

DOI: 10.5846/stxb201209221339

邓晓军, 许有鹏, 翟禄新, 刘娅, 李艺. 城市河流健康评价指标体系构建及其应用. 生态学报 2014, 34(4): 993–1001.

Deng X J, Xu Y P, Zhai L X, Liu Y, Li Y. Establishment and application of the index system for urban river health assessment. Acta Ecologica Sinica 2014, 34(4): 993–1001.

城市河流健康评价指标体系构建及其应用

邓晓军^{1,2,*}, 许有鹏¹, 翟禄新², 刘 娅¹, 李 艺²

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 广西师范大学环境与资源学院, 桂林 541004)

摘要: 健康的城市河流既能够维持其生态系统的自然运转, 又能够满足城市社会经济的正常需求, 还能够为人类提供休闲娱乐的场所。基于城市河流健康的内涵, 构建出包含自然生态、社会经济和景观环境等 3 个方面 24 个指标的城市河流健康评价指标体系。以漓江市区段为例, 通过建立基于层次分析法的模糊综合评价模型对其进行健康评价。结果表明: 漓江市区段复合生态系统的评价结果为 (0.2193, 0.3004, 0.3261, 0.1137, 0.0405), 处于中健康状态; 其自然生态子系统、社会经济子系统和景观环境子系统的健康状态分别为中、优和良; 水量、防洪能力、鱼类多样性指数和底栖动物多样性是漓江市区段健康的主要影响因素。该评价指标体系可为其它城市河流的健康评价提供参考。

关键词: 城市河流; 河流健康评价; 指标体系; 漓江

Establishment and application of the index system for urban river health assessment

DENG Xiaojun^{1,2,*}, XU Youpeng¹, ZHAI Luxin², LIU Ya¹, LI Yi²

1 School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China

2 School of Environmental Science and Resources, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

Abstract: With the rapid expansion of the urban area and the constant intervention of human activities, there have been some serious problems in urban rivers such as channel shrinkage, frequent flood disasters, deterioration of water quality, landscape destruction, decline in biodiversity, and so on. The research of urban river health is one of the hotspots in the current field of river ecology research. Restoration and maintenance of the urban river health is a common goal of urban river management in countries all over the world.

Urban rivers are those originate from urban areas or who meet with city rivers/river sections, some of which have a history of artificial excavation and evolution with characteristics of natural rivers and canals. In the process of formation and development of cities, river as the key carrier of resources in the natural environment, is an important factor influencing the style and beautify of the city environment, and restricting the city development. In terms of characteristics of urban rivers, it is obvious that urban rivers have lots of functions in varying aspects, not only functions of natural river system, but also social and economic service such as providing places for recreation and tourism. Therefore, urban river system is a complex system which is composed of natural ecology subsystem, social economy subsystem and landscape environment subsystem. A healthy urban river is significant for maintaining the balance of the local ecological system, meeting the needs of social economy development, and providing entertainment for local residents.

In this paper, the concept of the urban river health was discussed firstly, and then the evaluation index system was

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41261005); 水利部公益资助项目(201201072); 广西哲学社会科学规划课题资助项目(13CJY005); 广西教育厅科研课题资助项目(201010LX061); 广西文科中心一般资助项目(YB2012017)

收稿日期: 2012-09-22; 修订日期: 2013-05-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mijun45@163.com

<http://www.ecologica.cn>

constructed based on the connotation of urban river health , including 24 indexes in natural ecology , social economy and landscape environment. The index system consists of sub-target layer , criteria layer and index layer , considering the natural ecology , social economy and landscape environment of the urban river. Taking the urban reach of the Lijiang River as a case , the river health status was evaluated using fuzzy comprehensive evaluation model and analytic hierarchy process (AHP) by determining the weights of the criteria layer and index layer. The results show that the ecosystem health scores of the urban reach of the Lijiang River is 0.2193 , 0.3004 , 0.3261 , 0.1137 , and 0.0405 respectively , which indicating that the urban reach of Lijiang River was in the medium state of health. The health level of the natural ecological subsystem , social and economic subsystem and landscape environment subsystem was medium , excellent and good respectively. It can be concluded that the management of the Lijiang River has made certain achievements in recent years , but more further studies and investment were needed to reach complete river governance. On the other hand , water volume , flood control capacity , fish diversity index and benthic animal diversity were also the main factors which affect the health of urban reach of the Lijiang River. Therefore , key measures of ecological restoration of the urban reach of the Lijiang River include water supplement in dry season , flood control , biodiversity conservation , as well as data collection and human factor research in the future. The evaluation index system and evaluation method in this paper was effective in the case of evaluating the health of Lijiang River , and could provide decision-making reference for basin planning , managing , protecting and health assessment of the urban river in other region.

