

和田河流域中游生态系统健康评价的框架构建^{*}

冯琳^{1,2}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆维吾尔自治区绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘 要:总结了流域生态系统健康评价的内涵及其在国内外的实践。以体现系统活力、组织结构、恢复力、服务功能作为出发点,构建了由生态安全、社会发展、环境保障、人群健康 4 个方面量度,19 个单项指标组成的和田河流域中游生态系统健康评价指标体系,采用客观赋值的变异系数法作为评价方法,借鉴生态医学将健康诊断标准分为五级。对进一步开展和田河流域生态系统健康评价提出三点展望。

关键词:和田河流域; 中游; 健康评价; 框架构建

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0251-04

Framework Establishment of Ecosystem Health Assessment in Middle Reaches of Hotan River Watershed, Xinjiang

FENG Lin^{1,2}

(1. College of Resources & Environment Science, Xinjiang University, Urumuqi 830046, China; 2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Urumuqi 830046, China)

Abstract: The connotations and practices at home and abroad of ecosystem health assessment in watershed are introduced. To take ecosystem energy, organization frame, renewing ability and serving functions as springboard, the index system of ecosystem health assessment in middle reaches of Hotan river watershed is established, which contains nineteen indexes and they are mainly constituted from four aspects as follows: zoology security, society advance, environment ensure and people health. Impersonal evaluated variability coefficient method is commended and diagnostic standards are separated into five levels. Three expectations are produced about health assessment of Hotan river watershed finally.

Key words: Hotan river watershed; middle reaches; health assessment; framework establishment

和田河流域位于昆仑山及喀喇昆仑山北麓、塔里木盆地西部,是以维吾尔族人口占绝对多数的少数民族生活聚居区,也是新疆目前经济发展最落后的地区之一。围绕着绿洲兴衰以及丝绸之路的沧桑变化,该流域一直受到了国内外探险家、考古学家和地理学家的关注,以流域为单元,通过生态系统健康评价研究,确定生态系统各要素的内在联系和相互关系,准确地阐述该流域哪方面脆弱,为什么脆弱,脆弱的程度如何,将为和田河流域乃至塔里木河流域综合治理提供更加科学的依据,对繁荣少数民族地区经济、缩小新疆南北疆差距、维护生物多样性具有重要意义。本文选取该流域的中游生态系统,探讨其健康评价的框架构建。

1 流域生态系统健康评价研究现状

1.1 流域生态系统健康评价的内涵

生态系统健康(Ecosystem Health)概念的提出只有 10 余年的历史,是当今生态学最有活力的一个前沿^[1-5]。1788 年苏格兰医学家和地理学家 Hutton 首先提出健康与生态系统的关系,生态学家 Clements 提出群落演替概念和顶级群落论断,认为生态系统是一个生命个体,有健康与不健康的属性^[6]。Haris 和 Brid 等从生态系统受胁迫压力的角度分别对水体生态系统和陆地生态系统进行了健康研究^[7-8]。Hilden 等^[9]则从模型的角度对生态系统健康评价进行了研究。1989 年加拿大 David Rapport 教授首次论证了生

^{*} 收稿日期:2008-03-23

基金项目:新疆绿洲重点实验室开放课题资助(040079)

作者简介:冯琳(1979-),女,博士研究生,讲师,主要研究方向为环境经济、生态规划。E-mail:feng.lin@163.com

态系统健康的内涵,认为生态系统健康是指生态系统在时间上具有维持其组织结构、自我调节和对胁迫的恢复能力并可以通过活力、组织结构和恢复力 3 个特征来定义^[1],并从系统恢复力的角度对生态系统的健康评价进行了研究^[10]。

近年来,生态系统健康在森林、草原、农田、城市、海洋及淡水生态系统领域得到广泛应用^[11-15],其概念已逐步扩展到流域尺度。作为由分水线所包围的河流集水区,流域是一个社会-经济-自然复合生态系统,它具有独特的自然地理条件与生态特征,还具有独特的经济发展模式和文化特征^[16]。健康的流域生态系统应具有以下特征:对流域进化过程中遇到的自然干扰(如洪水、干旱等)具有恢复力;

