

综合兼顾流域因子的云南省星云湖健康评价

袁玲, 甘淑, 杨明龙, 余莉

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要: [目的] 以云南省星云湖为例, 尝试兼顾流域因子进行湖泊健康评价, 以为滇中高原湖泊健康评价提供示范和指导作用。[方法] 在面向湖泊环境驱动因素调查分析基础上, 考虑了来自于流域方面驱动因素对湖泊环境的影响, 构建兼顾流域因子的云南省星云湖健康评价的修正指标体系, 综合利用遥感与 GIS 技术, 对星云湖的健康状况进行具体量化评价与特性分析。[结果] 获得了星云湖在水文水资源、湖泊物理结构、水质、生物和社会服务功能等 5 个准则层下各指标的量化评价分值; 星云湖的健康状况一般, 主要制约条件依次是水质、生物、水文水资源的健康状况不理想。[结论] 兼顾流域因子的评价方法, 在一定程度上改进了目前滇中高原湖泊生态系统健康评价中普遍存在的“就湖评湖”所存在的空间局限, 以及由此对相关驱动指标考虑不足的问题; 综合兼顾了流域因子的星云湖案例研究, 可为滇中高原区域其他湖泊健康评价提供技术路线与评价方法。

关键词: 湖泊健康; 流域影响因素; 指标体系; 评价分析; 星云湖

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2017)06-0220-05

中图分类号: X143, X824

文献参数: 袁玲, 甘淑, 杨明龙, 等. 综合兼顾流域因子的云南省星云湖健康评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(6): 220-224. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.037; Yuan Ling, Gan Shu, Yang Minglong, et al. Health assessment of Xingyun Lake in Yunnan Province taking account of basin impact factors[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(6): 220-224. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.06.037

Health Assessment of Xingyun Lake in Yunnan Province Taking Account of Basin Impact Factors

YUAN Ling, GAN Shu, YANG Minglong, YU Li

(Kunming University of Science and Technology,

Faculty of Land Resources and Engineering, Kunming, Yunnan 650093, China)

Abstract: [Objective] Taking Xingyun Lake in Yunnan Province as an example, the lake health evaluation, with basin impact factors were taken account to provide reference and demonstration for the health evaluation of the plateau lakes in Central Yunnan Province. [Methods] Based on the investigation and analysis of the driving factors of the lake condition, considering the influence of the impact factors from the basin scale on the lake environment, the revised evaluation index system of the plateau lake considering the basin impact factors was constructed, and the specific quantitative evaluation and characteristics of recognition of Xingyun Lake health status in Yunnan Province were carried out under the support of remote sensing and GIS technology. [Results] The quantitative values of the evaluation indexes under the 5 criterion layers of the Xingyun Lake that include hydrology and water resources, the physical structure of the lake, the water quality, the biological and social service functions were obtained. The overall health status of the Xingyun Lake belongs to the general level. The main constraints originated from water quality, biological, hydrology and water resources. [Conclusion] The assessment index system and method used in this work overcome the spatial scale

收稿日期: 2017-04-17

修回日期: 2017-06-18

资助项目: 国家自然科学基金项目“滇中星云湖高原湖泊流域聚落空间格局演化研究”(41561083); 云南省自然科学基金项目“滇东南岩溶山地水土环境脆弱性空间分异的多尺度探测研究”(2015FA016)

第一作者: 袁玲(1989—), 女(汉族), 云南省昆明市人, 博士研究生, 研究方向为区域资源经济。E-mail: yjplm@263.net。

通讯作者: 甘淑(1964—), 女(汉族), 云南省腾冲市人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境遥感与 GIS 空间分析技术应用研究。E-mail: N1480@qq.com。

restriction that conventionally understand and assess lake degradation problem only from the lake itself and the subsequent insufficient consideration about driving indexes problem. The method and technique applied in the Xingyun Lake health evaluation will give benefit to other plateau lake assessment in Central Yunnan Province.

