

深圳市河流湿地生态风险的 AHP 决策分析与 管理对策研究

陈妙莉

(深圳市升源园林生态有限公司,深圳 518131)

摘要:采用 AHP 程序分析方法,研究并提出了深圳市河流退化湿地生态风险评判与管理措施的指标体系,该体系包括 4 个风险源和 12 个管理措施指标;对 B 层判断矩阵单排序及一致性检验结果表明:人类威胁是河流湿地退化主要的风险源,其权重值 $W_1=0.5531$,一致性检验系数 $CI=0.0500<0.1$;对 C 层判断矩阵单排序及一致性检验结果证明,针对不同风险源应采取不同的管理措施;层次总排序结果认为,控制沿河湿地过度开发、调节流量控制洪水和规范农业养殖业及旅游业 3 项管理措施,对总目标有较大贡献,其有效性依次为 30.47%,19.62%和 12.36%,这 3 项措施是当前治理深圳市河流湿地退化最有效的措施。

关键词:深圳市;河流湿地;湿地保护;层次分析

中图分类号:Q149 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)04-0092-08

河流湿地是我国四大类自然湿地类型之一,它包括永久性河流湿地、季节性或间歇性河流湿地及泛洪平原湿地。河流湿地也是自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一^[1-3]。河流湿地在调蓄洪水、净化水质、调节气候、维持生物多样性和区域生态安全等方面都发挥着巨大作用,具有非常重要的生态和经济价值^[4-6]。

受损及退化河流湿地的生态修复技术和评价作为湿地生态恢复工程的重要组成部分,是湿地科学研究的热点与前沿之一。由于国内外对河流湿地的认识总体上还处于初级阶段,湿地生态恢复和重建中湿地恢复评价标准和评价方法等一些基础性的研究还没有系统深入进行,这使得河流湿地的生态修复缺乏可靠的参照比对系统,没有相应的标准和相关的法规作为法律依据或行动指南。对河流湿地生态风险评价标准和评价方法研究,不仅是河流湿地生态恢复工程的重要

组成内容,也为今后有关污染环境修复标准的制定及河流湿地环境影响评价制度的健全提供一定的参考和借鉴,同时也有助于解决湿地生态恢复中的“欠保护”和“过保护”的矛盾。

近年来,由于人口膨胀以及工业化、城市化、农业现代化的发展,河流湿地生态系统受到了来自人类社会的巨大压力,主要表现为城镇扩张、盲目开垦、污染物排放、农业水源污染及水资源不合理利用等,其结果造成了河流萎缩、泥沙淤积、污染严重、生物多样性减少等,使河流湿地生态系统日趋恶化,这不仅对我国经济社会与生产环境产生了危害,而且直接影响生态环境安全^[7-9]。因此,开展河流湿地的生态风险与管理措施研究具有重要的理论意义和实际应用价值。

早在 2004 年就有学者指出我国湿地研究应侧重于湿地评价理论、湿地评价指标体系和模型、湿地对比评价、退化湿地评价、湿地与全球气候变化,以及新技术和新方法应用等方面,其中湿地退化动力学机制研究是当前湿地科学研究的热点与前沿,而湿地退化的生态风险与管理对策则是这一研究领域的重要内容之一^[10-14]。据此,于 2017~2018 年采用 AHP 方法研究了深圳市河流湿地的生态风险与管理对策,期望为保护和改善河流湿地资源提供科学依据。

收稿日期:2019-05-13; **修回日期:**2019-06-28

基金项目:深圳市科技创新计划项目“城市绿地节水综合技术研究”(CXZZ20140418110342522)资助

作者简介:陈妙莉(1981-),女,深圳市人,主要从事风景园林及生态修复工作。

E-mail:252890139@qq.com

1 材料和方法

1.1 区域概况

深圳市位于广东省南部沿海,陆域地处 $N 22^{\circ}27' \sim 22^{\circ}52'$ 和 $E 113^{\circ}46' \sim 114^{\circ}37'$,东临大亚湾和大鹏湾,西濒珠江口和伶仃洋,南以深圳河与香港相连,北与东莞、惠州两市接壤。总面积为 $1\,952.84\text{ km}^2$,地势东南高西北低。属亚热带海洋性气候,气候温和,雨量充沛,年均降水量 $1\,948.6\text{ mm}$ 。每年 5~9 月为雨季,夏、秋两季时有台风。境内有大小河流 160 多条,河流短小,属雨源型河流,其中流域面积大于 100 km^2 的有深圳河、茅洲河、观澜河、龙岗河及坪山河。境内湿地含 13 大类,总面积 $15\,848.5\text{ hm}^2$,占全市国土总面积 8.12% ,其中河流湿地面积 $2\,895.0\text{ hm}^2$,占全市湿地面积 18.3% 。目前河流湿地面临的主要问题是面积不断减小,生态环境受到威胁,河流水质恶化与底质污染问题尚未彻底遏制^[15-17]。