Key Words: urban river; river health evaluation; index system; Lijiang River

城市河流多指发源于城区或流经城区的河流或河流段 , 包括一些历史上人工开挖且经多年演化已具有自然河流特点的运河和渠系^[1]。在城市形成和发展中 , 河流作为最关键的资源 and 环境载体 , 是影响城市风格和美化城市环境的重要因素 , 关系到城市生存 , 制约着城市发展^[2]。随着城市规模扩张和人类活动干预引起河流生态系统的不断退化 , 河流健康评价已成为国内外学术界的研究热点^[3]。

国外的河流健康评价始于一个世纪前开展的河流生物监测^[4]。直至今日 , 生态完整性指数 (Index of Biotic Integrity , IBI) 和河流无脊椎动物预测和分类计划 (River Invertebrate Prediction And Classification System , RIVPACS) 等指示物种法仍然是河流健康评价的常用方法^[5] , 但其存在监测参数选择不当会导致不同的评价结果 , 并且无法综合评价河流生态系统状况等缺陷^[6]。为了全面评价河流的健康状况 , 许多综合物理、化学、生物 , 甚至社会经济指标的河流健康评价方法相继提出并且应用于实践中 , 代表性的有美国的快速生物监测协议 (Rapid Bioassessment Protocols , RBPs)、瑞典的岸边与河道环境细则 (Riparian , Channel , and Environmental Inventory , RCE)、澳大利亚的溪流状态指数 (Index of Stream Condition , ISC) 和英国的河流生境调查 (River Habitat

Survey , RHS) 等^[7-10]。我国的河流健康研究起步较晚 2002 年 , 唐涛等人^[4]率先对河流生态系统健康进行探索。随后 , 长江、黄河和珠江等各大流域机构纷纷开展了本流域的河流健康研究^[11-13]。近年来 , 随着我国城市河流保护以及河道综合整治力度的不断加强 , 城市河流健康评价也逐步开展起来^[14] , 如耿雷华、张楠、秦鹏和宋刚福等人分别运用综合评价指数法、灰色关联方法、模糊集对模型和拉开档次法等方法对各地的河流健康进行评价^[15-18]。总体而言 , 国外对河流健康的研究主要集中于河流生态方面 , 且其评价对象主要是农村和城郊的小溪流 , 因此其评价方法不适用于城市河流。国内近几年的研究虽然对河流的服务功能有所考虑 , 但也仅限于水资源利用、航运和防洪等几个方面 , 且其评价方法或是过于主观或是过于复杂而不适合进行广泛研究。此外 , 以往的研究通常不重视甚至忽略城市河流的景观服务功能。

漓江是世界上风光最秀丽的河流之一。但近 20 年来 , 漓江水质变差、枯水期变长以及自然景观退化等生态问题已严重阻碍了流域的可持续发展。为此 , 本文选取漓江桂林市区段为例 , 通过探讨城市河流健康的科学内涵 , 从自然生态、社会经济和景观环境 3 个方面构建了城市河流健康评价的指标体系 ,

并运用模糊综合评价模型对其健康现状进行评价分析,其结果可以为城市河流的规划、管理和保护提供决策参考。

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

漓江系珠江流域西江水系的桂江上游河段的通称,发源于广西东北部桂林市兴安县的越城岭主峰猫儿山,沿途流经桂林市的兴安、灵川、市区、阳朔和平乐等区县,全长 214km,其间有黄柏江、川江、小溶江、甘棠江、桃花江、良丰江和潮田河等支流汇入,流域面积 12285km²。漓江流域属中亚热带湿润季风气候区,年平均气温 17.8℃,年平均降水量 1949.5mm。但漓江为山区雨源型河流,每年 3—8 月为汛期,其径流量约占全年的 80%,9 月至翌年 2 月为枯水期,其径流量只有全年的 20% 左右。漓江是国家重点保护的 13 条江河之一,它是桂林山水的精华、又是桂林的母亲河,支撑着全流域近 500 万人的社会经济发展。

1.2 城市河流健康评价指标体系构建

1.2.1 城市河流健康的内涵

城市滨水空间是一个城市能见水、近水和亲水的特色景观环境,而良好的河流景观与滨水环境是当今城市规划建设的重要内容^[2]。许多城市为了美化市容,建立城市水环境,将一些原来污染的城市河流或者流经城市的河流段进行整治,再配以风景,从而形成具有景观功能的城市河流^[19]。可见,城市河流不仅具备一般城市河流的自然生态系统价值和社会经济服务功能,还拥有美化环境与景观旅游等特殊功能。因此,城市河流系统是一个由河流自然生态子系统、社会经济子系统和景观环境子系统组成的复杂系统。

健康的城市河流其自然生态、社会经济和景观环境都应该处于健康状态。因此,城市河流健康的内涵应该包括以下 3 个方面的内容: 1) 自然生态健康,即河流自然生态系统能保持其稳定性和可持续性,具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力^[20],它是河流生态价值发挥的前提; 2) 社会经济健康,即水资源能满足人类生活和社会经济发展的正常需求,水资源利用效益高、防洪排涝能力强,它是河流社会经济功能发挥的基础; 3) 景观环境健

