

深圳典型河流生态系统健康指标及评价

张 远¹, 郑丙辉¹, 刘鸿亮¹, 王西琴²

(1. 中国环境科学研究院河流与海岸带环境研究室, 北京 100012; 2. 中国人民大学环境学院, 北京 100872)

摘要 :以深圳市的 3 条河流为实例,对河流生态系统健康理论和评价方法进行了研究。建立了以水化学和水生物指标为基础的河流生态系统健康评价指标体系,并确定评价指标的等级标准。提出了基于模糊概率的河流生态系统健康评价方法,以反映河流健康状况以及不同健康状况河段所占的比例。结果表明,深圳河流有 70% 以上河段处于亚病态和病态状态,仅有 45% 的河段达到健康水平,说明受到人类活动影响严重,河流生态系统严重退化。

关键词 :生态系统健康;模糊概率评价;河流;深圳市

中图分类号 :X820.2 文献标识码 :A 文章编号 :1004-693X(2006)05-0013-05

Indicators and evaluation of ecosystem health of typical rivers in Shenzhen City

ZHANG Yuan¹, ZHENG Bing-hui¹, LIU Hong-liang¹, WANG Xi-qin²

(1. River and Coastal Environmental Research Center, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China)

Abstract :Taking three rivers in Shenzhen City as cases, the theory and assessment method of river ecosystem health were studied. An indicator system of river health was developed based on the chemical and biological indicators, and its evaluation standards were classified. An evaluation method based on fuzzy-probability synthetic method was established for the evaluation of the healthy status and the determination of proportion of rivers with different healthy status. The results indicate that about 70% of the rivers are of sub-illness or illness, and only 45% of them are healthy, which mean that these river ecosystems have seriously degraded.

Key words :ecosystem health; fuzzy-probability evaluation; river; Shenzhen City

近年来,随着人类活动对河流生态系统影响的加剧,以及由此引发的河流生态系统退化问题日趋严重,有关河流生态系统的保护和恢复的研究逐渐成为关注的热点。其中,河流生态系统健康(以下简称河流健康)概念的提出以及相关的研究,正受到人们的广泛重视,理论和方法的研究方兴未艾,并取得了一定的进展^[1-4]。河流是一个复杂的生态系统类型,健康状况受到多方面的影响,而且具有显著的区域特性。因此,如何判断和评价河流是否处于健康状态,从而为河流保护和恢复提供科学依据,已成为目前亟待解决的关键问题。

传统的河流环境评价是以物理、化学指标为基础,通过对物理化学指标的分析来反映河流系统所处的环境条件状况,后来发现这种评价并不能有效地反映河流生态系统的健康状态,因为它实质上说明的是生态系统所面临的环境压力,而不是生态系统对环境条件变化的反应及受到的影响。从现今发展来看,采用生物指标进行河流健康评价,已成为了一种趋势,并且被广泛应用于河流健康评价^[5],生物指标覆盖了个体、种群、群落和生态系统等多个层次,涉及到浮游生物、底栖生物和鱼类等物种^[6-8]。其中,美国^[9-10]是根据生态完整性指标体系(Index of

biological integrity)进行水体评价;英国^[11-12]和澳大利亚^[13]分别采用 RIVPACS 和 AusRivAS 预测模型进行评价。

随着河流健康理论的进一步发展,现在人们逐渐认识到用一种类型的指标进行健康评价还不全面,需要采用多种类型的指标对河流健康进行综合评价,这就要建立基于物理、化学和生物等特性的评价指标体系,不仅分析指标之间的相关性,还要研究综合的评价方法。在评价尺度上,河流健康评价从定点的集中评估开始转向多点的区域评估,特别是流域尺度的河流健康综合评估逐渐引起人们的重视。由于受到取样点位及其取样方法的随机性影响,这种流域综合评价存在着随机性和概率性,结果往往不够客观准确。因此,河流健康综合评价方法尚需进一步研究。

