

基于集对分析的区域生态文化健康评价 ——以云南省大理白族自治州为例

酆天昶¹, 彭建^{1,2*}, 刘焱序¹, 杨 旻², 陈 昕²

(1. 北京大学城市与环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871;

2. 北京大学深圳研究生院城市规划与设计学院, 城市人居环境科学与技术重点实验室, 广东 深圳 518055)

摘 要:生态文化健康是衡量区域自然生态和社会文化可持续发展的重要准则。本文以云南省生态城镇建设区——大理白族自治州为例, 基于生态—文化耦合系统可持续性视角构建生态文化健康评价指标体系, 采用集对分析和信息熵开展县域尺度定量评价, 并通过分析各县市自然、文化健康组合状况, 开展相应的管控发展战略分区。研究结果表明:大理州生态文化健康水平呈现西部高于东部、北部优于南部的整体特征, 云龙县生态文化健康水平为全州最高, 祥云县最低。根据各县市的生态文化健康因子组合特征将12个县市分为四类发展战略区, 即生态文化协同保护区、生态文化均衡发展区、生态恢复优先区、文化建设优先区。本文提出的生态文化健康评价指标体系对制定区域可持续发展战略具有重要的理论和实践意义。

关键词:生态文化健康; 集对分析; 发展战略分区; 大理白族自治州

1 引言

随着社会经济的发展, 人类活动对环境产生的影响范围从区域尺度扩展到地球的各个圈层, 大量的证据表明, 自然生态系统承受了巨大的压力, 生态系统部分功能出现了失调。这种失调主要表现在两方面:一是包括淡水、海洋、陆地生态系统在内的各种生态系统的活力在长期的人类活动作用下遭受了全球范围内的灾难性丧失;二是世界文化和语言活力的消失, 这一点鲜为人知但具有重大意义(Rapport et al, 2011)。而这种失调的对立面, 就是健康。一般来说, 人们往往容易识别受损生态系统的特征, 但却难以准确度量生态系统的健康程度, 生态系统健康评价由此引起学界关注, 为生态系统活力丧失评估界定了量化途径(Rapport, 1989)。

近30年来, 生态系统的健康水平已成为国内外宏观生态学者关注的热点问题(彭建等, 2007)。生

态系统健康研究也逐渐超出了对生态系统自身的描述, 不断深入到资源环境领域各个方面, 加强了对区域文化因素的考量, 并发展出一个新的研究方向——生态文化健康(Rapport et al, 2011; 刘焱序等, 2015)。然而, 生态文化健康作为一个解决资源环境问题新的综合途径, 至今尚无完整的评价框架和具有可操作性的评价体系。因此, 本文在对比生态系统健康和生态文化健康概念内涵的基础上, 以典型生态城镇建设区——云南省大理白族自治州(以下简称大理州)为例, 基于生态-文化耦合系统可持续性视角, 构建生态文化健康评价指标体系, 以期深入推动生态文化健康的概念理解及其定量评估。

2 从生态系统健康到生态文化健康

2.1 概念内涵

1971年由联合国教科文组织发起的《人与生物

收稿日期:2017-01;修订日期:2017-09。

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项经费课题(201311001-2)[Foundation: The Commonwealth Project of the Ministry of Land and Resources, No.201311001-2]

作者简介:酆天昶(1993-), 女, 山东德州人, 硕士研究生, 研究方向为景观生态与土地利用, E-mail: litianyigeo@foxmail.com。

通讯作者:彭建(1976-), 男, 四川彭州人, 副教授, 研究方向为综合自然地理学、景观生态与土地利用、生态系统综合评估, E-mail: jianpeng@urban.pku.edu.cn。

引用格式:酆天昶, 彭建, 刘焱序, 等. 2017. 基于集对分析的区域生态文化健康评价: 以云南省大理白族自治州为例[J]. 地理科学进展, 36(10): 1270-1280. [Li T Y, Peng J, Liu Y X, et al. 2017. Regional eco-cultural health assessment based on set pair analysis: A case study of Dali Bai Autonomous Prefecture in Yunnan Province[J]. Progress in Geography, 36(10): 1270-1280.]. DOI: 10.18306/dlkxjz.2017.10.009

圈计划》,将人与自然及其资源作为一个整体进行研究(刘建军等, 2002),标志着生态系统研究开始关注生态系统与人类活动的相互影响。“健康”的内涵是生态系统健康评估的核心问题与争论焦点(刘焱序等, 2015),各国学者对此进行了大量的理论探讨(Rapport et al, 1998; Fu et al, 2010; Bebianno et al, 2015)。其中,比较有代表性的包括: Rapport(1989)参照人类健康的定义类推出了生态系统健康这一概念,并认为生态完整性和生态系统的可持续性衡量一个生态系统健康状况的两大基本判据; Costanza 等(1992)从生态系统自身出发定义生态系统健康,认为一个健康的生态系统必须保持新陈代谢的活力,保持内部结构和组织,对外界的压力具有恢复能力。Rapport(1998)将生态系统健康定义为满足人类社会合理要求的能力和生态系统本身自我维持与更新的能力。其中,前者是后者的目标,而后者则是前者的基础。2004年,随着《Eco-Health》的创刊,标志着生态系统健康研究在欧美发达国家出现了向生态健康的转型(刘焱序等, 2015)。生态健康不同于传统意义的生态系统健康研究,更为重视研究具体的生态过程,并侧重关注生态格局或过程造成的人类健康问题。由于人类作为整个自然系统中不可分离的重要组成部分,基于社会—自然耦合系统视角,人类社会的健康也逐渐被纳入生态健康评价范畴。例如,2015年中国生态学会与美国生态学会联合主办的《Ecosystem Health and Sustainability》,即着眼于生态系统健康的可持续性(Lu et al, 2015)及对人类福祉影响(Yang et al, 2015)。

随着对“健康”概念认知的不断深入,和对人类生存的复杂系统更加深刻的认识,近年来学者们开始关注人类文化健康,如 Rapport 等(2011)首次提出生态文化健康纳入生态系统健康的范畴,并将其定义为:在不损害任何重要的生态过程和文化生命力前提下,达成自然与文化的动态交互与协同进化。其中,“文化”一词源于广义的人类学定义,泛指世界观、信仰、制度、知识体系和语言等人类活动产生的社会经济过程及其结果,可以理解为包含人类健康和人类适应能力的各种物质和精神在内的概念。人类在漫长的发展史中,一直与自然环境有着紧密的交互联系,但很难精确地将自然环境和人类文化相分割,两者既是一个整体又相互影响。人类