康,即河流内外的自然和人工景观环境能够为人类提供观赏游览、休闲娱乐和文化教育的场所,它是河流休闲旅游功能发挥的条件。

1.2.2 评价指标初筛

(1) 自然生态指标

近年来,国内外主要通过河流水文、水质、生物、形态结构和河岸带状况这 5 个方面来表征河流自然生态系统的健康状况^[3]。水文方面,由于水量是河流水文最基本的要素之一,且其大小关系到河流生物的生存、人类的生产生活和水体景观环境,所以选用水量作为水文代表指标;水质方面,考虑到我国的《地表水环境质量标准》根据多个评价指标将水质分为 5 类,故选用水质类别作为水质代表指标;生物方面,鱼类、浮游藻类和底栖大型无脊椎动物是最常用的监测对象^[4],故选用这 3 种生物的多样性作为生物代表指标;形态结构方面,由于河流的截弯取直、河道的硬质渠化和筑坝等人工造成的河流形态的均一化和非连续化会改变生境多样性^[21],河床的崩塌和淤积等河床不稳定因素也会影响泄洪和防洪安全^[22],因此选用河道改变、河道弯曲程度、河床稳定性和岸坡自然程度作为形态结构代表指标;河岸带状况方面,由于河岸带功能的发挥与其宽度有着极为密切的关系,且河岸植被带对于保护流域内的水土资源以及自然栖息地等发挥着重要的作用^[23],所以选用河岸带宽度、河岸植被的覆盖率和纵向连续性作为河岸带状况代表指标。

(2) 社会经济指标

河流的社会经济功能是河流对人类社会经济系统支撑能力的体现,是人类维护河流健康的初衷和意义所在。泄洪、供水、发电、航运、净化环境、景观和文化遗产是河流的主要社会经济功能^[24]。泄洪方面,考虑到防洪能力涵盖了整个防洪系统的工程与非工程措施以及自然与人文因素的各个方面,故选用防洪能力来综合反映河流的泄洪功能;供水方面,由于水资源利用率是判断人类利用的水资源是否侵占生态用水的重要标准,人均水资源量和城市供水保证率分别从理论和实践上体现了河流对人类生产生活的最基本支撑能力,万元 GDP 用水体现了人类利用水资源的效益,所以这几个指标可以从不同的侧面反映河流的供水功能及人类社会活动对河流的影响。此外,由于这几年国家和地方乃至城市

居民对自来水的合格率关注都较高,加上水环境归根结底都是人类活动影响所致,所以选用水质类别、污水处理率和自来水综合达标率来表征人类社会经济活动对河流的胁迫和响应;航运方面,可以选用通航保证率来综合反映河流航运能力;至于河流的发电功能,由于城市河流因其比降小一般不会用于发电故不作考虑,另外河流的净化环境、景观和文化遗产功能都可以纳入河流的休闲旅游功能,故在河流健康的社会经济评价指标中也不予体现。

(3) 景观环境指标

国内外的景观评价一般是从生态景观、人文景观和视觉效果这 3 个方面进行,本研究在参考城市滨水绿地景观效果评价指标体系^[25]的基础上结合城市河流健康内涵选取景观环境评价指标,具体如下:舒适度和空气负离子浓度都是表征居民对环境满意程度的指标,故设一个公众满意度指标以全面反映人们对河流整体景观环境的满意程度;观赏植物丰富度、绿地率、植被色彩多样性、植被观赏特性多样性、植被空间多样性和水生动植物及坡岸植被这几个指标其实是从不同的侧面反映河岸带植被状况,故设一个河岸植被覆盖率来综合反映河岸带的植被状况;水体污染物浓度、水体的透明度和水位高低其实是从水质和水量这两方面来反映河流景观水体,故设为这 2 个指标;岸线形态是反映河道两岸形态的指标,可以合并至自然生态中的河道弯曲程度指标;河岸风格、视域宽度、滨水建筑体量、水位高低、园路人性化设计、河岸亲水性处理类型、滨水绿地周围用地类型、护岸类型、岸坡倾斜度、亲水空间、景观小品、河岸建筑、人文景观这些指标是从不同的方面反映人类对城市河流的视觉和行为感知效果,故可以将其合并为岸坡自然程度、视域宽度、景观小品多样性和滨水建筑体量这 4 个指标;该指标体系并没有对娱乐休闲和游船通航进行考虑,故增设娱乐项目丰度和游船通航保证率这 2 个指标。

1.2.3 指标分析选取

通过上述指标的初筛,可以得到反映城市河流自然生态、社会经济和景观环境 3 个方面健康状况的 31 个指标,但分析发现其中有些指标难以采集数据或是难以量化,甚至有些指标间存在交叉和重叠。因此必须对其进行相关性分析并根据实际情

况合并部分指标,具体如下:1) 水质类别和景观水体水质存在明显的重叠,考虑到城市河流的水质变化主要是受到人类社会经济活动影响造成的,故将这几个指标合并至社会经济的水质类别指标;2) 水量和景观水体水量也存在重叠,考虑到水量是河流的基本水文要素和河流生物的主导因子,故将这 2 个指标合并至自然生态的水量指标;3) 由于漓江流域浮游藻类的相关调查研究较少,故将浮游藻类指标删除;4) 岸坡自然程度和植被覆盖率指标分别有重复,考虑到河岸自然缓坡是人们亲近景观水体的主导因素,以及河岸绿地是人们各种休闲旅游活动的主要场所,故都将其合并至景观环境中;5) 通航保证率和游船通航保证率存在重叠,考虑到漓江流域的航运主要是用于旅游,故将其合并至景观环境的游船通航保证率;6) 由于以往的研究评价河岸带宽度都是基于河道宽度,为了实现指标的定量化和确定相应的健康标准,故将其改为河岸带宽/河宽。