Keywords: lake health; basin impact factor; index system; assessment analysis; Xingyun Lake

湖泊具有调解径流、供水、航运、水产、灌溉、旅游、防洪以及调控区域生态环境等多项功能,与人类生产与生活息息相关。然而,在当今大规模经济开发和全球气候变化双重因素作用下,许多湖泊生态系统的功能在逐渐退化,因此,加强对湖泊生态系统健康状况的评价与认识尤为重要^[1]。湖泊的富营养化是由于水体中营养物质的过量输入引起水生植物的大量繁殖,从而导致水质恶化等一系列问题^[2]。而湖泊富营养化涉及环境和社会要素多且相互作用复杂,影响具有综合性,控制与管理也和公众对湖泊水环境的反应密切相关^[3]。滇中高原湖泊是云南高原面地表覆盖类型中最具特征的重要生态系统之一。但自 20 世纪末的 90 年代以来,随着区域社会经济的快速发展,滇中高原生态系统发生了较大改变,区域内的湖、库、江、河等的富营养化问题日趋严重。尤其凸显的是同属于滇中高原湖泊的滇池、星云湖、杞麓湖、异龙湖等高原湖泊水环境状况普遍恶化,湖泊退化问题突出,严重威胁着滇中高原山地区域的社会经济可持续发展^[4]。为此,加强对滇中高原湖泊的生态环境状况的调查,进行生态系统健康评价分析与问题诊断,提高对高原湖泊相关特性认识的专题性基础研究,必然对于有效调控人类自身扰动行为而科学保护利用与管理高原湖泊资源,促进高原湖泊生态系统功能修复及区域可持续发展具有重要科学意义与现实指导作用。

1 研究区概况

本研究区位于云南中部高原面上的星云湖泊及其流域地区。具体空间范围位于云南省玉溪市的江川县境内。江川县地处云南省中部偏东,国土总面积 850 km²。县城驻地大街镇距省会昆明 102 km,距市政府驻地玉溪市的红塔区 20 km。江川县地貌由湖泊、盆地、中低山组成。整个地势为四周高、中部低,西部九溪略向玉溪倾斜。县境中部低洼处分布有高原断陷湖泊星云湖,即星云湖为江川县的境内湖泊,且星云湖整个流域的汇水范围均分布于江川县域境内。研究区境内最高峰为江城镇大梁子海拔 2 648 m,最低点为九溪河口村海拔 1 690 m,相对高差 958 m,县城海拔 1 729 m。辖区年平均降雨量 874 mm,年平均日照总数 2 216.8 h,年平均气温 15.6 ℃左右,主要分

布有红壤、棕壤、紫色土、水稻土 4 个土类。

选择星云湖及流域地区进行本专题研究,原因是星云湖作为具有半封闭高原断陷型浅水湖,其本身属于云南省的 9 大高原湖泊之一,而且它是珠江源头位于滇中高原上最具典型代表性的湖泊之一,目前该湖泊的水环境问题十分突出^[5]。根据现有的关于星云湖的报道资料,星云湖面呈茄形,南北长 9.08 km,东西最大宽 4.72 km,东西最小宽 2.51 km,最大水深 10.81 m,平均水深 6.01 m。现行运行水位 1 721.5~1 722.5 m。当水位 1 722.5 m 高程时,湖面面积约为 34.32 km²,湖周长 38.8 km。在 20 世纪末 90 年代以前,星云湖的水质总体较好,大致都处于Ⅲ类以上的水质状况,但进入 20 世纪末期以来,水质污染严重,湖泊水质状况整体迅速下降为Ⅴ类水质,目前的星云湖水质基本上都处于劣Ⅴ类的水平状态,湖泊健康问题突出^[6]。

2 研究方法 with 数据调查处理

2.1 面向湖泊的健康评价方法

根据水利部 2010 年印发的《湖泊健康评估指标、标准与方法(试点工作用)1.0 版》,要求湖泊健康评估指标体系采用目标层(河湖健康状况)、准则层和指标层 3 级体系。其中准则层包括水文水资源、物理结构、水质、生物和社会服务功能等 5 个方面,而指标层的指标则是在不同准则层下进行了具体规定,共计有 15 个必选指标。具体指标包括:水文水资源准则层下的指标有最低生态水位满足状况、入湖流量变异程度等 2 个;物理结构准则层下的指标有河湖连通状况、湖泊萎缩状况、湖滨带状况等 3 个;水质准则层下的指标有溶解氧水质状况、有机污染水质状况、富营养状况等 3 个;生物准则层下的指标有浮游植物密度、大型水生植物覆盖度、鱼类生物损失指数 3 个;社会服务功能准则层下的指标有水资源开发利用指标、防洪指标、公众满意度指标等 4 个。

对于湖泊的评价处理方法,主要是通过对各指标进行调查分析,并采用对照标准情况而赋予各指标分值以进行量化处理,然后采用加权求和的评价模型,分别测算准则层与目标层的评价得分,最后依据综合分值大小进行分级处理以评判湖泊的健康状况水平。