远离流域生态系统危机综合症;能自我维持,即在没有外部输入时能存在,在人类管理的生态系统中,每单位产出所需外部输入不增加;管理实践和生态系统过程不损害邻近生态系统;经济上可行,能提供自然和人类需求的生态服务;维持健康的人类群体^[17-19]。

1.2 国外流域生态系统健康评价实践

流域健康状况的评价工作已在很多国家开展,其中美国、英国、澳大利亚、加拿大、南非的实践最具代表性。美国从 20 世纪 80 年代末开始相继对新泽西州内流域、Mississippi 流域、Muskoka 流域进行了健康评价工作。英国进行了河流生态环境调查,并在 1998 年提出了由 6 大恢复标准(自然多样性、天然性、代表性、稀有性、物种丰富度以及特殊特征)构成的“英国河流保护评价系统”,建立了河流生物监测系统。澳大利亚于 1992 年开展了“国家河流健康计划”,监测澳大利亚河流的生态状况,评价现行水管理政策及实践的有效性,并为管理决策提供更全面的生态学及水文学数据。加拿大从保持和改善从水质、野生动物、社会和经济因素、水量 4 个方面开展了 Kemptville Greek 流域的健康保护计划。南非于 1994 年发起“河流健康计划”,选用河流无脊椎动物、鱼类、河岸植被、生境完整性、水质、水文、形态等河流生境状况作为河流健康的评价指标,针对河口地区提出了用生物健康指数、水质指数以及美学健康指数来综合评估河口健康状况。总的来说,国外的流域生态系统健康评价体系包括以下几种^[16]:以流域水质评价为核心内容的评价体系,以流域土地利用方式为核心内容的评价体系,“压力-状态-响应”评价体系,“自然条件限制因子-流域生态健康指示因子-人类活动影响因子”评价体系,“生物因素-非生物因素”评价体系。

1.3 国内流域生态系统健康评价实践

国内对流域生态系统健康评价的研究还处于起

步阶段,主要集中在对河流水质的监测方面,对流域水资源的物理特征和生态特征的研究尚不多见。目前,已有的研究包括:刘国彬以安塞纸坊沟小流域为对象,选取林草覆盖度、基本农田面积、土壤抗冲性、农业产投比、粮食单产、人均纯收入和综合治理减沙效率等反映流域生态经济系统功能评价指标,利用层次分析法定量分析了该流域在生态农业的建设中生态系统恢复的过程^[17]。姜付仁等探讨了流域可持续发展的基本内涵^[18]。罗跃初等讨论了流域生态系统健康评价的科学基础及目标,概括出指示物种评价法与指标体系评价法,并指出其综合评价必须包括生态学、物理化学、社会经济和人类健康 4 个范畴^[19]。龙笛、张思聪以“压力-状态-响应”模型为基础,采用层次分析法对滦河流域(内蒙古山区部分)的生态系统健康进行了评价^[20]。刘建军作了“基于 RS 和 GIS 的巢湖流域生态系统健康评价”的博士论文研究等等。