根据上述指标分析选取,可构建出包含自然生态、社会经济和景观环境等 3 个方面 24 个指标的城市河流健康评价指标体系,具体如表 1 所示。

1.2.4 权重分配

首先根据城市河流健康评价指标体系和层次分析法的原理设计出要素层和指标层的专家咨询表,其次选择在地理学、生态学、水利学、环境科学和旅游管理等研究领域颇有建树的桂林各大高校、科研院所和政府机关的专家发放问卷,然后回收问卷进行数据整理、计算相关矩阵的特征值和特征向量,接下来检验各评判矩阵的一致性确定各要素和指标的权重,最后计算各专家咨询得出的权重的平均值确定各要素指标的最终权重并作出最终排序。本研究共发放问卷 20 份,回收 20 份,经检验其一致性发现其有效问卷有 19 份,对问卷进行统计分析得到其结果如表 1 所示。

1.2.5 评价标准确定

鉴于目前河流健康尚无明确统一标准,因而在综合国内外河流健康评价的研究成果及城市河流的实际情况的基础上,将城市河流健康的评价标准分为优、良、中、差和极差 5 个级别,结合相关历史资料和专家咨询,并借鉴国内外河流健康评价标准和国家标准确定指标的各级标准值,具体如表 2。

表 1 城市河流健康评价体系权重

Table 1 The health evaluation factor weights of the urban river

目标层 A Objective level	准则层 B(权重) Normal level (weight)	指标层 C Index level	指标层 C 权重 Factor weights of index level		
			相对于准则层 的权重 Weight relative to normal level	相对于目标层 的权重 Weight relative to objective level	重要性总排序 Total order of importance
城市河流健康 A Urban river health	自然生态 B1 Natural ecology (0.5045)	水量 C11 Water volume/%	0.1559	0.0786	3
		河道改变 C12 Watercourse change/%	0.0761	0.0384	11
		河道弯曲程度 C13 Degree of river bend/%	0.0793	0.0400	10
		河床稳定性 C14 Stability of riverbed/%	0.3015	0.1521	1
		纵向连续性 C15 Longitudinal continuity/%	0.0868	0.0438	8
		河岸带宽/河宽 C16 Riparian width/river width	0.0714	0.0360	14
		鱼类多样性指数 C17 Index of fish diversity	0.1214	0.0613	5
		底栖动物多样性 C18 Index of zoobenthos diversity	0.1076	0.0543	6
	社会经济 B2 Social economy (0.3203)	水质类别 C21 Water quality classification	0.1255	0.0402	9
		万元 GDP 用水 C22 Water consumption per 10000 yuan of GDP/m ³	0.0424	0.0136	23
		人均水资源量 C23 Water resources per capita/m ³	0.0422	0.0135	24
		城市供水保证率 C24 Urban water-supply guaranteed rate/%	0.1147	0.0367	13
		水资源利用率 C25 Utilization of water resources/%	0.0801	0.0257	15
		防洪能力 C26 Flood control capacity/a	0.2097	0.0671	4
		污水处理率 C27 Rate of sewage treatment/%	0.1150	0.0368	12
		自来水合格率 C28 Qualified rate of tap water/%	0.2705	0.0866	2
	景观环境 B3 Landscape environment (0.1752)	公众满意度 C31 Public satisfaction/%	0.2871	0.0503	7
		岸坡自然程度 C32 Natural degree of bank slope/%	0.0821	0.0144	21
		河岸植被覆盖率 C33 Riparian vegetation coverage ratio/%	0.1161	0.0204	17
		视域宽度 C34 View width/%	0.1023	0.0179	19
		景观小品多样性 C35 Landscape sketch diversity/%	0.0917	0.0161	20
		滨水建筑体量 C36 Waterfront building volume/%	0.1303	0.0228	16
		娱乐项目丰度 C37 Abundance of entertainment (items)	0.0820	0.0144	22
		游船通航保证率 C38 Cruisers navigation guarantee rate/%	0.1083	0.0190	18

表 2 城市河流健康评价指标标准及其设定依据

Table 2 The health evaluation indexes criterion and reference sources of the urban river

指标 Indexes	等级 Levels					设定依据 Reference sources
	优 Excellent	良 Good	中 Medium	差 Poor	极差 Very poor	
水量 C11 Water volume/%	>95	75—95	25—75	5—25	<5	RBP _s ^[7]
河道改变 C12 Watercourse change/%	<10	10—20	20—30	30—40	>40	
河道弯曲程度 C13 Degree of river bend/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	
河床稳定性 C14 Stability of riverbed/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	RBP _s ^[7] ISC ^[9]
纵向连续性 C15 Longitudinal continuity/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	ISC ^[9]
河岸带宽/河宽 C16 Riparian width/river width	>1	0.5—1	0.25—0.5	0.1—0.25	<0.1	
鱼类多样性指数 C17 Index of fish diversity ^①	>0.8	0.6—0.8	0.4—0.6	0.2—0.4	<0.2	专家咨询 ^③
底栖动物多样性 C18 Index of zoobenthos diversity ^②	>4	3—4	2—3	1—2	<1	
水质类别 C21 Water quality classification	I	II	III	IV	V	地表水环境质量标准
万元 GDP 用水 C22 Water consumption per 10000 yuan of GDP/m ³	<100	100—200	200—300	300—400	>400	专家咨询 ^③
人均水资源量 C23 Water resources per capita/m ³	>10000	3000—10000	1700—3000	500—1700	<500	