总之,随着可持续发展战略的实施,河流健康必将越来越为人们所追求,因此需要开展相关研究,建立一套适用于我国的河流生态系统健康理论及评价方法,通过河流健康评价为流域管理提供决策依据。为此,本文以位于深圳市的东江水系 3 条典型支流为例,对河流生态系统健康评价指标的选取和评价方法进行了研究,提出基于生物和化学两大类指标的模糊概率河流健康综合评价方法。

1 河流健康指标选取及其评价方法

1.1 河流健康指标的选取

河流健康概念来源于人类健康的涵义,从始至今经过了长期讨论,争论的焦点就是河流健康能否像人类健康那样,可以用各种指标进行客观评价,这个问题也是关系着河流健康概念能否被人们所接受的关键^[5]。如今人们普遍认识到,正像人类健康那样,河流健康也可以采取多种指标进行综合评价。从评价指标类型上看,河流健康的指标组成多种多样,可以分为三个层次的指标体系,第一层次为狭义的健康指标体系,如美国的生态完整性指标,以生物指标为主,主要由水生生物的物种数量、结构、优势种和多样性等指标所构成,是根据河流的生态属性来评价河流健康状况;第二层次是狭义和广义之间的健康指标体系,不仅仅包括生物指标,还包括反映河流栖息地环境的物理、化学指标,其中化学和物理指标表征影响河流健康的外在压力,而生物指标则表征河流生态系统对外在压力的反应,它是根据河流的自然属性来评价河流健康状况;第三层次为广义的河流健康指标体系,不仅包括河流的生物、化学和物理方面的指标,还包括流域社会和经济方面的指标,是根据河流的自然属性和社会属性评价河流

的健康状况^[14]。

据上述分析,本文选取了水化学和水生物 2 种类型的指标构建河流健康指标体系,其中水化学指标包括 COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TP、DO,共同反映了河流的水环境特征。水生物指标包括浮游植物的 Shannon-Weaver 多样性指数(H)和蓝绿藻指数(C_p)、浮游动物的 Margalef 多样性指数(D)以及底栖生物的生物学污染指数(B_{PI})。其中,蓝绿藻指数根据反映营养状况的蓝藻和绿藻的生物量占水体浮游植物总生物量的比例表示。作者在参考相关研究成果的基础上^[15-16],借鉴 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》中水体功能与化学物质标准值的对应关系,建立了河流健康指标的等级标准,如表 1。

表 1 河流生态系统健康指标等级体系

分类指标	指标	健康	亚健康	中等	亚病态	病态
水生物	H	≥ 4.5	4.5~3	3~2	2~1	<1
	C_p	≤ 0.2	0.2~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	>0.8
	D	≥ 4	4~3	3~2	2~1	<1
	B_{PI}	≤ 0.1	0.1~0.5	0.5~2	2~5	>5
水化学 ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{Mn})$	≤ 2	2~4	4~6	6~15	>15
	$\rho(\text{BOD}_5)$	≤ 3	3~4	4~6	6~10	>10
	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$	≤ 0.15	0.15~0.5	0.5~1	1~2	>2
	$\rho(\text{TP})$	≤ 0.02	0.02~0.1	0.1~0.2	0.2~0.4	>0.4
	$\rho(\text{DO})$	≥ 6	6~5	5~3	3~2	<2

1.2 河流生态系统健康评价方法

现有的多指标评价与预测模型评价方法都是针对一个河段或者点位的评价,而不能实现对流域内的多河段的综合评价。而关于河流健康综合评价方法的研究目前较少,由于这种评价是基于多指标和多河段监测结果开展的,因此评价结果容易受到采样中的随机性影响,即评价存在着模糊性和概率性。为此,本文采用了基于模糊概率的评价方法对河流健康状况进行综合评价,即把评价指标看成一个离散的随机变量,用概率方法进行统计,并用隶属度描述健康分级,采用模糊逻辑推理进行综合评价。该法优点在于把概率统计与模糊数学有机地结合起来,全面考虑了河流健康评价中的随机性与模糊性,从而避免了主观判断,使结果更接近于客观实际。