2 和田河流域中游生态系统健康评价框架

2.1 流域概况

和田河长 319 km,有东西两支流。东支玉龙喀什河,长 504 km,源于策勒县南部昆仑山,在和田县同古孜洛克流出山口,集水面积 1.5 万 km²,年径流量 23 亿 m³;西支喀拉喀什河,长 808 km,源于和田县南部喀喇昆仑山北坡,流经阿克赛钦盆地进入昆仑山峡谷,在墨玉县乌鲁瓦提流出山口,集水面积 1.55 万 km²,年径流量 21 亿 m³;两支流在阔什拉什汇合后称和田河,年径流量 44 亿 m³,由南向北穿越浩瀚的塔克拉玛干沙漠,与叶尔羌河汇入我国最大的内陆河——塔里木河。根据不同的生态系统类型将和田河流域分为上、中、下游。上游为从两河的河源至其出山口段,为陆地生态系统;中游为从其出山口至两河汇合口阔什拉什段,为水陆交错带生态系统;下游为从阔什拉什至阿拉尔段,为水生生态系统。上、中、下游分别位于山地、绿洲及荒漠系统(MODS)中,它们通过水资源的形成、转化、消耗和物质、能量及信息的传递相互关联,是干旱区典型的系统耦合范例^[21]。在行政单元上,该流域主要与中游的和田县、和田市、墨玉县及洛浦县相关联,流域总面积 12.29 万 km²(不含兵团 47 团及阿瓦提县的部分)。由于该流域的上游地区为昆仑山脉,下游穿越塔克拉玛干沙漠,基本都属于无人类活动区,因此,选取在人类活动、生物多样性等方面具有代表意义的中游生态系统进行研究。

2.2 健康评价指标体系

2.2.1 指标体系筛选原则 和田河流域绿洲与荒

漠并存,水陆交错,其生态系统的健康与否,主要取决于两个方面:一是系统自身结构是否合理,功能是否得到正常发挥;二是系统所产生的生态效益、社会效益是否满足对人类的需要。其健康评价指标的筛选必须达到 3 个目标: 指标体系能够完整准确地反映和田河流域的健康状况; 能对流域生态系统的结构、功能、效益以及人类胁迫进行监测,反映自然、人类活动与流域系统健康变化之间的联系。 可以定期地为政府决策、科研及信息公开化提供流域系统

表 1 和田河流域中游生态系统健康评价指标体系

评价要素	生态安全	社会发展	人群健康	环境保障
单项指标	河流年径流深/ mm			河流城市断面水质
	土壤盐碱化率/ %	人口密度/ (人 · km ⁻²)	平均受教育年限/ a	工业三废排放达标率/ %
	荒漠化率/ %	恩格尔系数/ %	每万人拥有医生数/ 个	环保投资占 GDP 比重/ %
	土壤有机质含量/ %	农民人均纯收入(元/ 人)	人均预期寿命/ a	漫灌占灌溉比例/ %
	土壤厚度/ cm	万元 GDP 能耗/ t 标煤		植被覆盖度/ %
	净初级生产率/ (g · m ⁻² · a ⁻¹)			
	平均生物弹性指数/ %			

2.2.3 确定指标权重 评价指标的权重体现了各因子对流域生态环境健康状况的贡献大小。为了避免片面性和主观性,应当采用合理的技术方法来确定指标权重,以往的学者曾采用过特尔斐法、层次分析法、模糊数学法、聚类分析法、神经网络法、变异系数法等,并且都曾用实例计算验证这些方法。为了体现干旱区流域生态系统自身的特点,本文采用客观赋值的变异系数法^[22]确定权重 I_j ,具体算法为

$$I_j = [(\frac{\sigma_j}{\bar{x}_j}) / \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_i}{\bar{x}_i}] \times 100\%$$
 ,其中: σ_j , \bar{x}_j , I_j 分别

表示第 j 指标的标准差、均值和权重值

2.2.4 评价指数的计算方法 表 1 中用于度量生态健康状况的各项指标可分为两类:越大越健康的正向指标与越小越健康的负向指标。先对这两类指标的初始数据进行标准化处理,消除量纲不同带来的影响,并将所有指标数值转换为统一含义,然后用标准化处理后的评价指标值去定量分析区域生态系统健康的走势。指标标准化处理的具体公式为

对于正向指标的计算, $x_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \times x_{ij}$ [0,1]

对于负向指标的计算, $x_{ij} = \frac{x_{jmax} - x_{ij}}{x_{jmax} - x_{jmin}} \times x_{ij}$ [0,1]

