合理确定‘适宜宽度”;只有综合考虑生态、环境、经济和社会等方面的因素后确定的‘适宜宽度”,才能充分发挥河湖滨岸缓冲带的生态环境、社会经济以及美学的综合功能。如果一定宽度的河湖滨岸缓冲带

基金项目:国家自然科学重点基金(50830304);国家自然科学面上项目(50709009);教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-07-0254)

作者简介:钱进(1974—),男,江苏海安人,助理研究员,主要从事水污染控制与生态修复研究。E-mail:hhuqj@hhu.edu.cn

建成后，它对污染物净化效果能够达到100%，但其建设费用大大超过当地人们的经济承受能力，并且占用大量的土地，那么这个宽度就并不是真正意义上的"适宜宽度"。

正因为影响河湖滨岸缓冲带宽度确定的因素很多，其适宜宽度确定的研究成为研究河湖滨岸缓冲带的一个难点和重点。本文在分析河湖滨岸缓冲带适宜宽度确定的影响因素的基础上，构建河湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价指标体系，然后以牛首山河河滨缓冲带为例，运用层次分析法确定各层次评价指标的权重，最后运用距离指数-层次分析综合法对其宽度的适宜性进行评价。

1 评价指标体系的构建

1.1 影响河湖滨岸缓冲带适宜宽度确定的因素

1.1.1 生态稳定性

一个健康的河湖滨岸缓冲带必须具备一定的宽度。河湖滨岸缓冲带只有具备一定的宽度才可以维持其生态系统的稳定和持续，才能够维持它的组织结构，并能够在一定的时间后自动地从胁迫状态恢复[5]。太窄的河湖滨岸缓冲带生物群落的多样性必然会下降，生物种群的性质、密度和比例等均会发生变化，生态系统在遇到外界干扰时，往往由于不具备自我修复的能力，不能维持自身的管理而遭到破坏。

评价指标有：生物丰富度指数、生物多样性指数、生物均匀度指数、高生态斑块密度等。

1.1.2 环境有效性

河湖滨岸缓冲带对N、P的截留转化效率以及水土保持能力与其宽度有关。一般的，河湖滨岸缓冲带带宽越宽，对地表径流和壤中流的N、P转化截留效率越高，水土保持能力越强。另外，河湖滨岸缓冲带的适宜宽度与受纳水体水质自净能力有关，受纳水体水质自净能力越强，其纳污能力越强，所需求的河湖滨岸缓冲带的宽度就越小。同样，植被覆盖率越高，所需求的河湖滨岸缓冲带的宽度就越小。

评价指标有：污染物净化率、植被覆盖率、受纳水体水质自净能力等。

1.1.3 经济可行性

河湖滨岸缓冲带的建设必然会花费一定费用，但同时也会带来经济效益。一方面，河湖滨岸缓冲带宽度越宽，其占有的"土地"越多，并且建设费、建设后的维护管理费越高。另一方面，河湖滨岸缓冲带宽度越宽，其中种植的具有经济价值的植物可以获得更多的经济收益。

评价指标有：建设费、维护管理费、植物综合利用率等。

1.1.4 社会价值性

河湖滨岸缓冲带具有巨大的社会价值。一定宽度的河湖滨岸缓冲带可以大大美化环境，不仅可以给人们提供良好的休憩场所，改善居住环境，提升沿河两岸的地产价格，还可以带来巨大的旅游效益，进而促进城市旅游业和服务业的发展。另外，由于河湖滨岸缓冲带总体上具有一定的坡度，因此其宽度越宽，坡岸高程越高，防洪效应越好。一定宽度的河湖滨岸缓冲带可以减少因洪水给人们带来的财产损失。

评价指标有：游憩景观价值、防洪效应等。

1.2 评价指标体系的构成

河湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价指标体系可分为3层：目标层、准则层和指标层。以河湖滨岸缓冲带宽度适宜性为目标层，以生态、环境、社会、经济等方面特征作为准则层，以各分类特征的具体评价指标作为指标层。评价指标体系见表1。

表1 河湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价指标体系

目标层	准则层	指标层
河湖滨岸缓冲带宽度适宜性 F	生态稳定性 F_1	生物丰富度指数 F_{11}
		生物多样性指数 F_{12}
		生物均匀度指数 F_{13}
		高生态斑块密度 F_{14}
	环境有效性 F_2	污染物净化率 F_{21}
		植被覆盖率 F_{22}
		水体水质自净能力 F_{23}
	经济可行性 F_3	建设费 F_{31}
		维护管理费 F_{32}
		植物综合利用率 F_{33}
	社会价值性 F_4	游憩景观价值 F_{41}
		防洪效应 F_{42}