1.2 河流湿地退化风险与综合管理措施研究的 AHP 原理

河流湿地退化的生态风险评判与综合管理措施分析属大系统多层次的决策分析,拟采用层次分析模型

(AHP)。AHP 决策方法是一种定性与定量分析相结合的分析方法,将决策者对复杂对象的决策思维过程数学化。这种方法应用于湿地退化的生态风险评判与综合管理系统中,将湿地综合管理的复杂问题分解为若干个层次和因素,然后通过各因素之间的比较和判断分析,计算出不同风险因子与综合管理措施的权重值(或组合权重值),进而为最佳方案的选择提供依据^[18],主要步骤如下:

1.2.1 确定指标体系设计层次结构 将深圳市河流湿地生态风险评判与综合管理系统划分为 3 个层次。

(1) 目标层(A):即采用适当的生物,生态及工程技术措施,逐步恢复退化湿地生态系统的结构和功能,最终达到河流湿地生态系统的自我持续状态。

(2) 生态风险层(B):根据实地调查和专家咨询与评判结果,判断深圳市河流湿地退化的主要原因。

(3) 综合管理措施层(C):对应于各项生态风险的具体措施,该层次含 12 个主要因素(图 1)。

在层次结构图中,上一层对下一层有支配作用,下一层对上一层有影响作用。

1.2.2 确定判断矩阵 采用目前最行之有效的专家咨询法对指标体系进行咨询和评判。并从第 2 层开

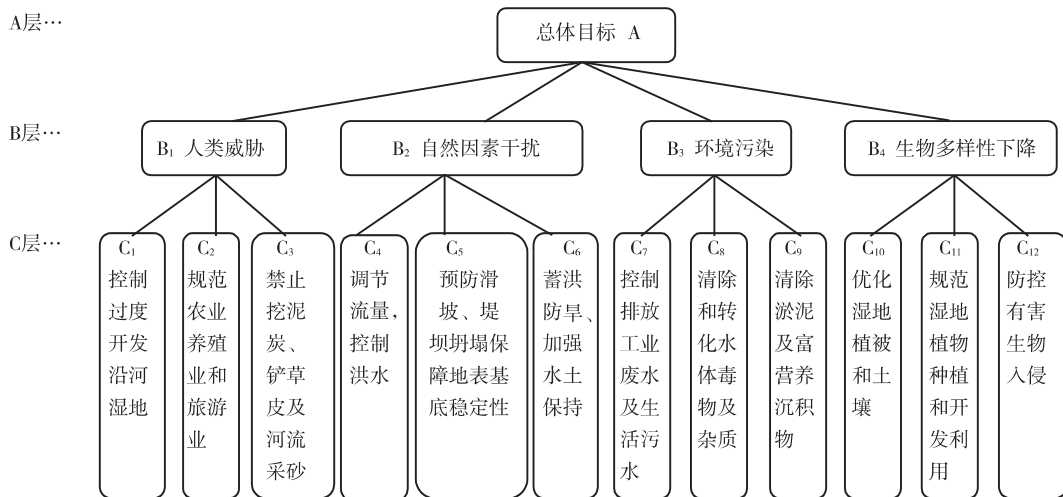


图 1 深圳市河流湿地生态风险的 AHP 决策分析与综合管理措施层次结构

Fig. 1 AHP decision analysis and management hierarchy of ecological risk of river wetland in Shenzhen

始,逐次确定判断矩阵,对各项生态风险和综合管理指标标定分值^[19-20]。

判断矩阵的确定,首先逐对比较基本因素 F_i 和 F_j 对综合管理目标 C 贡献的大小,给出它们之间的相对比重 α_{ij} 。根据分析、对比研究结果,一般认为当 F_i 和 F_j 对管理目标 C 的贡献相差很小时,可取 $\alpha_{ij} = 1$;当 F_i