1.2.1 概率及隶属度计算

首先,计算各个健康指标处于不同健康等级的概率 $P'_{i,j}$,以及在不同健康等级下的评价指标的平均值 $z_{i,j}$ 。然后,计算平均值隶属各个健康等级的隶属度 $r_{i,j}$ 。最后,采用模糊概率方法进行单指标和多指标评价,具体过程如下:

a. 概率 $P'_{i,j}$ 的计算

将评价指标 i 的样本进行排列,序列为 $x_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,k}, \dots, x_{i,L})$,其中 L 为评价指标 i 的

样本数量。如果已知 A_{ij} 为健康等级标准值, x_i 介于 $A_{i,j-1}$ 和 $A_{i,j}$ 之间的预测值有 $l_{i,j}$ 个, 则有

$$l_{i,j} = \begin{cases} l_{i,1} (x_{i,k} \leq A_{i,1}) & (j=1) \\ l_{i,j} (A_{i,j-1} < x_{i,k} \leq A_{i,j}) (j=2,3,4) & (k=1,2,\dots,l) \\ l_{i,5} (x_{i,k} > A_{i,5}) & (j=5) \end{cases} \quad (1)$$

则指标 i 介于 $A_{i,j-1}$ 至 $A_{i,j}$ 之间的预测值发生的统计概率为

$$P'_{i,j} = l_{i,j}/L \quad (i=1,2,\dots,9; j=1,2,\dots,5) \quad (2)$$

b. 隶属度 $r_{i,j}$ 的计算

$$\begin{cases} r_{i,j} = 1 & (0 < z_{i,j} \leq A_{i,j} \text{ or } z_{i,j} \geq A_{i,j} \quad j=1) \\ r_{i,j+1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(A_{i,j} - z_{i,j})^2}{2}\right] & (0 < z_{i,j} \leq A_{i,j} \text{ or } z_{i,j} \geq A_{i,j} \quad j=1) \\ r_{i,j} = r_{i,j+1} = 0 & (z_{i,j} = 0 \quad j=1) \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} r_{i,j-1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(A_{i,j-1} - z_{i,j})^2}{2}\right] \\ r_{i,j} = 1 & (A_{i,j-1} < z_{i,j} \leq A_{i,j} \text{ or } A_{i,j-1} > z_{i,j} \geq A_{i,j} \quad j=2,3,4) \\ r_{i,j+1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(A_{i,j} - z_{i,j})^2}{2}\right] \\ r_{i,j-1} = r_{i,j} = r_{i,j+1} = 0 & (z_{i,j} = 0 \quad j=2,3,4) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} r_{i,j} = 1 & (0 < z_{i,j} < A_{i,j} \text{ or } z_{i,j} > A_{i,j} \quad j=5) \\ r_{i,j-1} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(A_{i,j} - z_{i,j})^2}{2}\right] & (0 < z_{i,j} < A_{i,j} \text{ or } z_{i,j} > A_{i,j} \quad j=5) \\ r_{i,j} = r_{i,j-1} = 0 & (z_{i,j} = 0 \quad j=5) \end{cases} \quad (6)$$

1.2.2 单指标模糊概率的评价

根据上述方法, 分别求出指标 i 的 $Z_{i,j}$, 并分别统计第 j 级、第 $j-1$ 级及第 $j+1$ 级健康的隶属度 $r_{i,j-1}$, $r_{i,j}$ 及 $r_{i,j+1}$, 以及介于 $A_{i,j-1}$ 至 $A_{i,j}$ 之间的预测值发生的统计概率 $P'_{i,j}$, 就可以应用模糊概率方法对指标 i 进行单指标评价。

