

基于层次分析法的拉市海高原湿地生态系统健康评估

马立广¹, 曹彦荣¹, 李新通²

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;

2. 福建师范大学地理科学学院, 福州 350007)

摘要: 本文以云南省丽江市拉市海高原湿地生态系统核心区为研究区域, 利用区域生态系统功能监测指标和自然环境及人文活动因素指标, 对拉市海高原湿地生态系统的健康状况进行空间综合评估分析。首先, 根据当前生态系统的状况和高原湿地生态系统的特征, 结合湿地保护区开展的系列生态系统功能监测项目及其指标, 并充分考虑评估模型的系统性、科学性和实际操作的可行性, 构建了拉市海高原湿地生态系统健康评价的指标和指标体系。然后, 采用层次分析方法(AHP), 融合自然综合指标、人文因素指标在内的生态系统健康综合评价模型, 确定6级的生态系统健康评估标准; 最后, 根据空间评价模型和数据资源, 对各个指标权重进行分析计算, 得出拉市海高原湿地生态系统的健康状况的空间分布。研究表明, 拉市海高原湿地的生态系统健康状况良好。按照划定的6级标准, 其中, 稳定区和较稳定区面积9 358. 93hm², 占研究区域总面积的61%, 脆弱区和较脆弱区面积为6 058. 46hm², 占总面积的39%。整个研究区域内不存在很稳定区和极稳定区, 这为高原湿地生态系统的综合管理及发展规划提供了依据。

关键词: 高原湿地生态系统; 层次分析法; 生态系统健康

DOI: 10. 3724/SP. J. 1047. 2011. 00234

1 引言

生态系统健康是环境管理的一个重要目标。湿地作为自然界重要的自然资源和生态系统之一, 在调节气候、涵养水源、分散洪水、净化环境、保护生物多样性等方面起着重要的作用^[1-2]。湿地生态系统健康系指生态系统没有病痛反应, 稳定且可持续发展, 即生态系统随着时间的进程有活力, 并且能维持其组织及自主性在外界胁迫下容易恢复^[2-3]。

确立健康生态系统标准是生态系统健康评价研究的关键和首要目标。生态系统健康评价指标的选取既要将生态、经济、社会要素综合考虑, 又要考虑不同管理条件的湿地生态过程、经济结构、社会组成的动态变化, 以维持湿地系统的持续性^[4-8]。

层次分析法(A analytical Hierarchy Process, 简称AHP)的特点是将分析人员的经验判断给予量化, 实用于目标结构复杂并且缺乏必要数据支持的情况, 是系统工程处理定性与定量相结合问题的简单易行且行之有效的一种系统分析方法。近年来, AHP分析方法在环境评价、生态系统评估及生态旅游资源评估中有较为广泛的应用^[9-14]。

本文以云南省丽江市拉市海高原湿地为研究对象, 综合考虑湿地保护区内自然环境, 生态系统现状, 生物多样性保护现状以及经济社会和旅游业等人类活动给湿地带来的压力和影响, 采用层次分析法, 结合实际调查和生态系统功能监测工作, 建立了拉市海高原湿地生态系统健康的评估指标体系, 对拉市海高原湿地生态健康状况进行评估研究。

收稿日期: 2010-08-03; **修回日期:** 2010-08-29.

基金项目: 长江项目示范区生态功能监测与早期预警信息系统(C/IV/S/08/151); 国家生物多样性信息服务平台(F/IV/S/09/165); 云南省科技计划项目, 丽江市老君山生态监测与预警研究及应用示范(2010CA022); 国家科技支撑计划课题(2008BAH24B01)资助。

作者简介: 马立广(1980-), 男, 博士, 研究方向为地理信息共享环境, 主要从事信息共享技术环境、地理环境与人口健康的研究。E-mail: malg@lreis. ac. cn

2 研究区地理背景与数据源分析

2.1 地理背景

拉市海高原湿地位于滇西北横断山地区玉龙县中部^[15-16],是云南丽江拉市海高原湿地省级自然保护区的主体部分(见图 1)。拉市海高原湿地保护区是我国 173 个重要湿地和西南地区 15 个重要湿地之一。位于北纬 26°44′~27°00′,东经 100°05′~100°13′之间,主要由拉市海、文海、文笔水库,以及吉子水库 4 个片区组成。研究区域的总面积为 15 417hm²,主要包括南尧村、均良村、美泉村、海南村、海东村和吉余村。