2 牛首山河河岸缓冲带宽度适宜性评价

以南京市江宁区牛首山河河滨缓冲带为例，根据相关资料，对其宽度的适宜性进行评价。

牛首山河位于南京市江宁区工业开发新区，自水阁至诚信大道桥头为农业用水区，全长7.5 km，于2003年实施河道整治工程。根据地形不同，河岸缓冲带坡度均小于1∶2，最缓处达到1∶6，其宽度在20～35 m之间。工程的实施，提高了牛首河的防洪能力，改善了周围生态水环境，形成了河道景观带，为江宁区居民提供了一个休闲、娱乐的新天地。

2.1 层次分析法

河湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价涉及的指标较多，属于多指标综合评价。多指标综合评价的方法很多，其中比较常用的有层次分析法(AHP)、模糊综合评价法、多元统计法等，这些评价方法各有优缺点。由于影响河湖滨岸缓冲带适宜宽度确定的因素具有明显的层次性，因此本文的评价方法选择层次分析法。

层次分析法是一种行之有效的确定权重系数的方法，它把复杂的问题中的各种因素通过划分相互联系的有序层，使之条理化，根据对客观实际的模糊判断，将下一层次的各因素相对于上一层次的各因素进行两两比较判断，构造判断矩阵，通过判断矩阵的计算，进行层次单排序和一致性检验，最后进行层次总排序和一致性检验，得到各因素的组合权重[6]。

2.2 评价指标的标准化

由于各评价指标的量纲不同，无法直接进行比较，必须对各指标标准化。通常采用以下两个公式对评价指标进行标准化[7]，以消除不同量纲的影响。

$$r_{ij} = \begin{cases} \dfrac{x_{ij}}{x_{ij}^{*}} & \text{越大越优} \\ \dfrac{x_{ij}^{*}}{x_{ij}} & \text{越小越优} \end{cases} \tag{1}$$

式中：x_{ij}为第 i 个子系统内第 j 个指标的实际值；x_{ij}^{*}为第 i 个子系统内第 j 个指标的理想值；r_{ij}为第 i 个子系统内第 j 个指标标准化后的标准值。

标准化时如果评价指标不存在理想值，则采用式(2)求取理想值。

$$x_{ij}^{*} = \begin{cases} \max\{x_{ij}\} & \text{越大越优} \\ \min\{x_{ij}\} & \text{越小越优} \end{cases} \tag{2}$$

评价指标标准化后的标准值 $r_{ij} \in [0,1]$。

由于缺少该河滨缓冲带生物稳定性方面的数据，因此暂不考虑生态稳定性评价指标。环境有效性、经济可行性、社会价值性各评价指标标准值的确定如下：

a. 污染物净化率(F_{21})。以 TN 为指标污染物，通过现场试验，在 4.5 m 坡长上径流中 TN 的净化率约为 30%，壤中流为 45%，因此保守估计在河岸缓冲带 20～30 m 的宽度上 TN 净化率可达到 50%。认定该指标的标准值为 0.5。

b. 植被覆盖率(F_{22})。河岸缓冲带植被覆盖率高达 90%。认定该指标的标准值为 0.9。

c. 受纳水体水质自净能力(F_{23})。受纳水体的自净能力越强，需要河湖滨岸缓冲带的宽度就越小。受纳水体的自净能力与水体的水量、流速以及水体本身污染物含量有关，同时与水功能区划有关。根据江宁区水功能区划要求，牛首山河 2010、2020 年的水质保护目标均为Ⅳ类，而根据目前监测，目前牛首山河丰水期水质为Ⅲ类，枯水期为Ⅳ类，因此可以认定该指标的标准值为 1.0。

d. 建设费(F_{31})。在其他因素不变的情况下，河湖滨岸缓冲带的建设费用随其宽度的增加而增加，因此不能以建设费用的多少来说明宽度是否适宜。笔者认为宽度或建设费是否合适，应该由当时当地社会经济承受能力来确认。对于已建成的河湖滨岸缓冲带，一般情况下可表明其建设费用是在当时当地社会经济承受能力许可的范围内，因此对于已经建成的河湖滨岸缓冲带，认定该指标的标准值为 1.0。