式中: x_{ij} , x_{jmax} , x_{jmin} , x_{ij} ——第 i 年第 j 指标的原值、最大值、最小值和标准化后的数值。

根据标准化处理后的指标及其权重,第 i 年和和田河流域中游生态系统健康综合评价指数公式为

$$A_i = \sum_{j=1}^n I_j \times x_{ij}$$

式中: A_i —— i 年的健康综合评价指数,其他变量含义如前所释。

健康现状、变化及趋势的统计总结与解释报告。

2.2.2 指标体系构成 根据流域生态系统的基本内涵和上述设计原则,参考国内外已有成果,本研究所构建的和田河流域中游生态系统健康评价可通过生态安全、社会发展、环境保障、人群健康 4 个方面量度,19 个单项指标组成(表 1)。其中,生态安全的各项指标指示了系统的活力与组织结构,社会发展与人群健康的各项指标表达了系统的服务功能,环境保障的指标则体现了系统的恢复能力。

2.2.5 评价诊断标准 由以上步骤算得的生态系统健康综合评价指数值 A_i 在 0~1 之间。借鉴生态医学中对健康的分级标准,本文将和田河流域中游生态系统的健康状况划分为五级:很健康、健康、亚健康、不健康、很不健康。如表 2 所示。

表 2 和田河流域中游生态系统健康评价标准

生态系统健康评价值 A_i	生态系统健康状态
1.0~0.9	很健康
0.9~0.8	健康
0.8~0.5	亚健康
0.5~0.2	不健康
0.2~0	很不健康

3 和田河流域生态系统健康评价展望

本文所构建的框架仅是从较宏观的角度进行的设计,要想得出明确的评价结果,更加细致准确地诊断和田河流域生态系统的健康状况,还需做好以下三方面的工作^[23-25]:

3.1 关注不同时空尺度的影响

流域的上、中、下游地区,以及开发的不同阶段,其自然地理及服务功能存在着一定的差异,为了尽可能客观反映流域生态系统健康的实际情况,不同区域或不同时期所构建的评价指标体系侧重点将不可能完全一致。因此,需因地因时地修改调整指标体系。同时,处在某一特定阶段的流域开发具有相对的稳定性,作为客观描述、度量生态系统健康的指标体系在此阶段也就相对稳定。这种稳定性使我们有可能在特定的阶段对流域发展进行度量和调控,从而有利于流域朝向更健康的方向发展,避免开发

中的短期行为。近年来,塔里木河流域的综合整治活动开展频繁,从而也带动了和田河流域的生态恢复项目。通过比较干预前与干预后的流域条件,或者预期的和实际的流域条件,评估管理行为的有效性,可为决策者提供良好的基础数据资料和决策依据,从而提高和田河流域的综合管理水平。

3.2 科学处理某些指标难以量化的问题

表 1 中大部分指标可通过常规的物理、化学、生物学方法及野外调查测试和社会经济调查方法等来度量。但如果将流域的上中下游作为一个有机整体考虑来设计指标,往往会遇到一个难题,即某一指标,尽管它能够很好地反映出流域生态系统中某一方面或几方面间的相互关联,但用一般的统计方法将这一指标量化却比较困难。例如:流域不同系统间的能量、物质和物种流,流域自然生态系统间的协调度等等。此时,可对这些难于量化的指标作为一种模糊因子予以保留,利用模糊数学理论,将其作为一种可能性的指标纳入评价指标体系中,计算这些指标相对于某一具有明确量内涵的定性概念的隶属度,形成可操作性,发挥其健康诊断作用。

3.3 开展基于 3S 新技术的评价研究

和田河流域幅员辽阔,其上下游基本属于无人区,仅依靠搜集文献资料与实地调研显然难以适应动态监测的需求,也就难以针对流域存在的问题快速制定应对措施。将 GIS、GPS 和 RS 技术与流域健康评价相结合,将可以方便快捷地更新和田河流域生态系统的基础数据,及时分辨流域的景观空间格局以及土地利用变化演变趋势。因此,亟需建立一套基于 3S 技术的和田河流域生态系统健康评价体系,为流域管理提供更为科学宏观的基础数据和决策依据。