活动对自然环境的影响明显而深刻,对社会文化的影响却是潜移默化的。在特定的自然环境下会产生具有特色的文化,自然环境的改变影响着文化传承与繁荣(张国庆, 2003)。文化及经济制度的变化会直接作用于自然环境,社会的发展会改变自然景观和生态环境。因此,将自然和文化视为一个“生态—文化系统”综合体显得更为合适。全球城市化背景下逐渐凸显的资源环境问题,融合了复杂的自然与社会相互作用机制,对“生态文化健康”的研究,无疑是对解决资源环境问题、实现可持续发展目标的有益探索(刘焱序等, 2015),已引起国际学界的广泛关注(Lisitz et al, 2016)。

2.2 评估方法与指标

传统的生态系统健康评价一般包括指示物种法和指标体系法(马克明等, 2001)。其中,指示物种法虽简捷易行,但由于指标指向的不明确性(如筛选标准及其指示作用的强弱),加之并未考虑社会经济和人类健康因素,因此难以全面地反映社会—生态系统的健康状况(戴全厚等, 2006);同时,区域往往是多种生态系统的地域镶嵌体,难以找到适合的指示物种(群)进行生态系统健康监测。指标体系法则根据生态系统的结构、功能与服务特征,以及社会经济和景观格局、土地利用指标(马克明等, 2001),构建综合评价指标体系开展系统、全面的生态系统健康评估,应用广泛(周文华等, 2005)。因此,区域生态系统健康评价大多采用指标体系法,并可依据指标体系构建方法原理的不同细分出 VOR 综合指数法、层次分析法、主成分分析法、健康距离法等多种方法(杨斌等, 2010)。而在众多评价方法中,学界公认的、也是最常使用的生态系统健康评价方法是 Costanza 等(1992)提出的“活力(Vigor)—组织力(Organization)—恢复力(Resilience)评价体系”。其中,活力表征系统的生产能力、初级生产力或生物量,一般用总初级生产力、净初级生产力、生态系统生产总值等指标进行测度(肖风劲, 欧阳华, 傅伯杰, 等, 2003);组织力指示系统各组分间的交互作用以及系统的多样性,一般通过多样性指标、各组分间的交互程度等指标衡量(Ulanowicz, 1986);恢复力表示在压力状态下,系统维持结构和功能的能力,一般用种群恢复时间、生长范围等指标衡量其化解干扰的能力(Bayne, 1985),一个健康的系统拥有从小规模扰动中恢复的能力(Costanza

et al, 1999)。

在国内外的实证研究中,学者们选取不同的指标体系表征活力—组织力—恢复力。Yan等(2016)对河流流域进行生态系统评价时分别用净初级生产力(NPP)、Shannon多样性指数和聚集度指数、土地利用类型赋值等方法来表征活力、组织力和恢复力。Li等(2013)运用修正的VOR体系对牧场生态系统健康进行评估,选取光合作用率、土壤有机碳、微生物生物量作为反映活力的指标,通过生物多样性、原生植物所占比例、植物种类组成对组织力进行刻画,选取承载力和植被覆盖率的变化来衡量恢复力。谢花林等(2005)在评价农业生态系统健康时选取NPP利用率、土地人口承载度、单位面积农业净产值和农民人均纯收入反映活力;选用植被覆盖度、水土流失率、土地沙化率、水资源供需比、系统生产优势度、人口密度、农村劳动者素质表征组织力;从系统稳定性指数、抗灾度、有效灌溉面积率、农业支出比例和单位面积耕地化肥农药农膜负荷等方面刻画恢复力。刘焱序等(2015)在林区生态系统健康评价中选用平均树高、郁闭度、平均下木高、下木盖度、平均草本植被高度、草本植被盖度等指标度量树种活力;用连通度指数反映组织力;从龄级、土地分类、树种、土层厚度、坡度、坡向、天保类别和起源衡量恢复力的强弱。在进行生态系统健康评价时,针对研究区域的特征可以选取多种指标体系法组合使用,或者在指示物种采样结果的基础上建立指标体系,而不局限于某一套固定体系。与健康的生态系统特征相类似,Rapport(2011)认为,生态文化健康的关键特征亦可概括为活力、组织力、恢复力三方面,其中,活力指维持系统本身自然和文化潜在生命力不被削弱的的能力,组织力指文化制度与维持生物组分的一致性,恢复力指自然和社会系统面向外部干扰的应对机制和恢复能力。

2000年以来,中国学术界对生态系统健康的关注度持续增加,并对生态系统健康的概念和评估方法进行了大量解析和探讨(傅伯杰等, 2001; 肖风劲, 欧阳华, 牛海山, 2003; 张志诚等, 2005)。区域作为宏观生态系统管理研究与实践的最适宜空间尺度,是进行生态系统健康及其评价研究的关键尺度。近年来区域生态系统健康评价不断涌现,并逐步成为当前我国生态系统健康评价的重要研究领域(彭建等, 2007)。其中,既包括特定类型生态系统

区域尺度的健康评价,如湿地(崔保山等, 2002; 赵旭阳等, 2008)、草地(郝璐等, 2008)、河流(唐涛等, 2002; 李春晖等, 2008)、森林(陈高等, 2002; 肖风劲, 欧阳华, 傅伯杰, 等, 2003)等;亦包括以多种生态系统空间集成的区域/景观(高占国等, 2010)、城市(郭秀锐等, 2002; 陈克龙等, 2010)为基本评估单元的生态系统健康评价。可以看出,将区域作为评价对象,与Rapport所倡导的生态文化健康这个融合自然与文化多指标的概念相契合,中国学者开展的区域生态系统健康评价是对国际前沿领域的本地化探索。