图 1 研究区及拉市海的自然保护区
Fig. 1 Map of the research region

拉市海高原湿地对长江中下游的水量均衡、气候调节、水源供给、珍稀物种栖息等方面发挥着重要生态作用^[17-19],对生物多样性保护也有着极其重要的意义。拉市海高原湿地是季节性强的高原湖泊,年平均气温 8.8℃,霜期 200 天,年降水量 900~1 200mm,陆面蒸发量为 500~600mm,全年日照时数 2 500~2 750h,其独特的地理位置和多样化的生

态环境,给湿地湿生植物创造了有利的生存环境,也为珍惜鸟类创造了良好的栖息地^[20]。近年来,围绕拉市海高原湿地保护区的生态旅游项目日益增多^[21-23],以湖边骑马,划船游湖,湿地观鸟等为主的旅游活动给周围社区居民带来经济收益,也对高原湿地生态系统功能及生物多样性产生影响。

2.2 数据源及其应用分析

研究中数据主要包括,基础地理数据,生态系统功能指标数据,即:水源涵养能力、土壤保持能力、生物多样性、碳增汇;社会经济统计数据,旅游指标等内容。

基础地理数据包括:水系、境界、居民地、道路以及数字高程模型(DEM)和 SPOT 5 卫星遥感影像数据。

水源涵养能力指标数据,指区域的水源涵养深度值,单位 mm。水源涵养功能是植被生态系统的重要功能之一,不同植被类型由于其物种生物学与群落结构的不同,其水源调节能力存在一定的差异。其主要体现在对降水的再分配,决定生态系统水源调节能力的主要因素在于植被截流,凋落物持水和土壤蓄水三个方面,结果反映区域的水源涵养能力。

土壤保持能力指标数据,指区域单位面积的土壤保持量或水土流失量。土壤保持是生态服务功能的重要组成部分,是指在水土保持过程中所采用的各项措施对保护和改良人类及人类社会赖以生存的自然环境条件的综合效用,包括保护和涵养水源功能、保护和改良土壤功能、固碳释氧功能、净化空气功能和防风固沙功能。土壤保持能力与区域降水、土壤类型、植被类型和地形因子等密切相关,是降水强度、土壤可蚀性、植被覆盖度和地形因素的共同作用的结果。指标综合表现为单位面积的土壤保持能力或水土流失量,涉及的指标值包括土地利用覆被变化、降雨量、地形因子、土壤的含沙量等。

生物多样性数据是一项综合指标,由于其复杂性及多尺度性,涉及多种因素的影响,考虑生物多样性监测的适用性和可操作性,用简化的生物或环境特征参数,来表征人类活动压力对生物多样性的影响,选择生物多样性丰富度,生物多样性指数及生境质量等影响因子,作为生物多样性这一综合指标的评估依据。

碳增汇数据是指反映区域的碳源、碳汇总量及碳库本底数量和区域的碳动态变化程度。将碳预测与碳库本底对比,计算出碳变化率,计算分析碳增汇指标,相关数据,包括森林资源清查数据、土地利用数据、土壤普查数据、实地监测数据等。

自然社会经济统计数据,包括人口密度、人均 GDP、旅游收入及居民的环境保护意识水平等,数据来自地方统计年鉴,以及民政、国土、环保等部门的统计资料。

结合区域对水源涵养、土壤保持、生物多样性和碳增汇指标的实际监测工作,本文采用 2005 年的数据作为基线值,对所有的数据项进行坐标投影变换和数据匹配等空间化处理,用 10m×10m 的栅格单元表达参与模型计算的各项指标。

3 拉市海高原湿地生态系统健康的评估

湿地生态系统健康评价的一般步骤包括:指标体系的选择与确定;评价方法的选择;指标权重的确定;评价标准的确定;进行评价^[7,13,14]等过程。

3.1 评估指标体系的建立

评价指标体系的建立是生态系统健康评价的基础和核心^[24]。目前,湿地生态系统健康评价指标研究成果不多,也没有统一的评价体系,加强湿地生态系统健康评价及其体系研究是湿地研究的一