指标 i 发生各级健康的模糊概率分别为

$$\begin{cases} P_{i,j} = r_{i,j}P'_{i,j} + r_{i,j+1}P'_{i,j+1} & (i=1,2,\dots,9 \quad j=1) \\ P_{i,j} = r_{i,j-1}P'_{i,j-1} + r_{i,j}P'_{i,j} + r_{i,j+1}P'_{i,j+1} & (i=1,2,\dots,9 \quad j=2,3,4) \\ P_{i,j} = r_{i,j}P'_{i,j} + r_{i,j-1}P'_{i,j-1} & (i=1,2,\dots,9 \quad j=5) \end{cases} \quad (7)$$

由指标 i 分别发生 5 级健康的概率可构成一个单目标模糊概率评级矩阵, 即

$$P(i)_{1 \times 5} = (p_{i,1} \ p_{i,2} \ \dots \ p_{i,5}) \quad (8)$$

由 9 个评价指标的单指标模糊概率评价矩阵就可构成模糊概率关系矩阵, 即

$$P_{9 \times 5} = \{P(i)\} = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \dots & p_{1,5} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \dots & p_{2,5} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{9,1} & p_{9,2} & \dots & p_{9,5} \end{bmatrix} \quad (9)$$

1.2.3 多指标模糊概率的综合评价

根据已知的权重矩阵 $A_{1 \times 9}$ 及模糊概率关系矩

阵 $P_{9 \times 5}$, 对 9 个评价指标进行综合评价, 得到多指标模糊概率综合评价矩阵, 即:

$$z_{i,j} = \left(\sum_{k=1}^{l_{i,j}} x_{i,k} \right) \frac{1}{l_{i,j}} \quad (3)$$

式中 $x_{i,k}$ 为指标 i 介于 $A_{i,j-1}$ 至 $A_{i,j}$ 之间 $l_{i,j}$ 个预测值的第 k 个值。

故, 对于指标 i , $z_{i,j}$ 分别属于第 j 级健康, 第 $j-1$ 级及第 $j+1$ 级健康的程度, 即 $z_{i,j}$ 对第 $j-1$ 级, 第 j 级及第 $j+1$ 级健康等级的隶属度为 $r_{i,j-1}$, $r_{i,j}$ 和 $r_{i,j+1}$, 可由下列公式推求, 即

阵 $P_{9 \times 5}$, 对 9 个评价指标进行综合评价, 得到多指标模糊概率综合评价矩阵, 即:

$$P_{1 \times 5} = A_{1 \times 9} P_{9 \times 5} = \{p_1 \ p_2 \ \dots \ p_5\} \quad (10)$$

结果为河流不同健康等级的概率, 即不同健康等级的河段所占比例。

2 深圳典型河流概况及水生态系统调查

2.1 河流概况

位于深圳市境内的龙岗河、坪山河、观澜河是东江水系的 2 级支流, 并向广东省惠阳市的饮用水源。3 条河流的流域总面积为 695.4 km², 总河长 84.3 km, 多年平均径流总量为 6.34 亿 m³, 如图 1。由于流域