3 研究区与研究方法

3.1 研究区概况

大理州位于云南省中部偏西,地理位置为 $98^{\circ}52'E\sim 101^{\circ}03'E$ 、 $24^{\circ}41'N\sim 26^{\circ}42'N$,土地总面积 29459 km^2 ,地处云贵高原与横断山脉结合部,即低海拔到高海拔的过渡带上,地势起伏较大,西北高、东南低(图1)。全州在点苍山以西为高山峡谷区,点苍山以东、祥云以西为中山陡坡地形;山区面积占全州土地总面积的93.4%,坝区面积仅占6.6%。北部剑川县与丽江市、兰坪县交界处的雪斑山为州内最高峰,最低点为云龙县怒江边的丙栗坝,海拔高差3585 m。大理州属低纬高原季风气候,雨热同期、干冷同季,立体气候明显。州内大小河流有160多条,呈羽状遍布全州,主要属金沙江、澜沧江、怒江、红河四大水系。大理州现辖1市11县,即大理市与宾川、祥云、弥渡、永平、云龙、洱源、剑川、鹤庆8个县,以及漾濞、巍山、南涧3个少数民族自治县,是中国西南边疆开发较早的地区之一。全州植被类型多样,野生动植物种类繁多,民族文化多元丰富,自然景观和人文景观相互交融,是全球生物多样性热点区域之一(Peng et al, 2008)。然而,近年来伴随着经济发展和资源开发引起的土地利用变化,加之原本就脆弱敏感的自然生态基底,局部区域出现野生动植物生境减少、生境质量退化的趋势(Peng et al, 2008, 2012)。

由于大理州山地多平坝少,可利用的平地资源有限,作为滇西重要的经济、文化中心,大理州濒临苍山、洱海,生态保护形势伴随经济开发更为严峻。因此,大理州特有的自然生态多样性、多元文化传承

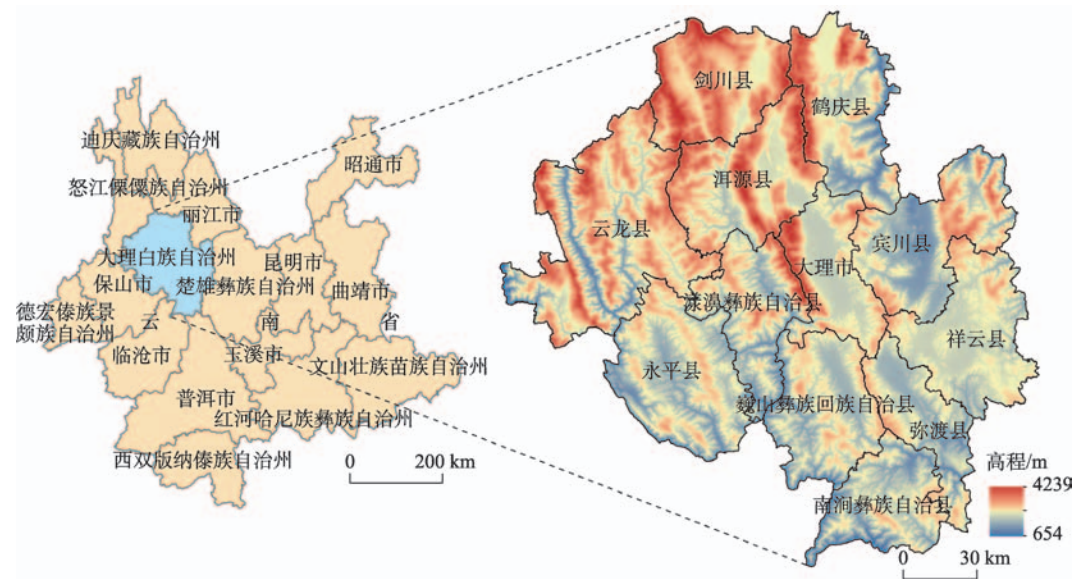


图1 大理白族自治州地理位置
Fig.1 Location of Dali Bai Autonomous Prefecture

等成为城镇开发过程中需要重点关注的焦点问题。

3.2 数据来源

本文使用数据主要包括净初级生产力、土地利用、归一化植被指数、降水、蒸散及社会经济统计等数据。其中,NPP数据为2010年的MOD17数据集,源自 Numerical Terradynamic Simulation Group,分辨率为1 km;土地利用数据为2010年春季Landsat ETM+影像解译结果,影像源自国际科学数据服务平台;NDVI数据源自地理空间数据云平台2001-2010年的MODND1D数据集,分辨率为500 m;降水数据源自中国气象科学数据共享网的多年平均站点数据集;蒸散数据为2010年的MOD16数据集,源自 Numerical Terradynamic Simulation Group,分辨率为1 km;社会经济数据来自于大理州及各县市2011年的统计年鉴,以及全国第六次人口普查数据。

3.3 生态文化健康评价指标体系

本文从自然健康和文化健康两个目标层面解构生态—文化耦合系统,在活力、组织力、恢复力三个维度展开生态—文化耦合系统健康水平的研究。基于研究区自然生态与社会经济现状特征,秉承同时注重生态和社会健康的原则,构建大理州县域生态文化健康评估指标体系(表1)。其中,活力即系统的活性、新陈代谢能力和初级生产力,既体现在自然系统的生产能力,通过植物生产和物种组成

表1 大理州生态文化健康评价指标体系

Tab.1 Index system for eco-cultural health assessment					
目标层	准则层	要素层	指标层	权重	关联属性
自然健康	活力	植物生产	NPP	0.0019	+
		物种组成	生物多样性	0.1232	+
	组织力	景观结构	景观多样性	0.0091	+
		水系结构	河网密度	0.1217	+
	恢复力	植被波动	NDVI 偏移率	0.0544	+
		干旱程度	干旱指数	0.0359	-
文化健康	活力	人口迁移	人口迁入比	0.1918	+
		民族构成	少数民族人口占比	0.1562	+
	组织力	产业结构	第三产业比重	0.0324	+
		文化组织	万人文化机构数	0.1088	+
	恢复力	环保投入	环保投入占 GDP 比重	0.1435	+
		文教卫生投入	文教卫投入占财政总支出比重	0.0211	+

表征;又表现于社会文化系统的活跃程度,用人口迁移和民族构成进行衡量。组织力指生物组分与文化体制之间支持、交互与综合的统筹能力,包括系统组分的多样性、连通性等特征;景观结构和水系结构是对自然系统结构的表征;产业结构和文化组织则侧重反映社会文化、经济的组织状况。当自然灾害或人类活动对生态—文化耦合系统产生影响和干扰时,系统自身有一定的恢复能力来应对所遭遇的扰动,用植被波动和干旱程度测度这种自然系