个重要内容。国内湿地生态健康评价指标体系主要考虑生态系统的特征和功能指标^[25]。

本文在构建指标体系时充分考虑了如下原则:①科学性与系统性原则;②空间性,各评价指标具有空间属性;③指标切实反映生态系统的本质特性;④尽可能采用实现区域生态系统健康状况的监测指标;⑤体现人类活动对生态环境的影响;⑥数据可得性。

在指标选择的原则指导下,根据自然、社会及经济指标结合法和不同空间尺度信息的综合评价法,选取拉市海高原湿地生态系统健康评价指标,对拉市海高原湿地生态系统的健康评估指标体系进行设计。指标体系充分考虑土壤保持能力、水源涵养能力、碳增汇指标、生物多样性指标等系列生态系统功能监测指标,选择确定了系列自然因子指标和人文因子指标。

自然综合指标中,考虑地形要素对生态系统影响的重要性,确立地形坡度因子 C1。因为土壤保持能力、水源涵养能力、碳增汇指标、生物多样性指标的实际监测和计算过程中,不同程度地考虑了土地利用覆被、植被类型、生态系统类型、气候气象、降雨量、物种类型等自然因子的影响,故选择上述综合指标输出结果作为自然因素的综合评价指标,分别为土壤保持能力 C2(单位: $t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)、水源涵养能力 C3(单位:mm)、碳增汇指标 C4(单位: $t \cdot hm^{-2}$)、物种多样性 C5(无量纲)和生境质量 C6(无量纲)。对自然综合指标进行了分级(见表 1)。

表 1 自然综合指标对生态系统健康状况的影响水平分级

Tab. 1 Classification of impact levels of natural composite indicators on ecosystem health

分级	地形坡度(°)	土壤保持 ($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$)	水源涵养(mm)	碳汇($t \cdot hm^{-2}$)	物种多样性	生境质量
1	>45	<50	<300	<1	<0.1	<0.05
2	30~45	50~150	300~600	1~2	0.1~0.2	0.05~0.1
3	20~30	150~300	600~1000	2~3	0.2~0.3	0.1~0.3
4	10~20	300~500	1000~1500	3~4	0.3~0.5	0.3~0.5
5	5~10	500~1000	1500~2000	4~5	0.5~0.7	0.5~0.7
6	<5	>1000	>2000	>5	>0.7	>0.8

考虑人文因素对生态系统功能的影响和干扰。在指标体系的确定过程中,根据收集资料的情况,分别选择人均 GDP C7,人口密度 C8,人均旅游收入 C9 和新能源利用水平 C10 等 4 个指标表征人文因子影响指标,对各人文影响因子指标进行分级(见表 2)。

3.2 综合评价模型的构建与应用

生态系统健康概念提出之后,健康评价标准一直是生态系统健康评价最困难的问题之一,目前,学术界尚没有统一认可的生态系统健康标准^[25-28]。利用经典的层次分析方法^[29],对拉市海湿地生态系统的综合评估模型进行构建。将生态系统健康综

合评价作为目标层 A1，自然综合指标的影响强度 B1 和人文因子的影响强度 B2 作为准则层，并将自然综合指标和人文因子作为因子层 C1 - C10，构建拉市海高原湿地生态系统健康综合评价的指标层次结构图如图 2 所示。

表 2 人文指标对生态系统健康状况的影响水平分级

Tab. 2 Classification impact levels of humanity indicators on ecosystem health

分级	人均 GDP	人口密度	人均旅游收入	新能源利用水平
1	>6000	>2000	<10000	<0.03
2	4000~5000	1000~2000	10000~20000	0.03~0.05
3	3000~4000	500~1000	20000~30000	0.05~0.07
4	2000~3000	200~500	30000~50000	0.07~0.1
5	1000~2000	100~200	50000~80000	0.1~0.15
6	<1000	<100	>80000	>0.15