2.2 兼顾流域的湖泊健康评价方法

对于云南星云湖的湖泊健康评价方法,总体上参考借鉴了上述面向湖泊的评价体系,但是兼顾考虑了来自于流域层面的驱动机制分析,并补充了具有流域驱动影响作用的要素指标而对湖泊健康状况进行调查评价。亦即评价方法仍然采用了目标层、准则层和指标层等 3 级体系,但对相应指标进行了适当的调整改善,并对流域空间方面指标进行了补充拓展。具体修改方法之一是从参评指标的可获得性及评价实施可操作性方面考虑,修改调整了面向高原湖泊水体环境要素的指标体系构成;其二是补充拓展了流域层面的影响因素考虑,从而构成参与湖泊健康评价的流域要素指标,使得湖泊健康评估不仅映射了湖泊现状环境结果,也兼顾了流域驱动过程影响作用结果。具体地,对于星云湖湖泊健康评价处理,尝试结合云南高原山地的星云湖流域特点调查分析,分别在 5 个不同准则层下,在规定必选的 15 项面向湖泊的指标基础上,补充构建面向流域的多年平均降雨量、湖泊湖面占流域面积比例、流域层面土地利用人为扰动系数、湖岸线外延 1 000 m 缓冲区土地利用人为扰动系数、湖区夏季连续 15 d 最高温度平均值、湖泊岸线内延 100 m 湖相缓冲区植被覆盖率,以及单位湖面面积水产品产量效益系数等 7 个方面的流域自定义指标。归纳整理形成了兼顾流域因素的星云湖湖泊健康评价体系(表 1)。

2.3 综合评价实施框架

为了开展对星云湖健康状况的评价分析,首先基于基础地理信息数据收集而确定了星云湖湖区及其流域范围^[7],并明确了相关数据调查与评价分析实施过程框架如图 1 所示。总体上,综合了兼顾流域因子考虑的星云湖的健康评价调查与分析实施,主要过程是通过综合资料收集与实地调查,进行湖泊地区相关指标需要资料的整理与分析,构架水土资源环境空间数据库及湖泊区域空间基础地理信息系统,然后运用系统分析评价方法与确定的综合评价模型,组织进行星云湖健康状况的各项专题要素的定性分析与定量评价^[8-9],实施湖泊健康综合评价与分析研究。

2.4 数据调查及处理方法

对于星云湖健康评价实施处理所用的具体数据调查与处理主要包括以下方面:① 面向湖泊评价所涉及到的水文水资源数据和物理结构相关指标数据,主要来源于当地水利部门所提供的实测调查数据及整理分析;② 对于面向湖泊评价所涉及到的水质与生物相关指标数据,则主要来源于当地环境部门所提供的实测调查数据与整理,并适当参考了涉及有星云

湖及有关生物调查研究报道相关文献资料数据^[10-11];③ 针对社会服务功能准则的相关数据调查,除了依据在相关部门收集到的水功能区划资料、水资源利用资料、流域防洪规划等资料,还结合了现场问卷调查方式所进行的资料汇总与整理分析而得到相关指标的量化处理;④ 对于面向流域各指标的数据调查与处理,主要是基于收集得到的星云湖及流域地区的遥感影像数据与基础地理信息数据,综合利用遥感解译分析与 GIS 空间信息分析管理技术支持,进行流域空间与属性的关联处理以获得相应面向流域的评价指标处理。