统的能力大小;人类活动能够增强对扰动的防御及恢复能力,可选用环保投入、文教卫生投入等指标衡量人类活动对社会文化系统恢复力间接的促进作用。

3.4 集对分析

将具有某种联系的两个集合看成一个集对,按照集对的某一特性,建立其同一、差异、对立的联系度,并据此展开分析的方法,即为集对分析(赵克勤等, 1996):

$$\mu = a + bi + cj \quad (1)$$

式中, μ 代表集对的联系度; a 、 b 、 c 分别表示集对的同一度、差异度和对立度; i 表示差异度系数,取值范围为 $[-1, 1]$; j 为对立度系数,恒定值为 -1 。

利用集对分析方法开展生态文化相对健康状况评价,主要步骤如下:①设定 $S=\{s_k\}(k=1, 2, \dots, p)$ 为被评价区域的集合, $M=\{m_r\}(r=1, 2, \dots, n)$ 为评价指标组成的指标集;②定义 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_r, \dots, u_n\}$ 为最优指标组成的集合, u_r 为指标 m_r 的最优值;③计算区域 s_k 的各指标与最优集的同一度 a_{kr} 和对立度 c_{kr} , 结合权重加权求和得到 s_k 与 U 的平均同一度 a_k 和平均对立度 c_k ;④根据下式计算各区域指标集与最优集的相对贴适度 r_k , 该值越大表示生态文化健康状况越好(苏美蓉等, 2010)。计算公式为:

$$r_k = \frac{a_k}{a_k + c_k} \quad (2)$$

通过集对分析方法,可明确城市之间的相对健康状况。同时,可将多个评价指标系统合成一个与最优评价集的相对贴适度用于评价生态文化健康状况差异,从而减少人为确定评价标准时的主观性和静态性(苏美蓉等, 2010)。集对分析对不确定性加以客观承认、系统刻画、具体分析(韩瑞玲等, 2012),具有鲜明的辩证性,已在评价、管理、预测和规划等研究领域得到广泛应用(苏美蓉等, 2006; 苏飞等, 2010; 韩增林等, 2014)。

将集对分析用于多属性评价时,对各评价对象在各个指标的相对情况进行比较(苏美蓉等, 2010)。因此,不同评价对象之间差异相对较大的指标,其所包含的信息量更多,在相对比较中所起的作用更大,权重系数也就更大。这符合信息量权重的特点,即由于各指标所包含信息量的不同而对被评价方案的作用大小有区别,据此赋予相应的量化值(张萍等, 2016)。信息熵是信息量的一种常见表达

方式,可用于确定各指标的权重系数。通过文献查阅、资料统计、部门调研、遥感数据测算等方式,收集生态文化健康各评价指标值,利用信息熵模型计算得到各指标权重(表1)。

4 结果分析

4.1 生态文化活力、组织力与恢复力

基于集对分析分别评估大理州各县市自然健康和文化健康的活力、组织力、恢复力。由图2可见,各县市在生态文化健康准则层水平上存在较大的空间差异及准则层非均衡性。对于自然健康准则层,云龙县活力突出,巍山县组织力较好,南涧县恢复力最强;就文化健康准则层而言,大理市活力最高,漾濞县组织力较好,鹤庆县和洱源县的恢复力强。祥云县、弥渡县和永平县在上述6个分准则层面表现都不尽人意,尤其是祥云县的文化活力和文化恢复力、弥渡县的自然活力、文化活力和文化恢复力,以及永平县的自然组织力和文化恢复力,都处在较低水平。剑川县、漾濞县、宾川县的生态文化健康水平较为均衡,各准则层之间差别不显著。

4.2 生态文化健康水平

采用集对分析分别计算出12个县市2010年两个目标层——自然健康、文化健康与最优评价集的相对贴适度 r_k 值(图3)。对比来看,云龙、巍山、宾川和剑川的自然健康 r_k 值均大于0.5,是各县市中自然健康状况最好的区域;大理、永平和鹤庆自然健康 r_k 值最小(低于0.4),属于自然健康条件很差的区域;其他各县市的自然健康状况处于中等水平。云龙、剑川和鹤庆的文化健康 r_k 值大于0.6,属于文化健康水平最高的区域;洱源、漾濞、大理和南涧的文化健康 r_k 值也大于0.5,是文化健康水平次好的县;永平、巍山、宾川、弥渡、祥云的文化健康水平依次变差。总的来说,大理州生态文化健康水平的 r_k 值空间分布情况呈现出西部高于东部、北部优于南部的整体特征(图4)。云龙县和剑川县生态文化健康相对贴适度高于0.6,为全州最优区域;洱源县、鹤庆县、漾濞县、大理市的生态文化健康水平与最优集的相对贴适度都大于0.5,属于生态文化健康水平较高的区域;而弥渡县、祥云县都小于0.4,生态文化健康情况为全州最差。其他各县市(南涧县、巍山县、永平县、宾川县) r_k 值界于0.4~0.5之间,生态文化健康情况中等。