内社会经济高速发展,污染负荷急剧增加,导致河流水质下降,水生态系统退化。

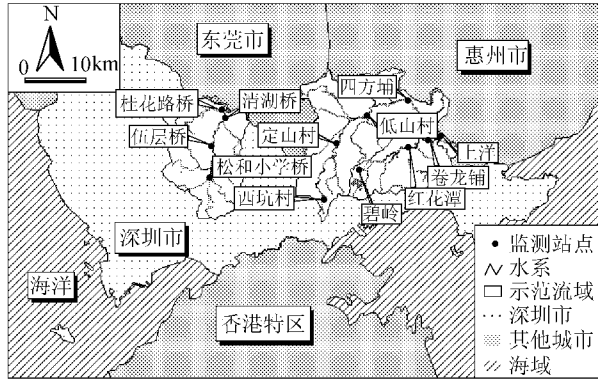


图1 深圳龙岗河、坪山河、观澜河位置与监测点位示意图

2.2 监测点位和方法

为了解河流生态系统状况,于2003年5月和2004年5月对3条河流进行了水质和水生物监测调查。具体监测方法是在每条河流的上、中、下游设置4个监测点位(图1),取样点设在河流中心距表层0.5 m处,对化学和生物监测项目同时取样,每个点位重复取样3次。化学样品处理与分析按照《水和废水监测分析方法》^[17] 监测指标包括 COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TP、pH值、DO等。生物监测项目包括浮游植物、浮游动物和底栖生物,样品按照下述方法处理。

a. 浮游植物:按样品1000 mL水样加15 mL的鲁格氏液固定,在室内经浓缩后保留浓缩样品30 mL,在显微镜下进行种类鉴定和计数。

b. 浮游动物:原生动物和轮虫取样方法同浮游植物。枝角类和桡足类定量样品,采10 L水用25号网过滤浓缩,然后加入质量分数为4%的福尔马林液固定,带回实验室静置,进行计数。

c. 底栖动物:在采样断面上用改良式彼得生采泥器(开口面积为0.025 m²)采集底泥,底泥样品用40目金属筛过滤,用镊子挑取筛上的全部肉眼所看

到的底栖动物,用质量分数为75%酒精固定带回实验室,按各断面所采到的底栖动物不同类别称重、计数,最后换算成每平方米的底栖动物重量和个数。软体动物个体较大可用肉眼以工具直接鉴定,对寡毛类和摇蚊幼虫用Puris胶透明做片子在显微镜下鉴定。

表2为2003年和2004监测的平均结果,本文以此为基础对河流健康进行综合评价。

3 河流健康指标分析

3.1 水质指标分析

为了反映3条河流的水质状况,本文以地表水V类(GB 3838—2002)为标准,计算各指标的水质指数,并采用算术平均法计算综合污染指数,评价其污染程度,见表3。认为水质超过V类,水体丧失了基本功能,受到了重度污染,因此,设定综合污染指数小于0.2为清洁,0.2~0.4为轻污染,0.4~1.0为中污染,1.0~2.0为重污染,大于2.0为严重污染^[18]。结果表明,坪山河和龙岗河上游的水质保持良好,可

表3 深圳龙岗河、坪山河、观澜河的水质评价结果

河流	监测点	污染指数					综合指数	污染程度
		COD _{Mn}	BOD ₅	NH ₃ -N	TP	DO		
龙岗河	西坑村	0.08	0.07	0.12	0.14	0.0044	0.08	清洁
	定山村	1.08	2.29	6.07	4.56	0.6400	2.93	严重
	低山村	0.80	1.37	5.79	4.00	0.5800	2.51	严重
	四方埔	0.59	1.14	4.80	2.58	0.8600	1.99	重
坪山河	碧岭	0.07	0.06	0.15	0.11	0.0500	0.09	清洁
	红花谭	0.40	0.77	2.58	1.66	0.6500	1.21	重
	卷龙铺	0.38	0.60	2.71	1.71	0.3900	1.16	重
	上洋	0.30	0.44	2.42	1.81	0.5100	1.10	重
观澜河	松和小学桥	0.77	1.62	4.21	6.97	0.7300	2.86	严重
	伍屋桥	0.56	1.72	4.67	5.30	0.7800	2.61	严重
	清湖桥	0.50	1.88	5.32	3.36	0.9800	2.41	严重
	桂花路桥	0.65	1.42	5.50	6.42	0.6200	2.92	严重