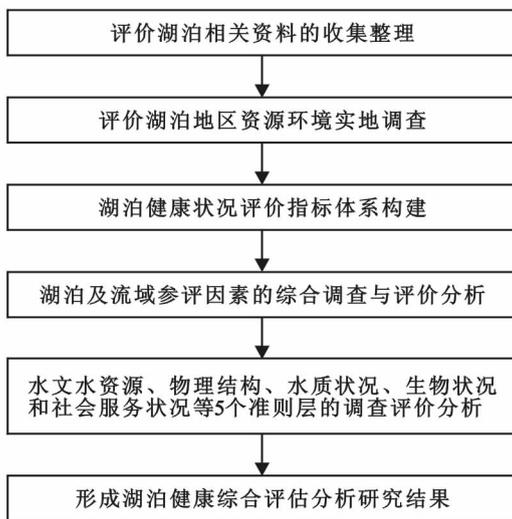


图 1 研究流域评估过程路线图

3 结果与讨论

3.1 评价指标结果整理

基于面向星云湖与兼顾流域指标的数据调查与数据处理,评价得到针对星云湖健康状况的各个指标的评价结果详见表 1。

3.2 结果分析及讨论

在水文水资源评价方面,根据湖泊健康指标评估方法,分别对水文水资源准则层下的入湖流量过程变异程度与湖泊最低生态水位满足状况 2 个指标赋权重为 0.3 与 0.7,得出面向湖泊的评估结果得分为 25.5 分,分值较低,说明星云湖在水文水资源准则层方面的总体状况不够理想。此外,兼顾流域自选指标,再结合水文水资源准则层下的入湖流量过程变异程度与湖泊最低生态水位满足状况,分别对 3 个指标赋权重为 0.3,0.3 和 0.4,测算得出了兼顾自选指标的评估结果得分为 45.9 分。可见,尽管较不考虑流域自选指标有所提高,但总体分值仍然不到 60 分,说明评估年的 2014 年中,星云湖的水文水资源健康状况总体并不理想。

表 1 云南星云湖健康评价指标体系及其数据处理结果

目标层	准则层	指标层	指标空间特性	指标数据
湖泊生态环境状况	水文水资源	最低生态水位满足状况	面向湖泊	85
		入湖流量变异程度	面向湖泊	0
		流域多年平均降雨量偏离度指标	面向流域	68
	物理结构	河湖连通状况	面向湖泊	71.25
		湖泊萎缩状况	面向湖泊	100
		湖滨带状况	面向湖泊	75.61
		湖面占流域面积比例指标	面向流域	85
	水质	溶解氧水质状况	面向湖泊	98.3
		有机污染水质状况	面向湖泊	39.2
		富营养状况	面向湖泊	80
		流域内土地利用人为扰动系数指标	面向流域	80
		湖岸线外延 1 000 m 空间缓冲区内土地利用人为扰动系数指标	面向流域	60
		湖区评估年夏季连续 15 d 最高温度平均值指标	面向流域	80
	生物	浮游植物密度	面向湖泊	65
		大型水生植物覆盖度	面向湖泊	55
		鱼类生物损失指数	面向湖泊	61
		星云湖湖岸线内延 100 m 空间缓冲区内植被覆盖率指标	面向流域	75
	社会服务功能	水功能区达标指标	面向湖泊	0
		水资源开发利用指标	面向湖泊	86
		防洪指标	面向湖泊	100
公众满意度指标		面向湖泊	67	
单位湖面面积水产品产量效益系数指标		面向流域	100	

在物理结构评价分析方面,根据湖泊健康评估方法中有关物理结构的指标赋分与评价方法,得出星云湖的河湖连通状况、湖岸带状况、湖泊萎缩状况等评价指标赋分情况,并对各指标分别按照 0.4,0.3,0.3 赋予权重,最终计算得到星云湖的物理结构综合评价得分为 81.18 分。此外,研究中兼顾流域自选指标开展了星云湖物理结构准则层的综合评价,分别按照河湖连通状况权重为 0.3,湖岸带状况权重为 0.2,湖泊萎缩度权重为 0.3,流域自选指标权重为 0.2,调整各指标权重后计算得到兼顾流域因素下的物理结构综合评价得分为 83.50 分,即兼顾流域因素考虑后得到的星云湖物理结构综合评价得分稍有提高。总体而言,星云湖河湖连通性良好,湖岸整体稳定性较好,湖泊萎缩度较低说明湖面相对于参考历史年变化不大,湖泊水面相对稳定,湖泊水资源汇流条件丰沛状况中等,初步评估判定星云湖有关物理结构准则层的评估状况良好。

对于湖泊水质的评价,分别通过对水质准则层下的溶解氧状况、耗氧有机污染状况,营养状况等 3 个指标进行年平均处理与赋分评价,得出 3 个指标评价结果分别为 98.3,39.2,80.0。再根据水质准则层评估要求采用取 3 个指标中最小赋分值约束而作为评价结果的处理方法,得到星云湖水质准则层得分为