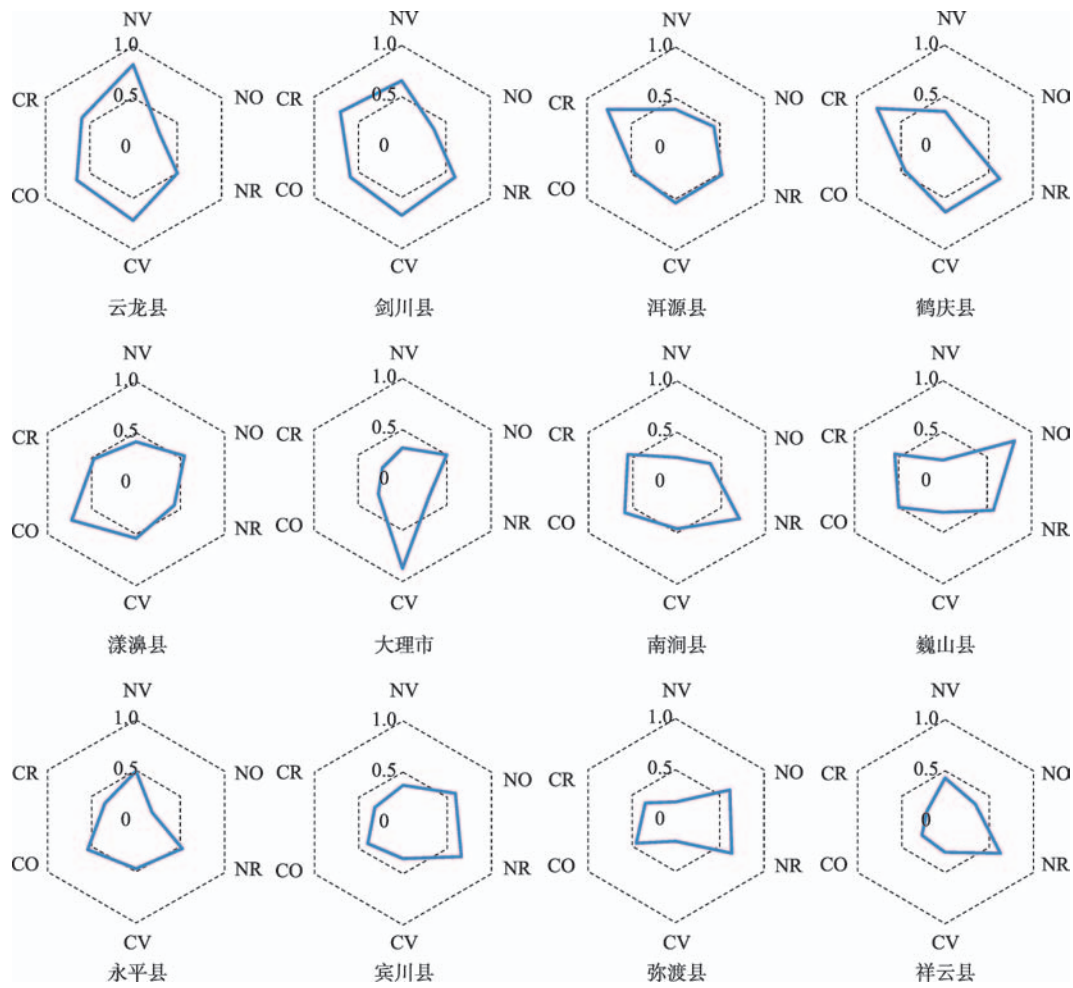


图2 大理州分县市生态文化健康准则层构成

(NV、NO、NR分别代表自然健康活力、组织力、恢复力;CV、CO、CR分别代表文化健康活力、组织力、恢复力)

Fig.2 Relative states of each criteria layer of eco-cultural health for counties in Dali Bai Autonomous Prefecture

(NV, NO, and NR represent vigor, organization, and resilience of natural (physical environment) health, respectively; and CV, CO, and CR represent vigor, organization, and resilience of cultural (social environment) health, respectively)

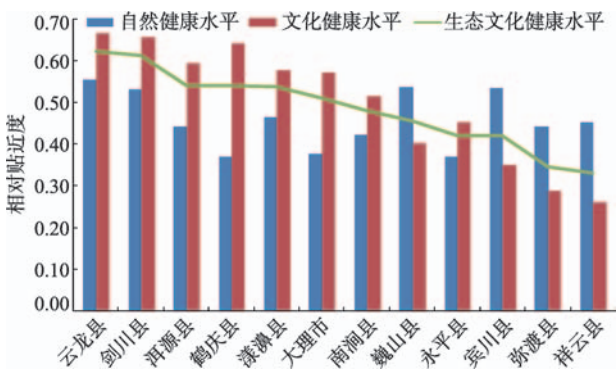


图3 大理州分县市生态文化健康水平

Fig.3 Relative states of eco-cultural health and its factors in the counties and the urban district of Dali Bai Autonomous Prefecture

4.3 生态—文化耦合系统发展战略分区

分别将生态文化健康、自然健康、文化健康相对贴近度指数分为三个等级,基于各县市三类健康状况的组合特征,可以将大理州划分为四大生态—文化耦合系统发展战略类型区(图5):

(1) 生态文化协同保护区。包括云龙县、剑川县,生态文化健康水平全州最佳($r_k > 0.6$),两个目标层的 r_k 值也都属于全州最优的级别(自然健康 $r_k > 0.5$,文化健康 $r_k > 0.6$)。该区域位于地势起伏的地槽褶皱区,土地覆被以林地为主,植被覆盖率高,生态本底条件好。同时,在自然环境的约束下,人类活动受到限制并保持一定强度,因此在区域发展过程中宜强调对现有健康状态的维持,继续重视生态

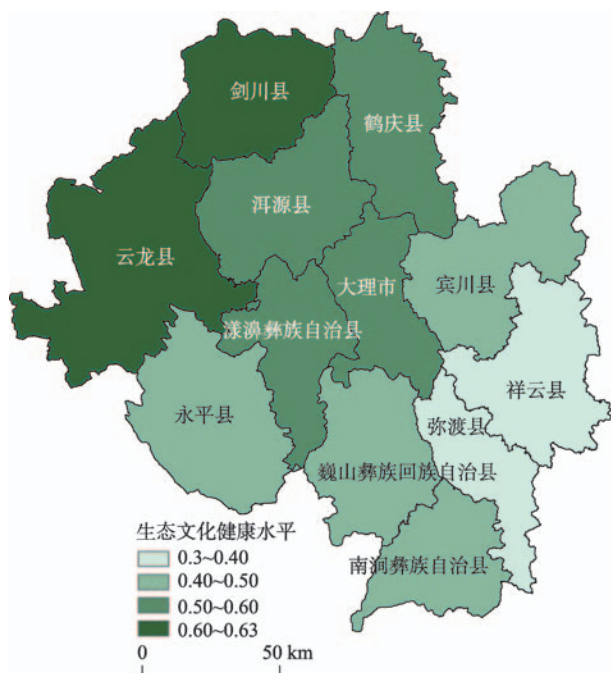


图4 大理州生态文化健康空间格局

Fig.4 Spatial pattern of eco-cultural health in Dali Bai Autonomous Prefecture



图5 大理州生态—文化耦合系统发展战略分区

Fig.5 Regional development zoning of eco-cultural coupled system in Dali Bai Autonomous Prefecture

保护,保持社会稳定发展。

(2) 生态文化均衡发展区。涵盖洱源县、漾濞县、南涧县和巍山县,生态文化健康、自然健康、文

化健康都位于全州中等水平($0.4 < r_k < 0.6$)。该区域以山地为主,森林受人类活动影响较大,经济发展滞后,未来应将自然生态保护和繁荣发展放在同等重要的位置,并在经济发展的过程中注重对国家级自然保护区的科学管理、提升管理绩效,加大环保和文教卫产业投入。