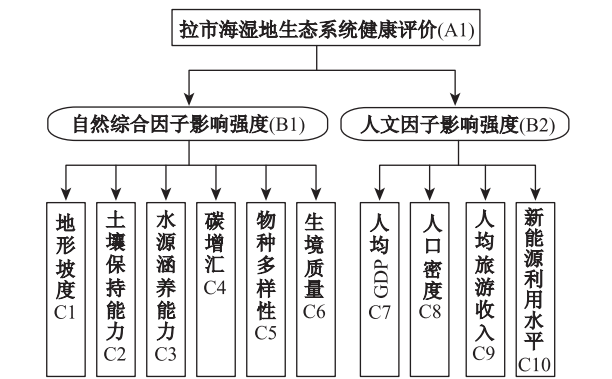


图 2 拉市海生态系统健康综合评价的指标层次结构

Fig. 2 Hierarchical chart of integrated ecosystem health assessment indicators for Lashihai Lake

在确定各影响因素对拉市海生态系统健康状况的影响强度的基础上，设计拉市海高原湿地生态系统健康综合评价的空间分析模型，其数学方程式为：

$$HMECO_{lsh} = int \sum_{i=1}^{10} W_i(x,y) \times V_i(x,y)$$

式中， $HMECO_{lsh}$ 为拉市海生态系统健康综合指数，分为脆弱、较脆弱、较稳定、稳定、很稳定、极稳定 6 级。级别越高，表明生态系统越健康，生态系统可持续性越强； $W_i(x,y)$ 和 $V_i(x,y)$ 分别为每一个栅格单元上各影响因子的权重值和级别值。

- (1)指标权重的计算
- 权重能反映因子对拉市海生态系统健康状况

的影响强度，为了计算各因子的相对重要性的权重，在充分专家经验的基础上，采用了 AHP 方法构建了各指标层的判别矩阵，并通过了一致性检验，最终计算得到各影响因子的类别与权重值，见表 3-表 6。

表 3 目标层与准则层的判别矩阵

Tab. 3 Judgment matrix between target layer and criteria layer

A	B1	B2	Wi	$\lambda_{max}=2.000$ CI=0.000 RI=0.000 CR=0.000
B1	1	3	0.750	
B2		1	0.250	

表 4 准则层 B1 及其相关因子的判别矩阵

Tab. 4 Judgment matrix between criteria layer B1 and index layer

B1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Wi	$\lambda_{max}=6.440$ CI=0.088 RI=1.240 CR=0.071
C1	1	0.33	0.2	0.25	0.14	0.11	0.029	
C2		1	2	3	0.5	0.2	0.127	
C3			1	0.33	0.2	0.14	0.061	
C4				1	0.33	0.2	0.092	
C5					1	0.5	0.250	
C6						1	0.441	

表 5 准则层 B2 及其相关因子的判别矩阵

Tab. 5 Judgment Matrix between Criteria Layer B2 and Index layer

B2	C7	C8	C9	C10	Wi	$\lambda_{max}=4.200$ CI=0.067 RI=1.240 CR=0.071
C7	1	0.33	0.25	0.2	0.065	
C8		1	0.5	0.14	0.123	
C9			1	0.33	0.230	
C10				1	0.583	

表 6 层次总排序结果

Tab. 6 Sequence of final results about the indices

代码	指标	Wi	代码	指标	Wi
C1	地形坡度	0.022	C6	生境质量	0.331
C2	土壤保持力	0.095	C7	人均 GDP	0.016
C3	水源涵养能力	0.046	C8	人口密度	0.031
C4	碳汇	0.069	C9	人均旅游收入	0.018
C5	物种多样性	0.188	C10	新能源利用水平	0.146

- (2)评估结果与分析
- 根据构建的拉市海生态系统健康综合评价的空间分析模型，在 10m×10m 分辨率的栅格单元上，对拉市海高原湿地生态系统健康状况进行综合

评价分析和制图,结果见表 7、图 3。

表 7 拉市海湿地生态系统健康综合评价结果
Tab. 7 Ecosystem health results about Lashihai Lake

健康级别	面积(hm ²)	百分比(%)
脆弱区	5 063. 49	0. 33
较脆弱区	994. 97	0. 06
较稳定区	7 949. 66	0. 52
稳定区	1 408. 87	0. 09
很稳定区	0	0. 00
极稳定区	0	0. 00