e. 维护管理费(F_{32})。牛首山河河岸堤防的维护管理采取管养分离模式[8]。即河道的日常巡查和养护交由招标选择的专业养护公司负责，水管单位负责监督管理。根据《南京市江宁区河道堤防管理养护办法》规定，辖区内‘河道堤防养护资金按照‘区(街道)筹集，省、市补助、社区和社会参与’的原则进行筹集，河道堤防养护资金来源除省、市补助外，其余由区(街道)财政预算内资金、社区配套资金和市场化运作资金等方面筹集解决”。从这几年的运行情况来看，该河道的维护管理费同样在江宁区社会经济可承受的范围内，因此认定该评价指标的标准值为 1.0。

f. 植物综合利用率(F_{33})。由于河岸缓冲带的河道两边种植黑麦草、高羊茅、狗牙根以及本地自然植被等等，这些植物均不属于经济植物，因此认定该评价指标的标准值为 0。

g. 游憩景观价值(F_{41})。通过对周围居民的抽样调查，居民对河岸缓冲带景观环境的满意度在 80%以上。因此根据专家打分的判定方法，可认定该评价指标的标准值为 0.8。

h. 防洪效应(F_{42})。牛首山河防洪标准达到 50 年一遇防洪标准，而江宁区其他河道防洪标准为 10～20 年一遇以上标准[8]。因此通过类比可认定该评价指标的标准值为 1.0。

2.3 评价指标权重的确定

层次结构中各层的元素可以依次相对于上一层元素进行两两比较，从而建立判断矩阵。判断矩阵的元素值反映了人们对各因素相对重要性的认识。

设某层有 n 个元素 $X = \{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$，每次取 2 个元素 x_i 和 x_j，用 a_{ij}表示 x_i 和 x_j 对上一层的重要程度之比，全部比较结果用矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$表示，$A$ 称为成对比较的判断矩阵。A 中 $a_{ij} > 0$，$a_{ij} = 1/a_{ji}$，$i \neq j$，$(i = 1,2,\cdots,n$；$j = 1,2,\cdots,n)$；$a_{ij} = 1$，$i = j$，$(i = 1,2,\cdots,n)$。A 中元素 a_{ij}的取值方法一般采用 A. L. Saaty 引入的标度方法[9]，不同标度及其含义如表 2 所示。

对于准则层，环境有效性、经济可行性以及社会价值性具有同等重要性，因此确定其相互间的重要性为 $F_2 : F_3 : F_4 = 1:1:1$。在环境有效性准则层中，污染物净化率以及受纳水体的自净能力相对植被覆盖率来说略显重要，$F_{21} : F_{22} : F_{23} = 5:1:5$；在经济可行性准则层中，建设费、维护管理费及植物综合利用

率具有同等重要性，$F_{31}:F_{32}:F_{33}=1:1:1$；在社会价值性准则层中，防洪效应相对游憩景观价值略显重要，$F_{41}:F_{42}=1:5$。

表 2 判断矩阵标度及其含义

标度	含义
1	元素 x_i 和 x_j 比较，具有同等重要性
3	元素 x_i 和 x_j 比较，x_i 比 x_j 稍微重要
5	元素 x_i 和 x_j 比较，x_i 比 x_j 略显重要
7	元素 x_i 和 x_j 比较，x_i 比 x_j 强烈重要
9	元素 x_i 和 x_j 比较，x_i 比 x_j 极端重要
2，4，6，8	上述相邻判断的中间值
倒数	$a_{ij}=1/a_{ji}$

2.4 评价模型

采用距离指数-层次分析综合法进行评价。

$$dx_{ij}(x_{ij},x_{ij}^{*})=|1-r_{ij}| \quad (3)$$

$$DI_i(x_i,x_i^{*})=\sum_{j=1}^{n}a_{ij}dx_{ij} \quad (j=1,2,\cdots,n) \quad (4)$$

$$DI=\sum_{j=1}^{m}b_{ij}DI_i \quad (j=1,2,\cdots,m) \quad (5)$$

式中：r_{ij}为第 i 个子系统内第 j 个指标标准化后的标准值；dx_{ij}为第 i 个子系统内第 j 个指标标准值与理想值之间的距离，$dx_{ij}\in[0,1]$；DI_i 为第 i 个子系统的综合距离，$DI_i\in[0,1]$；a_{ij}为第 i 个子系统内第 j 个指标评的权重；DI 为整个系统的综合距离，$DI\in[0,1]$；b_{ij}为第 i 个子系统的权重。