续表

指标 Indexes	等级 Levels					设定依据 Reference sources
	优 Excellent	良 Good	中 Medium	差 Poor	极差 Very poor	
城市供水保证率 C24 Urban water-supply guaranteed rate/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	河流健康评价指标健康刻度 ^[15]
水资源利用率 C25 Utilization of water resources/%	<10	10—20	20—30	30—40	>40	
防洪能力 C26 Flood control capacity/a	>100	50—100	30—50	5—30	<5	国家防洪标准
污水处理率 C27 Rate of sewage treatment/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	河流健康评价指标健康刻度 ^[15]
自来水合格率 C28 Qualified rate of tab water/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	
公众满意度 C31 Public satisfaction/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	专家咨询 ^③
岸坡自然程度 C32 Natural degree of bank slope/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	城市滨水绿地景观评价标准 ^[25]
河岸植被覆盖率 C33 Riparian vegetation coverage ratio/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	
视域宽度 C34 View width/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	
景观小品多样性 C35 Landscape sketch diversity/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	河流健康评价等级标准 ^[17]
滨水建筑体量 C36 Waterfront building volume/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	城市滨水绿地景观评价标准 ^[25]
娱乐项目丰度 C37 Abundance of entertainment (items)	> 8	5—8	3—5	1—3	0	河流健康评价等级标准 ^[17]
游船通航保证率 C38 Cruisers navigation guarantee rate/%	>95	80—95	65—80	50—65	<50	河流健康评价指标健康刻度 ^[15]

①鱼类物种 $G-F$ 多样性指数; ②底栖动物 Shanno-Wiener 多样性指数; ③Delphi method

2 结果分析

2.1 数据来源

漓江市区段健康评价所需数据主要来源于《2010 年广西水资源公报》、《2010 年桂林市环境状况公报》、《桂林市 2004—2010 年旅游总体规划》、《广西桂林市防洪总体规划报告(修编本)》、桂林市

2010 年 1—12 月的《重点城市集中式饮用水源地水质月报》和《重点流域水质月报》,以及近几年的漓江流域鱼类和大型无脊椎底栖动物生物多样性调查报告^[26-27],其它定量指标的现状值主要是在资料收集和实地考察的基础上征询相关专家建议得出,各指标的现状值及数据来源具体见表 3。

表 3 漓江市区段评价指标现状值及其数据来源

Table 3 Present values and dater sources of the evaluation indexes of the urban reach of the Lijiang river					
指标 Indexes	现状值 Present values	数据来源 Date sources	指标 Indexes	现状值 Present values	数据来源 Date sources
C11	48%	水文资料	C25	15%	《2010 年广西水资源公报》
C12	12%	实地考察	C26	20a	《广西桂林市防洪总体规划报告(修编本)》
C13	95%	实地考察	C27	84%	《2010 年桂林市环境状况公报》
C14	94%	实地考察	C28	99%	《重点城市集中式饮用水源地水质月报》
C15	72%	实地考察	C31	80%	问卷调查
C16	0.44	实地考察	C32	76%	实地考察
C17	0.45	漓江流域鱼类资源调查报告	C33	62%	《桂林市 2004—2010 年旅游总体规划》
C18	2.5	漓江流域底栖动物调查报告	C34	92%	实地考察
C21	I—II 类	《重点流域水质月报》	C35	93%	实地考察
C22	412m ³	《2010 年广西水资源公报》	C36	82%	实地考察
C23	6623m ³	《2010 年广西水资源公报》	C37	> 8 项	实地考察
C24	99%	《2010 年广西水资源公报》	C38	53%	水文资料

2.2 评价结果

根据模糊综合评价的基本原理, 首先建立评价目标层 $A = \{\text{漓江市区段健康}\}$ 、评价要素集 $B = \{B_1, B_2, B_3\} = \{\text{自然生态}, \text{社会经济}, \text{景观环境}\}$ 、评价指标集 $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_{24}\}$ 与评语集 $V = \{\text{优}, \text{良}, \text{中}, \text{差}, \text{极差}\}$ 。然后将各指标现状值代入, 可得出各准则层的单因素评判矩阵, 最后根据各指标和要素的权重结合模糊算法因子 $M(\cdot, +)$ 可完成漓江市区段健康的一二级模糊评判。结果如下:

自然生态 $B_1 = (0.1004, 0.3298, 0.4483, 0.1215, 0)$
 社会经济 $B_2 = (0.4580, 0.1957, 0.0943, 0.1258, 0.1263)$