参考文献:

- [1] Rapport D J, What constitutes ecosystem health? [J] Perspectives in Biol and Medicine. 1989,33:120-132.
- [2] Schaeffer D J, Henricks E E, Kerster H W. Ecosystem Health: Measuring ecosystem health[J]. Environ. Man., 1988,12:445-455.
- [3] 傅伯杰,刘世梁,马克明.生态系统综合评价的内容与方法[J].生态学报,2001,21(11):1885-1892.
- [4] 马克名,孔红梅,关文彬,等.生态系统健康评价:方法与方向[J].生态学报,2001,21(12):2106-2116.
- [5] 黄和平,杨劫,毕军.生态系统健康研究综述与展望[J].环境污染与防治,2006,28(10):768-771.
- [6] Clements F E, Weaver J E, Hanson H C. Plant competition An analysis of community functions [J]. Washington DC:Carnegie Institute of Washington,1929.
- [7] Bird P M, Rapport D J, State of the Environmental Report for Canada[J]. Canadian Government Publishing Center,1986:264-265.
- [8] Harris H J, Harris V A, Regier H A. Importance of the nearshore area for sustainable redevelopment in the Great Lakes with observation on the Baltic Sea [J]. Ambio,1988,5:163-261.
- [9] Hilden M, Rapport D J. Four centuries of cumulative impacts on a Finnish river and its estuary: and ecosystem health approach [J]. Aquatic Ecosystem Health, 1993,2:261-275.
- [10] Rapport D J, Gaudet C L, Calow P. Evaluating and monitoring the health of large scale ecosystems[J]. Global Environment Change Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop,1993,28:5-39.
- [11] Dalsgaard J P T. Applying systems ecology to the analysis of integrated agriculture - aquaculture farms, NAGA[J]. The ICL ARMQ,1995,18(2):15-19.
- [12] 张志诚,欧阳华,肖风劲,等.生态系统健康研究现状及其定量化研究初探[J].中国生态农业学报,2004,12(3):184-187.
- [13] 宋轩,杜丽平,李树人,等.生态系统健康的概念、影响因素及其评价的研究进展[J].河南农业大学学报,2003,04(37):375-391.
- [14] 桑燕鸿,陈新庚,吴仁海,等.城市生态系统健康综合评价[J].应用生态学报,2006,17(7):1280-1285.
- [15] 赵臻彦,徐福留,詹巍,等.湖泊生态系统健康定量评价方法[J].生态学报,2005,25(6):1466-1474.
- [16] 龙笛.浅谈流域生态环境健康评价[J].北京水利,2005(5):6-9.
- [17] 刘国彬,胡维银,许明祥.黄土丘陵区小流域生态经济系统健康评价[J].自然资源学报,2003,18(1):44-49.
- [18] 姜付仁,刘树坤,陆吉康.流域可持续发展基本内涵[J].中国水利,2002(4):20-21.
- [19] 罗跃初,周忠轩,孙轶,等.流域生态系统健康评价方法[J].生态学报,2003,23(8):1607-1641.
- [20] 龙笛,张思聪.滦河流域生态系统健康评价研究[J].中国水土保持,2006(3):14-16.
- [21] 王让会,张惠珍,马映军.和田河流域生态脆弱性成因辨识[J].西北大学学报,2003,33(1):106-110.
- [22] 王薇,陈为峰.区域生态系统健康评价方法与应用研究[J].中国农学通报,2006,22(8):440-444.
- [23] 蔡为民,唐华俊,陈佑启,等.土地利用系统健康评价的框架与指标选择[J].中国人口·资源与环境,2004,14(1):31-35.
- [24] 许有鹏.干旱区水资源承载力综合评价研究:以新疆和田河流域为例[J].自然资源学报,1993,8(3):229-237.
- [25] 刘腊山,祖丽菲亚,黄晓勇.和田河流域景观空间格局演变的初步分析[J].新疆环境保护,2005,27(4):4-8.