(3) 生态恢复优先区。包括鹤庆县、大理市和永平县,三个县市的生态文化健康总体水平中等($0.4 < r_k < 0.6$),但自然健康水平为全州最差($r_k < 0.4$)。大理市和鹤庆县城市发展水平相对较高,旅游资源丰富,民族文化活力较强,政府对文教卫等产业的投入较大,文化健康处于全州领先的水平;但由于人类活动较强,对生态环境的影响剧烈,因此在发展中应严格控制建设用地扩张,推进绿色发展,恢复自然生态健康。永平县森林覆盖率较高,地势较云龙和剑川县相对平缓,开发难度相对较低,但旅游业发展给当地带来了较为严重的生态破坏,导致地表植被破碎度较高,今后需要重点关注森林生态系统的恢复。

(4) 文化建设优先区。包括宾川县、弥渡县和祥云县,均为地势较平坦的城镇集聚区,但生态文化健康水平较差($r_k < 0.5$),尤其是文化健康水平为全州最差($r_k < 0.4$)。上述三个县的少数民族人口都较少,由于宾川县的文教卫事业投入较少,祥云县第三产业占比较低且文化机构数较少,制约了文化健康水平的提高,今后需要给予更多政策扶持,促进社会经济文化的快速发展。

5 结语

生态系统健康是满足人类需求的必要条件(朱建刚等, 2010),此概念既强调自然生态系统的基础特质,亦高度关注人类福祉在生态系统健康评估与管理中的核心指引。但是,传统的生态系统健康研究更多关注自然生态系统在全球环境变化与人类活动影响下的健康状态,而缺乏与人类社会维度的耦合关联研究。全球城市化背景下人类活动对自然生态系统的作用强度显著增强,自然生态系统与人类社会系统高度耦合、互相影响(彭建等, 2016);因此,生态文化健康作为衡量生态—文化耦合系统健康程度的标志应运而生。近年来,尽管在区域/城市生态系统健康研究领域,已有学者尝试探讨社会

经济系统与自然生态系统的交互影响,但尚缺乏自然生态健康与社会文化健康的耦合关联分析。生态文化健康是人地耦合系统视角下对生态系统健康概念的进一步拓展,更加注重自然生态过程与社会经济过程的统一。因此,生态文化健康可以视为区域可持续发展的多维度综合集成指标。

本文依循“活力—组织力—恢复力”评估框架,将文化健康评价纳入了传统的自然生态系统健康评价体系,通过民族构成、文化组织多样性以及文教卫投入等指标定量评估县域文化健康水平。研究表明,大理州生态文化健康水平呈现西高东低、北优南劣的整体空间分异特征,云龙县生态文化健康水平为全州最高,祥云县最低;基于生态文化健康指数及其分解目标构成情况,大理州生态—文化耦合系统发展战略划分为四大类型区,即生态文化协同保护区(云龙县、剑川县)、生态文化均衡发展区(洱源县、漾濞县、南涧县和巍山县)、生态恢复优先区(鹤庆县、大理市和永平县)、文化建设优先区(弥渡县、宾川县和祥云县)。

本文利用集对分析方法进行健康水平高低的定量评判,可实现将多个评价指标系统合成为一个最优评价集,辨析不同评估单元与最优评价集的相对贴适度,以反映其健康水平,从而减少确定评价标准时的主观性。然而,集对分析方法更偏重对于评价单元相对差异的评判,缺乏相对差异的阈值设定。此外,生态文化健康概念虽已提出6年多,但对其概念认知尚处于初级阶段,迄今尚未建立定量评估模型及框架。本文基于云南省大理州的个案分析,仅从生态—文化耦合系统“活力—组织力—恢复力”视角提出一个初步的定量评估指标体系,以期引起更多学者的关注;而如何在生态文化健康评价中凸显文化因子和生态系统要素的交互关系、明确表征指标之间的耦合关联,仍有待不断完善理论方法并进行个案研究。

参考文献(References)

陈高, 代力民, 范竹华, 等. 2002. 森林生态系统健康及其评估监测[J]. 应用生态学报, 13(5): 605-610. [Chen G, Dai L M, Fan Z H, et al. 2002. On forest ecosystem health and its evaluation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 13(5): 605-610.]

陈克龙, 苏茂新, 李双成, 等. 2010. 西宁市城市生态系统健

康评价[J]. 地理研究, 29(2): 214-222. [Chen K L, Su M X, Li S C, et al. 2010. The health assessment of the urban ecosystem of Xining City[J]. Geographical Research, 29(2): 214-222.]

崔保山, 杨志峰. 2002. 湿地生态系统健康评价指标体系 I: 理论[J]. 生态学报, 22(7): 1005-1011. [Cui B S, Yang Z F. 2002. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands I: A theoretical framework [J]. Acta Ecologica Sinica, 22(7): 1005-1011.]

戴全厚, 刘国彬, 田均良, 等. 2006. 侵蚀环境小流域生态经济系统健康定量评价[J]. 生态学报, 26(7): 2219-2228. [Dai Q H, Liu G B, Tian J L, et al. 2006. Health diagnoses of eco-economy system in Zhifanggou small watershed on typical erosion environment[J]. Acta Ecologica Sinica, 26(7): 2219-2228.]

傅伯杰, 刘世梁, 马克明. 2001. 生态系统综合评价的内容与方法[J]. 生态学报, 21(11): 1885-1892. [Fu B J, Liu S L, Ma K M. 2001. The contents and methods of integrated ecosystem assessment (IEA)[J]. Acta Ecologica Sinica, 21(11): 1885-1892.]

高占国, 朱坚, 翁燕波, 等. 2010. 多尺度生态系统健康综合评价: 以宁波市为例[J]. 生态学报, 30(7): 1706-1717. [Gao Z G, Zhu J, Weng Y B, et al. 2010. Comprehensive assessment of ecosystem health on multiple scales: A case study for Metropolitan Area of Ningbo[J]. Acta Ecologica Sinica, 30(7): 1706-1717.]

郭秀锐, 杨居荣, 毛显强. 2002. 城市生态系统健康评价初探[J]. 中国环境科学, 22(6): 525-529. [Guo X R, Yang J R, Mao X Q. 2002. Primary studies on urban ecosystem health assessment[J]. China Environmental Science, 22(6): 525-529.]