距离指数均处于[0，1]区间。当距离指数值趋近于 0 时，表示系统与理想状态的差距变小；当距离指数值趋近于 1 时，表示系统与理想状态的差距变大。距离指数与河湖滨岸缓冲带宽度适宜性的对应关系：小于 0.25 为适宜，0.25～0.5 为基本适宜，0.5～0.75 为不太适宜，大于 0.75 为不适宜。

2.5 评价结果

牛首山河河岸缓冲带宽度适宜性的距离指数见表 3。

表 3 牛首山河河岸缓冲带宽度适宜性的距离指数

评价内容	指标名称	标准值	距离	综合距离
环境有效性 F_2	污染物净化率 F_{21}	0.5	0.5	0.24
	植被覆盖率 F_{22}	0.9	0.1	
	受纳水体水质自净能力 F_{23}	1.0	0.0	
经济可行性 F_3	建设费 F_{31}	1.0	0.0	0.33
	维护管理费 F_{32}	1.0	0.0	
	植物综合利用率 F_{33}	0.0	1.0	
社会价值性 F_4	游憩景观价值 F_{41}	0.8	0.2	0.03
	防洪效应 F_{42}	1.0	0.0	

牛首山河河岸缓冲带宽度适宜性等级为：环境有效性：适宜（0.24），经济可行性：基本适宜（0.33），社会价值性：适宜（0.03），牛首山河河岸缓冲带：适宜（0.20）。

评价结果显示，由于河岸缓冲带植物综合利用率低的缘故，经济可行性子系统评价的结果稍差。但由于环境有效性及社会价值性子系统评价的结果很好，所以总体评价结果为牛首山河河岸缓冲带建设的宽度为适宜的。

3 结 语

a．在分析河湖滨岸缓冲带宽度确定影响因素的基础上，从生态稳定性、环境有效性、经济可行性以及社会价值性四个方面构建湖滨岸缓冲带宽度适宜性评价指标体系。

b．以牛首山河河滨缓冲带为例，运用层次分析法确定各层次评价指标的权重，运用距离指数-层次分析综合法对其宽度的适宜性进行评价。结果表明，牛首山河河滨缓冲带的宽度是适宜的。但限于数据不足，在评价过程中忽略了其生态稳定性方面的评价，这有待数据补充和完善。另外，对于拟建的河湖滨岸缓冲带经济可行性的评价方法有待进一步的研究。

c．为确定河湖滨岸缓冲带适宜宽度的研究提供了新的思路。在今后的研究过程中应进一步掌握各评价指标对河湖滨岸缓冲带宽度适宜性的影响程度、影响机理等，使得评价指标体系的构建更加合理。同时，还需针对评价的数学方法进行深入研究，进一步完善评价方法，使得评价的结论更加可靠。

参考文献：

[1] 岳隽，王仰麟．国内外河岸带研究的进展与展望[J]．地理科学进展，2005，24(5)：33-40．

[2] DANIELS R B，GILLIAM J W．Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters[J]．Soil Science Society of America Journal，1996，60：246-251．

[3] LEE K H，ISENHART T M，SCHULTZ R C．Sediment and Nutrient removal in an established multi-species riparian buffer[J]．Journal of Soil and Water Conservation，2003(1)：57-81．

[4] 王超，王沛芳，刘桂文．河流污水饱和入渗对沿岸地下水质影响预测研究[J]．河海大学学报：自然科学版，2002，30(6)：11-15．

[5] 杨京平，卢剑波．生态恢复工程技术[M]．北京：化学工业出版社，2002．

[6] 赵焕臣，许树柏．层次分析法[M]．北京：科学出版社，1986．

[7] 宋兰兰．南方地区生态环境需水研究[D]．南京：河海大学，2004．

[8] 华玉林，郑卫东，丁志新．江宁区城区河道长效管理措施的研究[J]．南京水利，2008(1)：6-8．

[9] 文科军，马劲，吴丽萍，等．城市河流生态健康评价体系构建研究[J]．水资源保护，2008，24(2)：50-52．

（收稿日期：2008-07-10 编辑：高渭文）