从表 7 和图 3 中看出,拉市海高原湿地生态系统健康状况总体基本良好,但研究区内没有很稳定区(5 级)和极稳定区(6 级),较稳定区和稳定区的面积达到了湿地核心区总面积的 61%。可见在研究区内,存在一定的脆弱性,脆弱区的面积达到了 33%,而且主要分布在湖区及其周围较为容易开发的平坦区域。

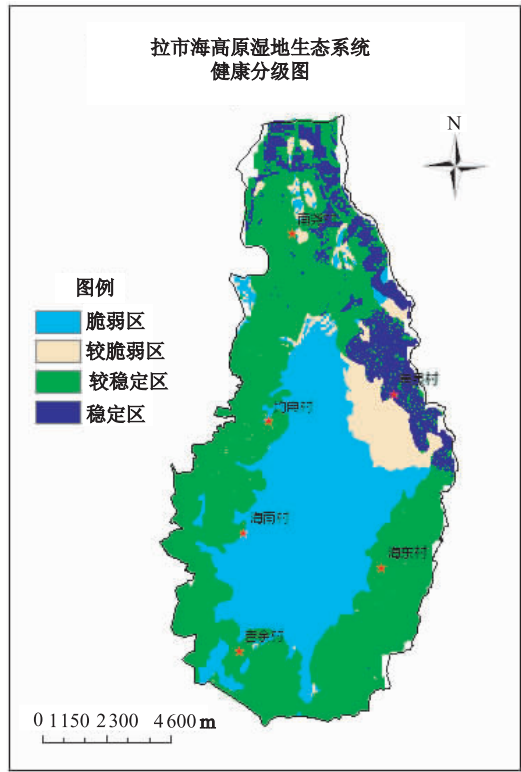


图 3 拉市海湿地生态系统健康分级与空间分布图

Fig. 3 Classification and distribution of ecosystem health levels in Lashihai Lake

4 结语

本文的研究结果表明,对拉市海高原湿地湖区

及其周围的旅游资源的开发利用要特别加强围绕湖区周边所开展的骑马-划船-观鸟等旅游活动的科学管理,维护拉市海高原湿地生态系统功能,保持生态系统的稳定和湿地的生物多样性。

参考文献:

[1] 尹连庆,韩忠阁,龙源. 衡水湖湿地生态系统健康评价[J]. 环境科学与管理, 2009,34(11):136 - 140.

[2] Peng Jian, Wang Yanglin, Wu Jiansheng, *et al.* Evaluation for Regional Ecosystem Health: Methodology and Research Progress[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27 (11): 4877 - 4885.

[3] Norton B G, Costanza R, Haskell B. Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management [M]. Island Press, Washington, DC, 1993.

[4] Arroyo B, Razin M. Effect of Human Activities on Bearded Vulture Behaviour and Breeding Success in the French Pyrenees [J]. Biological Conservation, 2006. 128(2): 276 - 284.

[5] Chen Z M, Chen G Q, Chen B, *et al.* Net Ecosystem Services Value of Wetland: Environmental Economic Account[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2009, 14(6): 2837 - 2843.

[6] Lu F, Li Z Z. A Model of Ecosystem Health and Its Application[J]. Ecological Modelling, 2003, 170(1): 55 - 59.

[7] Xu Fu-Liu, Zhao Zhen-Yan, Zhan Wei, *et al.* An Ecosystem Health Index Methodology (EHIM) for Lake Ecosystem Health Assessment[J]. Ecological Modelling, 2005, 188(2 - 4): 327 - 339.

[8] Wu Yang, Chang Jie, Xu Bin, *et al.* Ecosystem Service Value Assessment for Constructed Wetlands: A Case Study in Hangzhou, China[J]. Ecological Economics, 2008, 68(1 - 2): 116 - 125.

[9] 彭立圣,牟瑞芳. 层次分析法在生态旅游资源评价中的应用研究[J]. 环境科学与管理, 2006, 31(3): 177 - 180.

[10] 彭静,董哲仁,李翀. 河流生态功能综合评价的层次决策分析方法[J]. 水资源保护, 2008, 24(1): 45 - 48.

[11] 李艳利,李东艳,李艳粉. 层次分析法与模糊综合评价法在城市生态系统健康评价中的应用[J]. 广州环境科学, 2009, 24(3): 39 - 44.