韩瑞玲, 佟连军, 佟伟铭, 等. 2012. 基于集对分析的鞍山市人地系统脆弱性评估[J]. 地理科学进展, 31(3): 344-352. [Han R L, Tong L J, Tong W M, et al. 2012. Research on vulnerability assessment of human-land system of Anshan City based on set pair analysis[J]. Progress in Geography, 31(3): 344-352.]

韩增林, 夏雪, 林晓, 等. 2014. 基于集对分析的中国海洋战略性新兴产业支撑条件评价[J]. 地理科学进展, 33(9): 1167-1176. [Han Z L, Xia X, Lin X, et al. 2014. Quantitative evaluation of supporting conditions of emerging strategic marine industries in China based on set pair analysis [J]. Progress in Geography, 33(9): 1167-1176.]

郝璐, 王静爱, 张化. 2008. 北方草地畜牧业生态系统健康综

- 合评价与诊断[J]. 生态学报, 28(4): 1456-1465. [Hao L, Wang J A, Zhang H. 2008. Comprehensive assessment and diagnosis of the health of animal husbandry ecosystems in North China pastures[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 28(4): 1456-1465.]
- 李春晖, 崔崑, 庞爱萍, 等. 2008. 流域生态健康评价理论与方法研究进展[J]. 地理科学进展, 27(1): 9-17. [Li C H, Cui W, Pang A P, et al. 2008. Progress on theories and methods of watershed eco-health assessment[J]. *Progress in Geography*, 27(1): 9-17.]
- 刘建军, 王文杰, 李春来. 2002. 生态系统健康研究进展[J]. 环境科学研究, 15(1): 41-44. [Liu J J, Wang W J, Li C L. 2002. Study evolution of ecosystem health[J]. *Research of Environmental Sciences*, 15(1): 41-44.]
- 刘焱序, 彭建, 汪安, 等. 2015. 生态系统健康研究进展[J]. 生态学报, 35(18): 5920-5930. [Liu Y X, Peng J, Wang A, et al. 2015. New research progress and trends in ecosystem health[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 35(18): 5920-5930.]
- 刘焱序, 徐光, 姜洪源, 等. 2015. 东北林区生态系统服务与健康协同分析[J]. 地理科学进展, 34(6): 761-771. [Liu Y X, Xu G, Jiang H Y, et al. 2015. Synergy between ecosystem services and ecosystem health in the forest area of Northeast China[J]. *Progress in Geography*, 34(6): 761-771.]
- 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 2001. 生态系统健康评价: 方法与方向[J]. 生态学报, 21(12): 2106-2116. [Ma K M, Kong H M, Guan W B, et al. 2001. Ecosystem health assessment: Methods and directions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 21(12): 2106-2116.]
- 彭建, 胡熠娜, 吕慧玲, 等. 2016. 基于要素—结构—功能的生态功能分区: 以大理白族自治州为例[J]. 生态学杂志, 35(8): 2251-2259. [Peng J, Hu Y N, Lv H L, et al. 2016. Ecological function zoning based on element-structure-function: A case study in Dali Bai Autonomous Prefecture[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 35(8): 2251-2259.]
- 彭建, 王仰麟, 吴健生, 等. 2007. 区域生态系统健康评价: 研究方法进展[J]. 生态学报, 27(11): 4877-4885. [Peng J, Wang Y L, Wu J S, et al. 2007. Evaluation for regional ecosystem health: Methodology and research progress[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 27(11): 4877-4885.]
- 苏飞, 张平宇. 2010. 基于集对分析的大庆市经济系统脆弱性评价[J]. 地理学报, 65(4): 454-464. [Su F, Zhang P Y. 2010. Vulnerability assessment of petroleum city's economic system based on set pair analysis: A case study of Daqing City[J]. *Acta Geographica Sinica*, 65(4): 454-464.]
- 苏美蓉, 杨志峰, 陈彬. 2010. 基于生命力指数与集对分析的城市生态系统健康评价[J]. 中国人口·资源与环境, 20(2): 122-128. [Su M R, Yang Z F, Chen B. 2010. Urban ecosystem health assessment based on vitality index and set pair analysis[J]. *China Population, Resources and Environment*, 20(2): 122-128.]
- 苏美蓉, 杨志峰, 王红瑞, 等. 2006. 一种城市生态系统健康评价方法及其应用[J]. 环境科学学报, 26(12): 269-274. [Su M R, Yang Z F, Wang H R, et al. 2006. A kind of method and its application for urban ecosystem health assessment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 26(12): 269-274.]
- 唐涛, 蔡庆华, 刘建康. 2002. 河流生态系统健康及其评价[J]. 应用生态学报, 13(9): 1191-1194. [Tang T, Cai Q H, Liu J K. 2002. River ecosystem health and its assessment[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 13(9): 1191-1194.]
- 肖凤劲, 欧阳华, 傅伯杰, 等. 2003. 森林生态系统健康评价指标及其在中国的应用[J]. 地理学报, 58(6): 803-809. [Xiao F J, Ouyang H, Fu B J, et al. 2003. Forest ecosystem health assessment indicators and application in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 58(6): 803-809.]
- 肖凤劲, 欧阳华, 牛海山. 2003. 生态系统健康与相关概念的逻辑关系[J]. 生态学杂志, 22(2): 56-59. [Xiao F J, Ouyang H, Niu H S. 2003. Logical interrelations between ecosystem health and its related notions[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 22(2): 56-59.]
- 谢花林, 李波, 王传胜, 等. 2005. 西部地区农业生态系统健康评价[J]. 生态学报, 25(11): 3028-3036. [Xie H L, Li B, Wang C S, et al. 2005. Agroecosystem health assessment in western China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 25(11): 3028-3036.]
- 杨斌, 隋鹏, 陈源泉, 等. 2010. 生态系统健康评价研究进展[J]. 中国农学通报, 26(21): 291-296. [Yang B, Sui P, Chen Y Q, et al. 2010. Progress in ecosystem health assessment[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 26(21): 291-296.]
- 张国庆. 2003. 生态环境对辽代契丹习俗文化的影响[J]. 文史哲, (5): 26-30. [Zhang G Q. 2003. The influence of ecological environment on the custom culture of the Qidan in the Liao Dynasty[J]. *Journal of Literature, History and Philosophy*, (5): 26-30.]
- 张萍, 江文萍, 邓晓龙, 等. 2016. 基于地性线分级的DEM信息量计算方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 39(7): 27-