比 F_j 的贡献稍大时,取 $\alpha_{ij} = 3$,如若介于二者之间时可取 $\alpha_{ij} = 2$ (以下类推);当 F_i 比 F_j 的贡献大时,取 $\alpha_{ij} = 5$;当 F_i 比 F_j 的贡献很大时,取 $\alpha_{ij} = 7$;当 F_i 的贡献非常大于 F_j 的贡献时,可取 $\alpha_{ij} = 9$;当 F_i 比 F_j 的贡献小时,则 $\alpha_{ij} = 1/\alpha_{ij}$ 。这样,通过仔细分析、计算、对比,就可以确定 α_{ij} 的值,进而得到判断矩阵 A 。

$$A = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \cdots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \cdots & \alpha_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \cdots & \alpha_{nm} \end{pmatrix}$$

为了应用方便也可将该矩阵改写成表 1

表 1 判断矩阵表

Table 1 Matrix table

总目标	F_1	F_2	...	F_n	权重 $W_i\alpha_i$
F_1	α_{11}	α_{12}	...	α_{1n}	α_1
F_2	α_{21}	α_{22}	...	α_{2n}	α_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
F_n	α_{n1}	α_{n2}	...	α_{nm}	α_n

注： α_i 是因素 F_i 对目标 A 的权重，它表示诸因素中 F_i 对目标贡献的相对大小

1.3 求解判断矩阵特征向量与最大特征根的数学模型

(1) 计算判断矩阵每一行元素的乘积 M_i

$$M_i = \prod_{j=1}^n \alpha_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n$$

(2) 计算 M_i 的 n 次方根 \bar{W}_i

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{M_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

(3) 对向量 $\bar{W} = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]^T$ 正规化

$$W_i = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{W}_j} \text{ 则 } W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T \text{ 即所求的特}$$

征向量。

表 2 河流退化湿地生态风险因素对总体目标的判断矩阵单排序和一致性检验

Table 2 The judgment matrix of rule hierarchy to target hierarchy and single arrangement and consistency check

总目标	B_1	B_2	B_3	B_4	权重 W_i	最大特征根 λ_{max}	一致性检验系数(CI)	随机一致性比例(CR)
B_1	1	3	5	6	0.553 1			
B_2	1/3	1	3	5	0.268 5			
B_3	1/5	1/3	1	3	0.120 1			
B_4	1/6	1/5	1/3	1	0.058 3	4.150 1	0.050 0	0.056 0

从表 2 可以看出，导致深圳市河流湿地退化的诸风险因素对于决策总目标的相对重要性(权重)排序为： $W_1 > W_2 > W_3 > W_4$ ，表明人类威胁是河流湿地退化的首要原因，权重值 $W_1 = 0.553 1$ 。自然因素干扰是湿地退化的次要成因，权重值 $W_2 = 0.268 5$ 。这两项风险占总风险的 82.16%。环境污染占总风险的 12.01%，生物多样性下降占总风险的 5.83%，后两项风险对当地河流湿地退化的影响都比较轻。该层

(4) 计算判断矩阵最大特征根 λ_{max}

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n AW_i}{n \sum_{i=1}^n W_i}$$

式中： $(AW)_i$ 为 AW 的第 i 个元素。

(5) 判断矩阵的一致性检验

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, n = 4 \text{ (或 } 3), CR = \frac{CI}{RI}$$

式中： CI 为平均一致性指标； n 为矩阵阶数； RI 为平均随机一致性指标； CR 为随机一致性比例。

(6) 层次总排序及其一致性检验

$$CI = \sum_{j=1}^m \alpha_j CI_j$$

$$RI = \sum_{j=1}^m \alpha_j RI_j$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

式中： α_i 为特征向量； CI_i 和 RI_i 分别为与 α_i 对应层次中判断矩阵的一致性指标和随机一致性指标。

用 Excel 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 生态风险因素对总目标的有效性单排序及一致性检验

依据 2017~2018 年深圳市 5 条主要河流退化湿地的野外观测及调查统计资料，经专家综合分析，对生态风险(B 层)4 个风险源的相对重要性评分，然后采用数学模型计算得出该层的判断矩阵与单排序及其一致性检验结果(表 2)。

2.2 综合管理措施单排序及其一致性检验

为了研究各项管理措施(C_i)的有效性，依据上述 AHP 决策模型和实地调查结果，对 4 个风险因素(B_i)下各项管理措施的综合评分数据进行分析，求解判断矩阵的最大特征根、特征向量(权重)及各判断矩阵的次最大特征根为 $\lambda = 4.150 1$ ，一致性检验系数 $CI = 0.050 0 < 0.1$ ，故可以认为该判断矩阵具有满意的一致性。