表2 深圳龙岗河、坪山河、观澜河的化学和生物监测结果

位置	水化学指标(mg·L ⁻¹)					浮游植物		浮游动物		底栖生物		
	ρ(COD _{Mn})	ρ(BOD ₅)	ρ(NH ₃ -N)	ρ(TP)	ρ(DO)	种类	数量/(个×10 ⁴ ·L ⁻¹)	种类	数量/(个·L ⁻¹)	种类	数量/(个·m ⁻²)	
龙岗河	西坑村	1.24	0.74	0.24	0.055	8.45	16	526.40	10	6190	4	180
	定山村	16.15	22.87	12.13	1.823	4.23	12	554.40	11	5730	5	2640
	低山村	12.06	13.68	11.58	1.600	4.54	18	389.16	9	4100	7	1800
	四方埔	8.87	11.42	9.59	1.033	2.88	16	722.40	11	6130	4	2180
坪山河	碧岭	1.12	0.58	0.30	0.044	8.44	9	3.24	6	4230	2	80
	红花谭	6.01	7.70	5.15	0.662	4.22	11	8704.60	9	15060	3	2400
	卷龙铺	5.73	6.00	5.42	0.682	5.95	10	13404.80	10	30140	5	2240
	上洋	4.55	4.36	4.83	0.723	5.18	18	14768.00	18	3000	8	2520
观澜河	松和小学桥	11.48	16.18	8.42	2.788	3.72	7	183.30	8	6000	3	960
	伍屋桥	8.46	17.23	9.34	2.120	3.44	11	561.18	7	4590	3	80
	清湖桥	7.46	18.84	10.64	1.342	2.13	13	290.46	11	5190	4	120
	桂花路桥	9.78	14.18	11.00	2.566	4.46	11	276.54	11	6330	5	280

以达到清洁程度,中下游监测点均为重至严重污染程度,观澜河流域污染最为严重,全流域水质均达到严重污染程度。3条河流主要污染物以氮、磷为主,说明该地区的污水主要为生活污水。

3.2 生物指标分析

从数量和种类上看,3条河流的浮游植物主要包括硅藻门、裸藻门、蓝藻门和绿藻门等,其中以蓝绿藻为优势种,大部分河段的藻类数量超过100万个/L,说明水体污染严重,出现了富营养化的趋势。但坪山河上游藻类以裸藻门为优势种,藻类数量仅为3.24万个/L,表明水体较为清洁。在浮游动物种类中,各水体以原生动物、轮虫类、桡足类为主,未发现枝角类,而浮游动物中枝角类对水质污染十分敏感,这说明水体都受到了一定程度的污染。在底栖生物种类中,各水体以寡毛类、摇蚊幼虫为主,在碧岭和西坑村发现了软体动物扁螺,说明水环境质量较好,底质未受到污染。

根据调查结果计算河流健康的生物指标,包括浮游植物的 Shannon-Weaver 多样性指数(H)和蓝绿藻指数(C_P)、浮游动物的 Margalef 多样性指数(D)以及底栖生物的生物无污染指数(B_{PI}),如表4。与河流健康等级标准(表1)相比较,发现不同生物指标的健康等级评价结果并不一致。 H 显示3条河流大部分河段处于亚健康态和病态级别, C_P 显示3条河流大部分河段处于亚健康-病态级别之间,龙岗河的这种差异表现最为明显。从浮游动物的多样性指标看,结果表明河流大体处于亚健康态和病态级别。底栖生物的生物污染指数表明,除西坑村和碧岭为健康和亚健康等级外,其余断面都处在亚健康等级。因此,单指标的评价结果存在一定的差异,难以全面反映河流生态系统的综合状况,需要建立一个多指标的综合评价方法。

表4 深圳龙岗河、坪山河、观澜河的生物指标结果

河流	监测点	浮游植物		浮游动物	底栖生物
		H	C_P	D	B_{PI}
龙岗河	西坑村	1.90	0.39	1.03	0.26
	定山村	1.95	0.37	1.16	3.28
	低山村	1.93	0.47	0.96	4.07
	四方埔	1.97	0.52	1.15	2.26
坪山河	碧岭	2.03	0.99	0.72	0.07
	红花潭	0.29	0.99	0.94	2.19
	卷龙埔	0.09	0.99	0.97	1.88
	上洋	0.10	0.47	1.86	1.67
观澜河	松和小学桥	0.31	0.97	0.23	308.00
	伍屋桥	0.13	0.98	0.36	429.00
	清湖桥	0.45	0.94	0.35	4.08
	桂花路桥	1.03	0.78	0.46	3.80