景观环境 $B_3 = (0.1261, 0.4068, 0.3977, 0.0693, 0)$

漓江市区段健康 $A = (0.2193, 0.3004, 0.3261, 0.1137, 0.0405)$

2.3 结果分析与讨论

如图 1 所示, 按照最大隶属度原则, 漓江市区段的健康状况为中 (0.3261)。从健康分级来看, 漓江市区段有 21.93% 处于“优”健康状态, 30.04% 处于“良”健康状态, 32.61% 处于“中”健康状态, 11.37% 处于“差”健康状态, 4.05% 处于“极差”健康状态。其中“良”以上的健康状态占了 51.97%, 这说明漓江市区段整体健康状况正处于“中”向“良”的过渡阶段, 仍存在很大的提升空间。

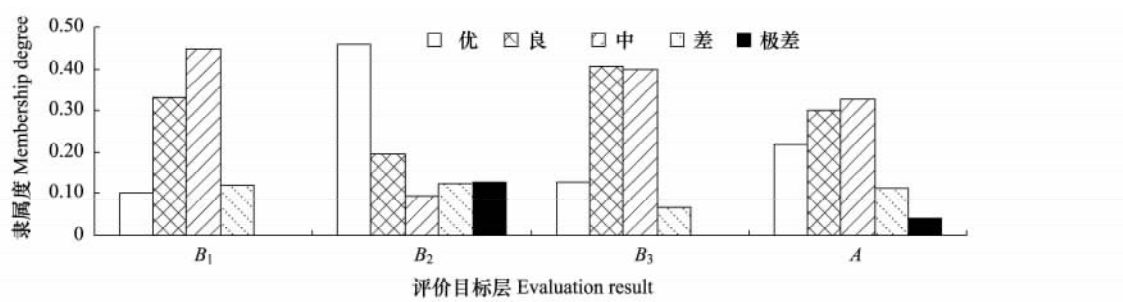


图 1 漓江市区段健康评价结果

Fig. 1 The health evaluation result of the urban reach of the Lijiang river

从准则层来看, 漓江市区段的自然生态子系统最大隶属度为 0.4483, 属于“中”健康状况, 且其“中”以下的健康状态占了 56.98%, 这说明漓江市区段的自然生态受人类活动的干扰破坏较大, 由于健康的自然生态子系统是河流生态价值和其功能发挥的基础, 故应受到重视并加以保护。社会经济子系统的最大隶属度为 0.4580, 属于“优”健康状况, 说明漓江市区段的社会经济功能发挥得较好, 但应继续保持乃至进一步提高。景观环境子系统的最大隶属度为 0.4068, 属于“良”健康状况, 这说明当地政府和居民为了旅游业的发展做了一定的工作, 但仍需继续加强保护和管理以实现当地旅游业的可持续发展。

如图 2 所示, 从指标层来看, 24 个指标中处于“良”以上的健康状态有 13.5 个 (其中有个指标处于“良”和“中”的临界状态, 故各取 0.5 个)、占了 56.25%, 处于“中”以下的健康状态有 10.5 个、占了 43.75%。这说明尽管漓江市区段复合生态系统整体还算稳定, 但仍有部分结构存在异常变化, 同时河流的各种价值和功能也有所下降, 主要表现为: 用水

效益太差, 防洪能力太低, 河道存在部分渠化且两岸筑有堤坝, 河岸植被覆盖率偏低, 游船只能季节性通航, 鱼类的种类和数量均大幅下降, 底栖动物多样性严重破坏, 河岸缓冲带大量被侵占, 水量季节性变化大和间断性护岸透水性不强等。结合表 3 中各指标的权重排序可以发现, 水量、防洪能力、鱼类多样性指数和底栖动物多样性是漓江市区段健康的主要影响因素。因此, 漓江市区段下一步的生态修复工作重点应该是枯季补水、雨季防洪和生物多样性保护。

本次研究的结果跟实际调查情况相符合, 根据“漓江水生态系统自然资源调查研究与保护”课题组 2007 年提交的调查报告^[28], 漓江水水质总体状况良好, 但漓江来流保水量锐减、枯水期延长, 且漓江水生生物自然资源的遗传多样性和物种多样性现状十分严峻, 主要表现在漓江的关键生物鱼类自然资源已极度衰退或枯竭。此外, 2011 年王佳等人^[29]运用河流健康综合指数法对漓江城市段的评价结果与本研究结果也是一致的, 即漓江城市段健康评价综合指数为 3.0051 (总分为 4)。

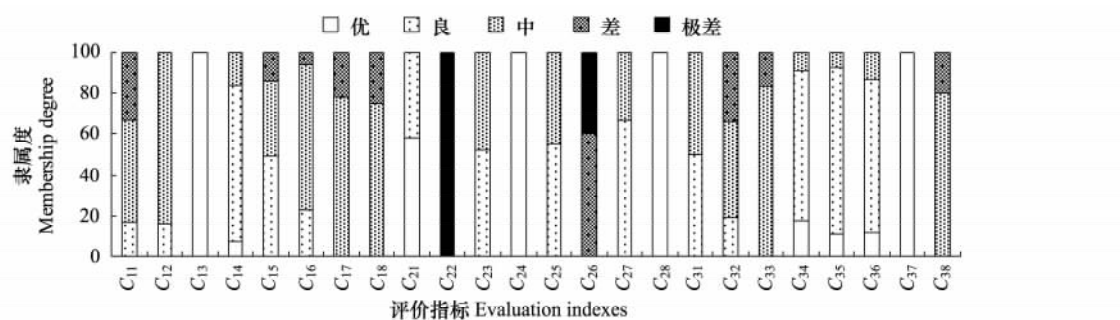


图2 漓江市区段健康评价指标等级分布

Fig. 2 The grade distribution of health evaluation indexes of the urban reach of the Lijiang river