2.2 综合管理措施单排序及其一致性检验

为了研究各项管理措施(C_i)的有效性，依据上述 AHP 决策模型和实地调查结果，对 4 个风险因素(B_i)下各项管理措施的综合评分数据进行分析，求解判断矩阵的最大特征根、特征向量(权重)及各判断矩阵的

一致性指标 (CI) 和随机一致性指标 (CR), 计算结果如下:

(1) 在 B_1 风险源下各项管理措施有效程度的判断矩阵与权重见表 3。表 3 中 $\beta_i (i=1, 2, 3)$ 表示在 B_1 风险源下管理措施 C_i 的权重, 即第 i 项管理措施对导致河

流湿地退化风险 B_1 治理与防范的有效程度。 $CI = 0.0194 < 0.1$, 达到了一致性检验标准(表 3)。

(2) 在 B_2, B_3 和 B_4 风险源下各项管理措施对该风险源有效程度的判断矩阵与权重说明与此相似(表 4~6)。

表 3 B_1 风险源下各项管理措施的判断矩阵及单排序和一致性检验

Table 3 The judgment matrix of the indexes of shading tolerance under B_1 and single arrangement and consistency check

B_1	C_1	C_2	C_3	权重 W_i	最大特征根 λ_{max}	一致性检验系数(CI)	随机一致性比例(CR)
C_1	1	6	5	$\beta_{11} = 0.5509$			
C_2	1/6	1	5	$\beta_{21} = 0.2234$			
C_3	1/5	1/5	1	$\beta_{31} = 0.0906$	3.0549	0.0194	0.0377

表 4 B_2 风险源下各项管理措施的判断矩阵及单排序和一致性检验

Table 4 The judgment matrix of the indexes of shading tolerance under B_2 and single arrangement and consistency check

B_2	C_4	C_5	C_6	权重 W_i	最大特征根 λ_{max}	一致性检验系数(CI)	随机一致性比例(CR)
C_4	1	4	4	$\beta_{42} = 0.6162$			
C_5	1/4	1	3	$\beta_{52} = 0.2234$			
C_6	1/4	1/3	1	$\beta_{62} = 0.0810$	3.0966	0.0483	0.0938

表 5 B_3 风险源下各项管理措施的判断矩阵及单排序和一致性检验

Table 5 The judgment matrix of the indexes of shading tolerance under B_3 and single arrangement and consistency check

B_3	C_7	C_8	C_9	权重 W_i	最大特征根 λ_{max}	一致性检验系数(CI)	随机一致性比例(CR)
C_7	1	5	7	$\beta_{73} = 0.7306$			
C_8	1/5	1	3	$\beta_{83} = 0.1884$			
C_9	1/7	1/3	1	$\beta_{93} = 0.0810$	3.0475	0.0238	0.0462

表 6 B_4 风险源下各项管理措施的判断矩阵及单排序和一致性检验

Table 6 The judgment matrix of the indexes of shading tolerance under B_4 and single arrangement and consistency check

B_4	C_{10}	C_{11}	C_{12}	权重 W_i	最大特征根 λ_{max}	一致性检验系数(CI)	随机一致性比例(CR)
C_{10}	1	3	7	$\beta_{10} = 0.6162$			
C_{11}	1/3	1	7	$\beta_{11} = 0.2963$			
C_{12}	1/7	1/7	1	$\beta_{12} = 0.0610$	3.0333	0.0167	0.0324

对 4 个不同风险源及其对应的管理措施进行单排序的一致性检验系数依次是: $CI = 0.0194 < 0.1, CI = 0.0483 < 0.1, CI = 0.0238 < 0.1, CI = 0.0167 < 0.1$, 均达到了一致性检验标准, 表明这 4 个判断矩阵具有可接受的一致性。

2.3 层次总排序及一致性检验

河流退化湿地各项风险源及其对应措施对总目标(A)的重要性排序结果见表 7。

(1) 各项管理措施对总体目标的有效性排序为: $C_1 > C_4 > C_2 > C_7 > C_5 > C_3 > C_{10} > C_8 > C_6 > C_{11} > C_9$