4 深圳典型河流健康综合评价

4.1 单指标模糊概率评价结果

表5为3条河流健康的单指标模糊概率评价结果。化学指标的结果显示研究区河流健康状况较差,亚健康态和病态等级的河段的存在比例较大,如65%以上河段的评价指标 COD_{Mn} 为亚健康态和病态级别,55%以上河段的 BOD_5 为病态级别,83%以上河段的 NH_3-N 和 TP 为病态级别,而化学指标处于健康级别的河段只占河流总长的13%~17%之间。对于 H 、 C_P 、 D 指标,计算结果显示50%以上的河段健康都为亚健康态和病态等级,没有河段可以达到健康级别。而从 B_{PI} 的评价结果可看出,50%的河段都可达到中等健康级别以上,没有河段达到病态级别,这与其他指标的评价结果存在显著差距。因此,不同指标的模糊概率评价结果并不一致,这就需要采用多指标评价方法进行综合分析。

表5 深圳龙岗河、坪山河、观澜河的单指标模糊概率评价

等级	浮游植物		浮游动物	底栖动物	化学指标				
	H	C_P	D	B_{PI}	COD_{Mn}	BOD_5	NH_3-N	TP	DO
健康	0	0	0	0.0815	0.130	0.158	0	0	0.053
亚健康	0	0.174	0	0.126	0	0	0.167	0.166	0.083
中等	0.189	0.229	0	0.308	0.256	0.180	0	0	0.201
亚健康	0.340	0.248	0.427	0.484	0.456	0.109	0	0	0.316
病态	0.472	0.349	0.573	0	0.159	0.552	0.833	0.833	0.000

4.2 多指标模糊评价结果

为了客观反映各指标对河流健康的影响水平,采用主成分分析(PCA)方法来确定权重指标的权重。具体是根据第一主成分中的各指标的贡献水平,确定相对权重并进行归一化,结果如表6。

表6 深圳河流健康指标的权重

水生物指标				化学指标				
H	C_P	D	B_{PI}	COD_{Mn}	BOD_5	NH_3-N	TP	DO
0.117	0.117	0.121	0.081	0.121	0.120	0.122	0.117	0.083

根据权重确定结果,构建矩阵 $A_{1 \times 9} = [0.117, 0.117, 0.121, 0.081, 0.121, 0.120, 0.122, 0.117, 0.083]$ 根据式(10)进行河流健康的多指标模糊概率综合评价,结果为 $P_{1 \times 5} = [0.0453, 0.0778, 0.142, 0.252, 0.452]$ 结果表明3条河流的健康状况较差,病态河段占河流总长的45%,亚健康态达到25%,而其他相对健康的河段仅占30%。说明深圳河流生态系统退化严重,受到人类活动影响较大。

5 结论

a. 河流健康指标体系可以根据(下转第52页)

河污染物的 69.6% 来自支流,针对这种状况,在条件基本具备的情况下,因地制宜地在支流集中排污河段,在不影响防洪的前提下,在水污染相对严重的非汛期采用疏浚河道、利用滩湿地以及布设膜处理、河道内培养生物包括植物和动物等人工强化生物净化措施,加强支流的综合治理,提高支流的水环境承载能力,减少黄河干流的污染物接纳量,提高干流承

纳污染物的能力。

参考文献:

[1] 方子云. 水资源保护工作手册[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988: 501.
 [2] 何少苓, 彭静. 论提高水域自净与纳污能力的水动力潜力[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2002(1): 13.
 (收稿日期: 2005-06-03 编辑: 高渭文)