- 30, 33. [Zhang P, Jiang W P, Deng X L, et al. 2016. Research on the calculation method of the DEM information measurement based on the grading of the topographic characteristic lines[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 39(7): 27-30, 33.]
- 张志诚, 牛海山, 欧阳华. 2005. “生态系统健康”内涵探讨[J]. *资源科学*, 27(1): 136-145. [Zhang Z C, Niu H S, Ouyang H. 2005. Ecosystem health: Concept analysis[J]. *Resources Science*, 27(1): 136-145.]
- 赵克勤, 宣爱理. 1996. 集对论: 一种新的不确定性理论方法与应用[J]. *系统工程*, 14(1): 18-23, 72. [Zhao K Q, Xuan A L. 1996. Set pair theory: A new theory method of non-define and its applications[J]. *Systems Engineering*, 14(1): 18-23, 72.]
- 赵旭阳, 高占国, 韩晨霞, 等. 2008. 基于生态复杂性的湿地生态系统健康评价: 以石家庄地区滹沱河岗黄段为例[J]. *地理科学进展*, 27(4): 61-67. [Zhao X Y, Gao Z G, Han C X, et al. 2008. Evaluation of wetland ecosystem health based on the ecological complexity: A case study of the wetland of Hutuo River from Gangnan reservoir to Huangbizhuang reservoir, Shijiazhuang, China[J]. *Progress in Geography*, 27(4): 61-67.]
- 周文华, 王如松. 2005. 基于熵权的北京城市生态系统健康模糊综合评价[J]. *生态学报*, 25(12): 3244-3251. [Zhou W H, Wang R S. 2005. An entropy weight approach on the fuzzy synthetic assessment of Beijing urban ecosystem health, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 25(12): 3244-3251.]
- 朱建刚, 余新晓, 甘敬, 等. 2010. 生态系统健康研究的一些基本问题探讨[J]. *生态学杂志*, 29(1): 98-105. [Zhu J G, Yu X X, Gan J, et al. 2010. Major issues in ecosystem health research[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 29(1): 98-105.]
- Bayne B L. 1985. The effects of stress and pollution on marine animals[M]. New York, NY: Praeger.
- Bebiano M J, Pereira C G, Rey F, et al. 2015. Integrated approach to assess ecosystem health in harbor areas[J]. *Science of the Total Environment*, 514: 92-107.
- Costanza R, Mageau M. 1999. What is a healthy ecosystem[J]. *Aquatic Ecology*, 33(1): 105-115.
- Costanza R, Norton B G, Haskell B D. 1992. Ecosystem health: New goals for environmental management[M]. Washington, DC: Island Press.
- Fu B J, Li S G, Yu X B, et al. 2010. Chinese ecosystem research network: Progress and perspectives[J]. *Ecological Complexity*, 7(2): 225-233.
- Li Y Y, Dong S K, Wen L, et al. 2013. Three-dimensional framework of vigor, organization, and resilience (VOR) for assessing rangeland health: A case study from the alpine meadow of the Qinghai-Tibetan Plateau, China[J]. *EcoHealth*, 10(4): 423-433.
- Lisitz A, Wolbring G. 2016. Sustainability within the academic ecohealth literature: Existing engagement and future prospects[J]. *Sustainability*, 8(3): 202.
- Lu Y L, Wang R S, Zhang Y Q, et al. 2015. Ecosystem health towards sustainability[J]. *Ecosystem Health and Sustainability*, 1(1): 1-15.
- Peng J, Liu Y, Shen H, et al. 2012. Vegetation coverage change and associated driving forces in mountain areas of North-western Yunnan, China using RS and GIS[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 184(8): 4787-4798.
- Peng J, Wu J S, Yin H, et al. 2008. Rural land use change during 1986-2002 in Lijiang, China, based on remote sensing and GIS data[J]. *Sensors*, 8(12): 8201-8223.
- Rapport D J. 1989. What constitutes ecosystem health[J]. *Perspectives in Biology and Medicine*, 33(1): 120-132.
- Rapport D J. 1998. Ecosystem health[M]. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. 1998. Assessing ecosystem health[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 13(10): 397-402.
- Rapport D J, Maffi L. 2011. Eco-cultural health, global health, and sustainability[J]. *Ecological Research*, 26(6): 1039-1049.
- Ulanowicz R E. 1986. Growth and development: Ecosystems phenomenology[M]. New York, NY: Springer-Verlag.
- Yan Y, Zhao C L, Wang C X, et al. 2016. Ecosystem health assessment of the Liao River Basin upstream region based on ecosystem services[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 36(4): 294-300.
- Yang W, Dietz T, Kramer D B, et al. 2015. An integrated approach to understanding the linkages between ecosystem services and human well-being[J]. *Ecosystem Health and Sustainability*, 1(5): 1-12.

Regional eco-cultural health assessment based on set pair analysis: A case study of Dali Bai Autonomous Prefecture in Yunnan Province

LI Tianyi¹, PENG Jian^{1,2*}, LIU Yanxu¹, YANG Yang², CHEN Xin²

(1. Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, School of Urban Planning and Design, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, Guangdong, China)

Abstract: Eco-cultural health (ECH) is an important indicator of the sustainable development of regional natural-ecological and social-cultural systems. Taking Dali Bai Autonomous Prefecture in Yunnan Province, China as a case study area, this study built an eco-cultural health assessment index system by focusing on the sustainability of the coupled ecological-cultural system. It then applied the index in the county scale evaluation through set pair analysis and information entropy methods. Status of ecological health and cultural health are jointly analyzed to conduct a corresponding strategic development zoning for the counties. The results show that, ECH in the western and northern parts of the prefecture was better than that in the eastern and southern parts. Yunlong County had the highest value of ECH, and Xiangyun County was the lowest. According to the eco-cultural health and its factors of all counties, the prefecture can be divided into four strategic development zones—eco-cultural synergistic reservation zone, eco-cultural balanced development zone, ecological restoration priority zone, and cultural development priority zone. This study may have important theoretical and practical significance in formulating a regional sustainable development strategy for the area.

Key words: eco-cultural health; set pair analysis; strategic development zoning; Dali Bai Autonomous Prefecture