表7 层次总排序及一致性检验

Table 7 Overall arrangement and consistency check

风险因素层	人类威胁(B_1)	自然干扰(B_2)	环境污染(B_3)	生物多样性下降(B_4)	总排序		
	0.553 1	0.268 5	0.120 1	0.058 3			
综合管理措施层	控制沿河湿地过度开发(C_1)	0.550 9					0.3047 1
	规范农业、养殖业和旅游业(C_2)	0.223 4					0.1236 3
	禁止挖泥炭、铲草皮及河流采砂(C_3)	0.090 6					0.0501 6
	调节流量,控制洪水(C_4)		0.616 2				0.1962 2
	预防滑坡堤坝坍塌保障基底稳定性(C_5)		0.223 4				0.0506 5
	蓄洪防旱(C_6)		0.081 0				0.0217 9
	控制排放工业废水及生活污水(C_7)			0.730 6			0.0877 4
	清除和转化水体毒物及杂质(C_8)			0.188 4			0.0226 8
	清除淤泥及富营养沉积物(C_9)			0.081 0			0.0097 11
	优化湿地植被和土壤(C_{10})				0.616 2		0.0359 7
	规范湿地植物种植和开发利用(C_{11})				0.2963		0.0173 10
	防控有害生物入侵(C_{12})				0.061 0		0.0036 12
CI	0.019 4	0.048 3	0.023 8	0.016 7	CI	RI	CR
RI	0.514 6	0.514 9	0.515 2	0.515 4	0.027 5	0.514 8	0.053 5
CR	0.037 7	0.093 8	0.046 2	0.032 4			0.053 5

$>C_{12}$ 。总排序一致性指标 $CI=0.027\ 5 < 0.1$,表明具有满意的一致性。

(2) 河流湿地退化风险越大,采取对应措施有效性就越高。例如: B_1 风险最大,对应的3项管理措施总有效性高达47.84%;随着 B_2, B_3 和 B_4 3项风险依次减轻,与其对应的管理措施总有效性也依次递减为26.85%,12.00%和5.68%。

(3) 在同一风险源下的单排序中,各项管理措施的权重值与其有效性变化趋势均显示有密切的相关性,但是,在总排序中,各项管理措施权重值与其对总目标有效性的变化趋势相关性不明显,出现了权重值高但有效性排位低或较低,或权重值低但有效性排位高或较高的现象。如 B_3 风险源下,管理措施 C_7 的权重值高达73.06%,但对总目标的有效性只有8.77%,排序第4;在 B_1 风险源下管理措施 C_1 的权重值为55.09%,对总目标的有效性为30.47%,排序第1;在 B_2 风险源下的 C_4 和 B_4 风险源下的 C_{10} 权重值均为61.62%,但前者对总目标的有效性达19.62%,排序第2,后者对总目标的有效性只有3.59%,排序第7。

2.4 河流湿地退化风险与主要管理对策分析

2.4.1 河流湿地退化风险

深圳市河流湿地的退化风险中,最主要的是人类活动和自然因素两大风险源,包含着轻度、中度和重度3个层次的主要威胁,形成了河流湿地的3种自然状态(河流湿地生态系统保持相

对自然状态的程度)^[18],即:核心区未受或较少受人类影响的受扰自然型湿地;核心区受到中等强度人类影响的退化自然型湿地;核心区受到很大影响,自然状态基本已为人工状态所替代的人工修复型湿地。

(1) 轻度威胁—受扰自然型湿地 其空间范围以主要河流干流及其各级支流的发源地为主,地处山缘线以上的山区,河漫滩及河流湿地欠发育,且呈不连续的片段状分布,面积110.0 hm²,占全市河流湿地面积的5.0%。由于河流改道、引水及河流截弯取直等工程,不但影响了河流对湿地的水量补给作用,同时因为采伐林木、新修道路、挖沙采石等人为因素影响,使河流湿地面临着暴雨洪水冲刷、泥沙淤积、山体滑坡和堤坝决堤等主要威胁。因此,该威胁区域的河流湿地属于已经受到轻微侵扰和破坏,但湿地生态系统无明显的生物群落和生态景观结构变化,自然生境基本完好,核心区未受或较少受到人类影响,属于受扰型自然型湿地。

(2) 中度威胁—退化自然型湿地 主要分布在各河流的山缘一线以下、地势相对缓坦以及城郊及城乡结合新开发区,面积为1330 hm²,占深圳市河流湿地总面积的45.9%。随着人口快速增长、城市化面积逐渐增加、水利工程、旅游开发、淡水养殖、围垦、道路和相关的基础设施建设侵占河流湿地,造成了自然湿地被分割、转化和斑块化等一系列问题。河流湿地所面