3 结论

(1) 本研究基于城市河流健康的内涵构建了包含自然生态、社会经济和景观环境 3 个方面 24 个指标的城市河流健康评价指标体系,并建立了基于层次分析法的模糊综合评价模型对漓江市区段进行实证研究。

(2) 对漓江市区段健康现状进行评价,发现漓江市区段复合生态系统及其自然生态子系统、社会经济子系统和景观环境子系统的评价结果分别为中、中、优和良。结合各指标的权重排序分析其健康状况可以看出,水量、防洪能力、鱼类多样性指数和底栖动物多样性是漓江市区段健康的主要影响因素。因此,漓江市区段下一步的生态修复工作重点应该是枯季补水、雨季防洪和生物多样性保护。

(3) 本研究建立的城市河流健康评价指标体系从一定程度上拓宽和发展了河流健康研究的思路 and 理论,但仍存在很多不足,如指标选取的分析主观性太强,受资料限制并未考虑浮游动植物以及河流的连通和水流的畅通程度,也没有分析漓江不同河段在不同年份的动态变化等。因此,本研究只能算作是针对特定区域开展河流健康评价研究的一次探索。由于不同城市河流其健康主导因素不可能一样,且不同城市河流其生态价值和服务功能也会有所偏重,因此应根据河流的实际情况考虑数据的易获性选取合适的指标建立指标体系对其进行评价,以确定影响河流健康的主要因素为城市河流的规划、管理和保护提供决策参考。

References:

- [1] Song Q H, Yang Z F. Thinking of integrated management of urban rivers in China. *Advances in Water Science*, 2002, 13(3): 377-382.
- [2] Liu X T. Discussion on problems of city river harnessing. *Planners*, 2001, 17(6): 66-69.
- [3] Wu E N, Yang K, Che Y, Yuan W. Characterization of rivers health status and its assessment. *Advances in Water Science*, 2005, 16(4): 602-608.
- [4] Tang T, Cai Q H, Liu J K. River ecosystem health and its assessment. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9): 1191-1194.
- [5] Karr J R, Chu E W. Sustaining living rivers. *Hydrobiologia*, 2000, 422/423: 1-14.
- [6] Zhao Y W, Yang Z F. River health: Concept, assessment method and direction. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(1): 119-124.
- [7] Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, Stribling J B. *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish*. 2nd ed. Washington: Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999: 1-10.
- [8] Robert C, Petersen J R. The RCE: a Riparian, Channel, and Environmental Inventory for small streams in the agricultural landscape. *Freshwater Biology*, 1992, 27(2): 295-306.
- [9] Ladson A R, White L J, Doolan J A, Finlayson B L, Hart B T, Lake P S, Tilleard J W. Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology*, 1999, 41(2): 453-468.
- [10] Raven P J, Holmes N T H, Dawson F H. River Habitat Quality—the Physical Character of Rivers and Streams in the UK and Isle of Man. *River Habitat Survey, Report No. 2*. Environment Agency, Scottish Environment Protection & Environment and Heritage Service, 1998: 85-85.
- [11] Cai Q H. Maintaining the health of Yangtze River and promoting the harmony between human and river water. *China Water Resources*, 2005, (8): 7-9.
- [12] Li G Y. "Keeping healthy life of the Yellow River"—An ultimate aim of taming the Yellow River. *Yellow River*, 2004, 26(1): 1-2.
- [13] Lin M L, Li X Y, Yang M H. Probe into the index system for evaluating the health of the rivers in the Pearl River basin. *Pearl River*, 2006, (4): 1-3.