[12] 李恺. 层次分析法在生态环境综合评价中的应用[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(2): 183 - 185.

[13] 付爱红,陈亚宁,李卫红. 塔里木河流域生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2418 - 2426.

[14] 刘存东,何太蓉,苏维词. 基于模糊 AHP 的长寿湖生态系统健康评价[J]. 水生态学杂志, 2009, 2(6): 57 - 60.

- [15] 戴雨芾,白仙富,史正涛. 拉市海湿地扰动因子及其影响[J]. 林业调查规划, 2006(6):62-65.
- [16] 彭贵鸿,黄庭发. 拉市海湿地水鸟区系组成及迁徙分析[J]. 林业调查规划, 2004(3):30-33.
- [17] 刘宁,彭贵鸿,黄庭发. 拉市海自然保护区越冬水鸟面临的威胁及保护策略[J]. 西南林学院学报, 2005(2):60-63,70.
- [18] 胡圆圆,林萍,肖德荣,等. 丽江拉市海高原湿地水生植被调查与分析[J]. 山东林业科技, 2008,174(1):1-4,37.
- [19] 茶枝义. 玉龙县拉市海流域生态保护与治理[J]. 林业调查规划, 2004(S1):3-75.
- [20] 和淑春,谢志荣,赵志平. 拉市海湿地保护区鸟类多样性及其保护管理对策[J]. 林业调查规划, 2006(S1):82-86.
- [21] 侯蕊玲. 丽江拉市海乡村旅游脱贫调查案例分析[J]. 云南民族大学学报(哲学社会科学版), 2006(6):67-69.
- [22] 郑丽娟. 云南拉市海观鸟旅游发展探讨[J]. 乐山师范学院学报, 2008,23(12):92-94.
- [23] 张忠华. 浅谈云南丽江拉市海高原湿地生态旅游开发[J]. 林业调查规划, 2005(1):54-57.
- [24] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 II. 方法与案例[J]. 生态学报, 2002,22(8):1231-1239.
- [25] 吴良冰,张华,孙毅,等. 湿地生态系统健康评价研究进展[J]. 中国农村水利水电, 2009(10):22-26.
- [26] 蒋卫国,潘英姿,侯鹏,等. 洞庭湖区湿地生态系统健康综合评价[J]. 地理研究, 2009,28(6):1665-1672.
- [27] 林波,尚鹤,姚斌,等. 湿地生态系统健康研究现状[J]. 世界林业研究, 2009,22(6):24-29.
- [28] 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.
- [29] 王清忠,牛赞. 基于层次分析法的张掖市湿地生态功能研究[J]. 山地学报, 2007,25(5):584-589.

Assessment of Ecosystem Health in Lashihai Lake Using AHP Method

MA Liguang¹, CAO Yanrong¹, LI Xintong²

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and National Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. School of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The objective of this research is to analysis wetland ecosystem health status of the core region of Lashihai Lake in Yunnan Province. Indictors that have impacts on ecosystem health were considered using the Analytic Hierarchy Process (AHP) methods. The integrated spatial analysis model was constructed to meet the requirements such as scientific research, systematicness and feasibility as well as data availability. Firstly, the indicators and indicator system were established based on the current status and characteristics of Lashihai Lake ecosystem, combined with series of items such as ecosystem functions monitor and indices under the principle of systematicness, scientificallness and feasibility. Secondly, using the AHP method, an integrated spatial analysis model for Lashihai ecosystem health study was constructed comprehensively and the 6-level assessment criterion has been established. Finally, the data-driven model run with existing data context and the weight of each indicators were calculated, and the spatial distribution of Lashihai Lake ecosystem health status were demonstrated by mapping. The research results show that ecosystem health in Lashihai Lake wetland is good, by there is no very stable and extreme stable region. The stable region is about 61% of the whole areas, and 39% of the areas is vulnerable area that should be paid more attention in future development. Especially, the eco-tourism developing activities across the lakeside region should be given scientific planning and proper management. The indicators and indicator system selected in this paper fit the true circumstances of Lashihai Lake region. The results can guide future planning in this region for both ecosystem management and economic development.

Key words: plateau wetland ecosystem; Analytic Hierarchy Process(AHP); ecosystem health