临的主要威胁因素及其影响频次和面积都呈现增加态势,因此,这一威胁区域的河流湿地已遭受到较为严重的破坏,生态系统的生物群落和生态景观结构已发生了明显变化,但尚无大量引入物种和自然生境严重退化的现象,核心区受到中等强度的人类影响,属于退化自然型湿地。

(3) 强度威胁—人工状态所替代的人工修复型湿地 该威胁区的湿地主要分布在各条河流中、下游及河口以内的城市核心区,面积约为 1 465 hm²,占全市河流湿地的 49.1%。随着城市人口急剧增加,促使城市扩建,道路、房地产开发、引水工程、工、商、旅游及相关服务产业等基础设施建设规模不断扩大。原始地形地貌被大量改造成连片开发区,不透水的水泥或石板材路面等改变了自然水文循环路径,使得自然河流湿地面积和景观格局发生了变化。这一系列市政工程项目侵占了许多自然河流湿地,或迫使其转化成人工湿地、园林和旅游休闲景点等非河流湿地。同时由于产业高度集中,生产和生活产生的污染物排放(废水、垃圾),造成河流污染和富营养化,以及在园林绿化过程中引入外来物种等,对自然河流湿地形成了不同程度的干扰。受到严重干扰的自然河流湿地生境呈现严重破碎化和小面积的孤岛斑块,不但缩小了面积,而且使湿地系统生物多样性下降或丧失,结构紊乱和功能减弱。因此,在强度威胁区的河流湿地自然生境已遭到了全面破坏,原始结构已不存在,有大量的人为修饰迹象,外源物种大量引入,核心区受到了很大影响,自然状态已基本为人工状态所替代的人工修复型湿地。

2.4.2 深圳退化河流湿地的治理对策 根据深圳市河流湿地的退化风险、面临的主要威胁,以及目前保持相对自然状态的程度提出主要治理对策。

(1) 充分认识河流湿地资源对城市发展的重要性 城市化过程中,任何对湿地的过度扰动,都会使湿地生态系统失去稳定和平衡,甚至造成严重的生态系统负面效应。因此,在城市化的过程中,根据有关法律法规的规定,制定河流湿地保护规划,并与土地利用、环境保护和城市发展等总体规划相衔接,确保河流湿地资源得到有效保护和恢复。

(2) 确保河流湿地面积的稳定性 加强对河流湿地的非法占用、征用及擅自改变用途的管控工作;杜绝擅自在河流湿地范围内挖塘、采砂、采石、取土、烧荒、

围(开)垦和填埋湿地等不利于河流湿地保护的行为。

(3) 强化河流湿地水资源管理力度,获得高质量的补充水源 ① 集湿地水资源开发利用过程所涉及的水源、用水、节水、排水和污水处理等环节于一体,有效协调和解决水资源开发利用中存在的矛盾,避免生态用水量被生产和生活用水量挤占;② 加强水利设施建设和维护,预防暴雨、洪水、溃堤、山体滑坡及泥石流等损毁河流湿地;③ 禁止在湿地内修建阻水、排水设施和排放湿地水资源,维护湿地水文系统及水系廊道的连续性;④ 改造湿地周边不透水的硬化地面,提高地表水注蓄和下渗能力,消纳地表径流,增加土壤含水率;⑤ 禁止在湿地集水区域内非法采伐林木和猎取野生动物,做好上游水土保持及水土流失控制工作,减少河流泥沙淤积;达到涵养水源,调节流量,控制洪水,保护湿地水源的目的。

(4) 充分重视治理河流污染问题,保障湿地生态系统健康 严禁排放工业废水、生活污水、有毒有害物质,投放可能危害水体、水生及湿生生物的化学物品,倾倒生产、生活垃圾;疏浚河道,清淤、清除毒物和杂质,促使湿地基底、水状况和土壤恢复,维护基底和湿地面积稳定性。

3 讨论

目前,对退化河流湿地生态风险评判尚无公认标准,在参考一般湿地生态风险评价方法的基础上,提出了深圳市河流退化湿地生态风险评判与管理措施的指标体系。该指标体系由 4 个风险源指标和 12 个管理措施指标组成。同时,采用常用的,也是目前最行之有效的专家咨询法评分,利用 AHP 程序分析得到递阶层次中各元素有效性的权重排序^[21-22],达到了预期目标。在研究过程中,充分注意指标体系在有关指标设置等方面还有许多值得探讨的问题:一是湿地资源的动态变化会影响指标获取问题,尤其像深圳城市建设规模和城市人口快速发展,有可能会促使河流湿地资源发生相应的快速变化。因此,指标设置时应充分重视指标的可获得性和可比性,以利于在相对有限的时间尺度上容易获取,保证评判指标具有一定的适用范围,使评判结果提供充分、有效的信息。同时,要注意指标的代表性,以使评判结果更加科学,最能代表河流湿地生态系统固有的自然属性及其受干扰的程度;二是提出的指标体系、指标赋值标准与评价计算方法只