- [14] Xia Z Q, Guo W X. Research advance in river health. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(2): 252-256.
- [15] Geng L H, Liu H, Zhong H P, Liu C S. Indicators and criteria for evaluation of healthy rivers. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(3): 253-258.
- [16] Zhang N, Meng W, Zhang Y, Zheng B H. Multi-variable assessment of river ecosystem health in Liao river basin. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(2): 162-170.
- [17] Qin P, Wang Y H, Wang W H, Li M. Integrated model of fuzzy analytical hierarchy process and variable fuzzy set model on evaluating river health system. Journal of Zhejiang University: Engineering Science, 2011, 45(12): 2169-2175.
- [18] Song G F, Shen B. Improvement of "scatter degree" method and its application in evaluating river ecosystem health. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(7): 1891-1896.
- [19] Zhao X H, Zhao S Y, Zhang X Y, Wang H X. Study and control of water quality changes in scenic rivers (the Jinhe River). Journal of Tianjin University, 2005, 38(9): 824-829.
- [20] Rapport D J. What constitutes ecosystem health? Perspectives in Biology and Medicine, 1989, 33(1): 120-132.
- [21] Dong Z R. Diversity of river morphology and diversity of bio-communities. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, (11): 1-7.
- [22] Ji C K, Liu K P. Discussions on the effect of fluvial process in the downstream of the Yangtze River on the flood control. Water Power, 2002, (1): 9-12.
- [23] Yue J, Wang Y L. Progresses and perspectives in the study of riparian zone. Progress in Geography, 2005, 24(5): 33-40.
- [24] Liu C M, Liu X Y. Healthy river: Essence and indicators. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(7): 683-692.
- [25] Zhang Y F, Yu S, Lu P, Che D D. Effect evaluation of urban waterfront green space landscape based on application of RAGA-PPE model. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(16): 199-205.
- [26] Cai D S, Zhao X G, Zhu Y, Zhou J, Shi J, Han Y Q. Investigation on fish resources and analysis of species diversity in Lijiang river. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 2009, 27(2): 130-136.
- [27] Cao Y X, Cai D S, Zhang J, Shi J, Han Y Q. Diversity of benthic Macroinvertebrate in Lijiang river watershed. Journal of Guangxi Normal University: Natural Science Edition, 2009, 27(2): 118-123.
- [28] Zhou J. Summary of investigation and protection of natural resources of Lijiang river water ecosystem. Fisheries Science & Technology of Guangxi, 2007, (2): 1-7.
- [29] Wang J, Guo C Q. Evaluation of river ecology healthiness for Guilin city section of Lijiang river. Water Sciences and Engineering Technology, 2011, (5): 68-71.
- 进展, 2002, 13(3): 377-382.
- [2] 刘晓涛. 城市河流治理若干问题的探讨. 规划师, 2001, 17(6): 66-69.
- [3] 吴阿娜, 杨凯, 车越, 袁雯. 河流健康状况的表征及其评价. 水科学进展, 2005, 16(4): 602-608.
- [4] 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 河流生态系统健康及其评价. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1191-1194.
- [6] 赵彦伟, 杨志峰. 河流健康: 概念、评价方法与方向. 地理科学, 2005, 25(1): 119-124.
- [11] 蔡其华. 维护健康长江 促进人水和谐. 中国水利, 2005, (8): 7-9.
- [12] 李国英. 黄河治理的终极目标是“维持黄河健康生命”. 人民黄河, 2004, 26(1): 1-2.
- [13] 林木隆, 李向阳, 杨明海. 珠江流域河流健康评价指标体系初探. 人民珠江, 2006, (4): 1-3.
- [14] 夏自强, 郭文献. 河流健康研究进展与前瞻. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 252-256.
- [15] 耿雷华, 刘恒, 钟华平, 刘翠善. 健康河流的评价指标和评价标准. 水利学报, 2006, 37(3): 253-258.
- [16] 张楠, 孟伟, 张远, 郑丙辉. 辽河流域河流生态系统健康的多指标评价方法. 环境科学研究, 2009, 22(2): 162-170.
- [17] 秦鹏, 王英华, 王维汉, 李萌. 河流健康评价的模糊层次与可变模糊集耦合模型. 浙江大学学报: 工学版, 2011, 45(12): 2169-2175.
- [18] 宋刚福, 沈冰. “拉开档次”法的改进及其在河流生态健康评价中的应用. 应用生态学报, 2012, 23(7): 1891-1896.
- [19] 赵新华, 赵胜跃, 张信阳, 王海霞. 景观河流(津河) 水质变化的研究与控制. 天津大学学报, 2005, 38(9): 824-829.
- [21] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性. 水利学报, 2003, (11): 1-7.
- [22] 季成康, 刘开平. 长江下游河床演变对防洪的影响探讨. 水力发电, 2002, (1): 9-12.
- [23] 岳隽, 王仰麟. 国内外河岸带研究的进展与展望. 地理科学进展, 2005, 24(5): 33-40.
- [24] 刘昌明, 刘晓燕. 河流健康理论初探. 地理学报, 2008, 63(7): 683-692.
- [25] 张翼飞, 于崧, 鲁萍, 车代弟. RAGA-PPE 模型在城市滨水绿地景观效果评价中的应用. 中国农学通报, 2010, 26(16): 199-205.
- [26] 蔡德所, 赵湘桂, 朱瑜, 周解, 施军, 韩耀全. 漓江鱼类资源调查及物种多样性分析. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2009, 27(2): 130-136.
- [27] 曹艳霞, 蔡德所, 张杰, 赵湘桂, 王备新. 漓江水系大型无脊椎底栖动物多样性现状调查. 广西师范大学学报: 自然科学版, 2009, 27(2): 118-123.
- [28] 周解. 漓江水生生态系统自然资源调查研究与保护工作综述. 广西水产科技, 2007, (2): 1-7.
- [29] 王佳, 郭纯青. 漓江城市段河流生态健康评价. 水科学与工程, 2011, (5): 68-71.

参考文献:

- [1] 宋庆辉, 杨志峰. 对我国城市河流综合管理的思考. 水科学