(上接第 17 页)物理、化学指标进行构建,这是评价河流健康的一种有效方法。其中,化学指标可选择 COD_{Mn}、BOD₅、NH₃-N、TP 和 DO,生物指标可采用浮游生物的多样性指数和底栖生物的生物污染指数。

b. 采用模糊概率方法对河流健康进行评价。实例分析表明,该法具有将概率统计和模糊数学相结合的特点,可以有效解决多指标和多河段综合评价容易受到随机性和模糊性影响的问题。结果不仅能够反映河流总体健康状况,还能揭示出不同等级河段所占的比例。

c. 研究发现深圳 3 条河流近 70% 的河段处于亚病态和病态状态,而仅有 4.5% 的河段处于健康状况。通过对比河流上下游的健康状况,发现上游河段的生态系统健康状况好于中下游河段,这是由于从上游至下游随着经济活动的加剧,污染物排放量的增加,使流域生态系统的健康程度呈现逐渐降低的趋势。

参考文献:

[1] RAPPORT D J. Water constitutes ecosystem health?[J]. Perspectives in Biology and Medicine, 1989, 33: 120-132.
 [2] RESH V H, NORRIS R H, BARBOUR M T. Design and implementation of rapid assessment approaches for water resource monitoring using benthic macroinvertebrates[J]. Australia Journal of Ecology, 1995, 20: 108-121.
 [3] 唐涛, 蔡庆华, 刘健康. 河流生态系统健康及其评价[J]. 应用生态学报, 2002, 23(9): 1191-1194.
 [4] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探[J]. 水科学进展, 2005, 16(3): 349-355.
 [5] NORRIS R H, THOMS M C. Water is river health?[J]. Freshwater Biology, 1994, 41: 197-209.
 [6] KARR J R. Biological integrity: A long-neglected aspect of water resource management[J]. Ecological Applications, 1991, 1(1): 66-84.
 [7] NORRIS R H, NORRIS K H. The need for biological assessment of water quality: Australian perspective[J]. Australian Journal of Ecology, 1995, 20: 1-6.
 [8] RESH V H, MYERS M J, HANNAFORD M J. Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality

[C]/Hauer F R, Lamberti G A. Methods in stream ecology. San Diego: Academic Press, 1999: 647-667
 [9] KARR J R. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6: 21-27.
 [10] BELPAIRE C, SMOLDERS R, AUWEELE I V, et al. An index of biotic integrity characterizing fish populations and the ecological quality of Flandrian water bodies[J]. Hydrobiologia, 2000, 434: 17-33.
 [11] WRIGHT J F. Development and use of a system for predicting macroinvertebrates in flowing waters[J]. Australian Journal of Ecology, 1995, 20: 181-197.
 [12] 王备新, 杨莲芳. 用河流生物指数评价秦淮河上游水质的研究[J]. 生态学报, 2003, 23(10): 2082-2091.
 [13] SRI S, YULINAH T, BARRY T, et al. Assessment of the biological health of the Brantas River, East Java, Indonesia using the Australian River Assessment System (AUSRIVAS) methodology[J]. Aquatic Ecology, 2001, 35: 135-146.
 [14] FAIRWEATHER G P. State of environmental indicators of 'river health': Exploring the metaphor[J]. Freshwater Biology, 1999, 41: 211-220.
 [15] 张光贵. 用综合生物指数法评价水质[J]. 环境监测管理与技术, 2000, 12(5): 27-29.
 [16] 邱立平, 杜茂安, 张大庆. 多项生物指数模糊综合评价的初步探讨[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(6): 50-54.
 [17] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 125-126.
 [18] 童君, 赵馨, 朱孝林, 等. 辽宁大伙房水库水生生物特征及水质生态学评价[J]. 环境保护科学, 2002, 28(110): 10-12.
 (收稿日期: 2005-06-12 编辑: 高渭文)