适用于深圳河流湿地退化风险与管理措施的评判,如果要扩大应用,可根据研究对象及其实际状况给予新的分值标度。为了避免评分误差引起的判断失误,可根据经验剔除或修正相关指标和偏激数据^[22]。三是B层风险源的区分很难界定,但此次研究结果证明在局部地区二者还是可以分开的。四是研究考虑到C层措施间关系较远,且相对较独立,所以构造层次结构模型时忽略了各措施内部间的相互关系,建议在进一步研究中应予充分关注。

在河流湿地退化风险层中,人类威胁项评分最高,权重值高达55.31%,说明它是河流湿地退化的最大风险源。这是因为湿地退化的最根本原因是人口压力,所以这完全符合深圳市的实际情况。深圳市自建经济特区以来,人口急剧增加,促使城市扩建,道路、房地产开发、工、商、旅游及相关服务产业等基础设施建设规模不断扩大,这些人为因素对当地河流湿地形成了直接威胁,尤其是宝安区的国际机场和242座水库不但侵占了大片河流湿地,还使原有河流湿地格局发生了质和量的巨大变化^[23]。

在管理措施层的12项措施中,与环境污染和生物多样性下降2个风险源对应的管理措施评分都较低,这与深圳市近年来控制污染,修复河流湿地的工作密切相关。深圳市在开发的初期,河流水质不断恶化,底质污染程度持续加剧,平均水质状况远超出标准要求,如1996~2004年间龙岗河、深圳河和茅洲河流域的河流底质污染程度比1999年分别增加了2.66,3.47和3.31倍,主要河流水质劣于V类标准,湿地生物多样性受到了严重威胁。深圳市采取了兴建截污工程、对底泥进行清淤、种植湿地植物、构建湿地植物净化系统等一系列湿地生态修复措施^[24-25],逐渐化解了河流湿地受环境污染及生物多样性下降的高风险,因此,与这些高风险源对应的管理措施也逐渐由主要矛盾转化为次要矛盾。

4 结论

(1) 提出了深圳市河流退化湿地生态风险评判与管理措施的指标体系。该指标体系由4个风险源指标和12个管理措施指标组成。

(2) 河流退化湿地生态风险因素对总体目标的重要性排序为:人类威胁>自然干扰>环境污染>生物多样性下降,表明人类威胁是河流湿地退化的最大风

险源,权重值 $W_1=0.5531$ 。

(3) 各项管理措施的内涵不同,对评判目标的重要性也不相同。与各风险源对应的最有效的管理措施是: B_1 风险源—控制沿河湿地过度开发; B_2 风险源—调节流量,控制洪水; B_3 风险源—控制排放工业废水及生活污水; B_4 风险源—优化湿地植被和土壤。

(4) 控制沿河湿地过度开发、调节流量控制洪水和规范农业养殖业及旅游业3项管理措施对总目标的有效性依次为30.47%、19.62%和12.36%,证明这3项措施是当前治理深圳市河流湿地退化最有效的措施。

(5) 1996~2004年深圳市几条主要河流底质污染逐年加剧,水质污染严重超标,湿地生物多样性受到了严重威胁。近年来采取兴建截污工程、对底泥清淤、种植湿地植物、构建湿地植物净化系统等一系列湿地生态修复措施,逐渐化解了环境污染及生物多样性下降对河流湿地退化的高风险。

参考文献:

- [1] 贾萍,宫辉力,赵文吉,等.我国湿地研究的现状与发展的趋势[J].首都师范大学学报,2003,24(3):84-95.
- [2] Nicholls R J, hoozemans F M J, Marchand M. Increasing Flood risk and wetland losses due to global sea level rise [J]. Global Environmental Change, 1999,9:69-87.
- [3] 宋晓林,吕宪国.中国退化河口湿地生态恢复研究进展[J].湿地科学,2009,7(4):379-384.
- [4] 郭建和,安丰敏,秦兰香,等.傅疃和河流域综合治理与湿地恢复保护研究[J].湿地科学与管理,2016,12(3):32-34.
- [5] 安娜,高乃云,刘长娥.中国湿地退化原因、评价及保护[J].生态学杂志,2008,27(5):821-828.
- [6] 刘婷,刘兴土,杜嘉,等.五个时期辽河三角洲滨海湿地格局及变化研究[J].湿地科学,2017,15(4):622-628.
- [7] 宋红丽,刘兴土.围填海活动对我国河口三角洲湿地的影响[J].湿地科学,2013,11(2):297-304.
- [8] 王辉,宋长春,宋艳宇.三江平原湿地生态风险评价的尺度依存性及区域生态风险评价方案制定[J].湿地科学,2018,16(2):106-113.
- [9] 徐华山,赵同谦.滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果[J].生态学报,2010,30(21):5759-5768.
- [10] 中国湿地退化、保护与恢复-香山科学会议第241次学术讨论会[I].地球科学进展,2005,20(6):701-704.
- [11] Larson J S. Rapid assessment of wetlands: history and application to management[C]// Mitsch W L. Clobai-

- Wetlands; Old World and New Amsterdam; Elsevier, 1994; 625—636.
- [12] 余国营. 湿地研究的若干基本科学问题初论[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2): 177—183.
- [13] FU Bo, JIANG Qi-gang, REN Chun-ying. Assessment and analysis of wetland ecological in Zhalong. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(1): 49—52.
- [14] 张爱舜. 泥沙淤积与保护湿地生物多样性[J]. 中国水利, 2000(8): 67—68.
- [15] 熊圣洲. 深圳市五类城市绿地土壤渗透性研究[J]. 草原与草坪, 2015, 38(3): 67—72.
- [16] 徐桂红, 吴苑玲, 杨琼. 华侨城湿地生态系统服务功能价值评估[J]. 湿地科学与管理, 2014, 10(2): 9—12.
- [17] 王晓东, 褚丽娟, 姜明, 等. 挠力河流域恢复湿地与天然湿地水质对比分析[J]. 湿地科学, 2018, 16(02): 180—184.
- [18] 张峥, 张建文, 李寅年, 等. 湿地生态评价指标体系[J]. 农业环境保护, 1999, 18(6): 283—283.
- [19] 李自珍. 应用生态学研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1991: 256—272.
- [20] 李翔, 杜小姣, 朱敏群, 黄慧青. 用 AHP 法构建耐荫植物综合评价指标体系筛选耐荫植物[J]. 草原与草坪, 2015, 35(5): 84—91.
- [21] 王昌海, 崔丽娟, 毛旭峰. 湿地退化的人为影响因素分析—基于时间序列数据和截面数据的实证分析[J]. 自然资源学报, 2012, 27(40): 1677—1687.
- [22] 先锋. 用电子表格(Excel)实现层次分析法(AHP)简介计算[EB/OL]. www.docin.com/p-505326, 2012-10-23.
- [23] 吴春莹, 陈伟, 刘迪, 等. 北京市重要湿地生态系统健康评价[J]. 湿地科学, 2017, 15(4): 516—521.
- [24] 李海生, 陈桂珠. 深圳市湿地的保护与修复研究[J]. 热带地理, 2007, 27(2): 107—110.
- [25] 马田田, 梁晨, 李晓文, 等. 围填海活动对中国滨海湿地影响的定量评估[J]. 湿地科学, 2015, 13(6): 645—658.

AHP decision-making analysis and management strategies for ecological risk of river wetlands in Shenzhen City

CHEN Miao-li

(Shenzhen Shengyuan garden co. LTD, Shenzhen 518131, China)

Abstract: By using AHP program analysis method, the index system of ecological risk assessment and management measures for river degradation wetland in Shenzhen was investigated. The results of single order and consistency test of judgment matrix of layer B showed that human threat was the most important risk source of river wetland degradation, with its weight value $W_1 = 0.5531$ and consistency test coefficient $CI = 0.0500 < 0.1$. According to the single order and consistency test results of c-layer judgment matrix, different management measures should be taken for different risk sources. According to the overall hierarchical ranking results, the three management measures of controlling the overdevelopment of wetland along the river, regulating the flow rate, controlling the flood, and regulating the agriculture, aquaculture and tourism had made great contributions to the general project, and their effectiveness was 30.47%, 19.62% and 12.36% respectively. The management measures corresponding to the two risk sources of environmental pollution and biodiversity decline were not very effective, which reflects that Shenzhen has made remarkable achievements in controlling environmental pollution and protecting biodiversity in recent years.

Key words: Shenzhen City; river wetland; wetland protection; analytic hierarchy