39.2 分。换言之,就面向星云湖的评价结果,在针对 3 个指标的评估结果中,由于耗氧有机污染物指标分值最小,因此对于星云湖而言,影响该湖泊水质状况得分最低的根本原因是耗氧有机污染物指标严重不达标所致。此外,兼顾流域自选的 3 个有关水质驱动状况指标进行综合处理评价,并取水水质相关指标权重为 0.4,流域自选指标分别取权重为 0.3,0.2 和 0.2,得出星云湖水质准则层综合评估结果为 63.8 分,说明兼顾流域指标考虑后,较面向湖泊评价得出的评估年的水质状况有了较大改善,但仍然还是处于中度偏低的水平状态。分析其主要原因在于近湖周边的现状人为扰动强度过大,评估年份的夏季持续高温对湖泊水质有一定相关性影响。为此,针对流域内总体的人为扰动强度影响所导致的湖泊水质处于亚健康状况,有待通过管理调控流域土地利用结构调整与资源产业空间配置优化等以促进湖泊水质恶化的缓解。

关于湖泊生物状况的评价,本次研究主要是参考借鉴了当地环境部门开展的与评估年最近的 2012 年的调查评估成果,即针对评估准则层所包括的浮游植物、底栖动物、附生硅藻 3 个方面的指标的平均值作为本次评估定量化评价水生生物准则层指标。结果得出,浮游植物指标相对于底栖动物指标、附生硅藻指标的得分要低,这与星云湖属于中度富营养湖泊,

藻类大面积水华有关,且 4 月枯水期的指标得分普遍较 10 月丰水期低。总体得出面向星云湖的水生生物准则层评价得分为 60.3 分,说明星云湖生物状况的总体水平处于偏低的状态。此外,兼顾自选的湖岸线内延 100 m 内所开展的综合遥感植被覆盖率调查指标,综合评价得出星云湖水生生物准则层得分为 67.7 分,说明星云湖评估年生物状况仍然较差。初步调查分析其原因在于湖盆区域城镇居民的生活用水入湖,近湖岸耕地农业面源污染,以及农村畜牧业发展等因素影响。

最后对于社会服务功能的评价,首先面向星云湖泊本身,利用了水功能区达标指标、水资源开发利用指标、防洪指标、以及公众满意度指标等 4 项指标进行赋值评价,并分别按照权重为 0.25,0.25,0.25,0.25 进行加权取和处理,得出了面向星云湖的湖泊社会服务功能得分为 63 分。此外,兼顾流域自选指标进行调查评估分析,根据云南省水功能区划对星云湖江川渔业与景观水区的开发利用功能定位,研究中补充了单位湖面面积水产品产量效益系数指标,并考虑到因湖泊的渔业经济产值仅仅只是其湖泊水资源利用、景观旅游服务、生态环境保护等多项重要经济效益之一,由此可得出星云湖所潜在的经济价值是较大的,湖泊对于当地居民生产生活均举足轻重,兼顾流域自选指标后测算得到星云湖的湖泊社会服务功能得分为 73 分。概括之,兼顾流域综合效应指标考虑,则湖泊的社会服务功能效应必然会有较大提高。

4 结论

(1) 围绕云南省高原湖泊的特性进行分析,加强了高原湖泊健康影响驱动因素的调查分析评价,补充完善了“流域多年平均降雨量指标、湖泊湖面占流域面积比例指标、流域层面土地利用人为扰动系数指标、湖岸线外延 1 000 m 缓冲区土地利用人为扰动系数指标、湖区夏季连续 15 d 最高温度平均值指标、湖泊岸线内延 100 m 湖相缓冲区植被覆盖率指标,以及单位湖面面积水产品产量效益系数指标”等 7 个流域自选指标,构建形成了兼顾流域影响因素的针对云南高原湖泊健康评估的评价指标体系。

(2) 分别在面向湖泊的指标体系框架以及补充完善兼顾流域尺度影响因素考虑的高原湖泊健康评估指标体系框架下,对云南省星云湖湖泊健康状况在水文水资源、物理结构、水质、生物,以及社会服务功能等 5 个准则层方面的相关评价指标的资料调查收集与整理,开展了面向云南省高原湖泊健康状况的评

估工作试点,获得了对高原湖泊星云湖健康状况及水平的定性与定量认识,为星云湖的健康维护提供了基础信息,同时也为滇中其他高原湖泊健康评价提供了可以借鉴与参考的方法与技术指导。

总之,基于湖泊流域生态系统整体认识,指出针对云南高原湖泊健康状况的评价,建议应该采用的是兼顾考虑到包括湖泊水面、湖滨区,以及湖泊流域径流区等的多尺度综合评估框架。对于高原湖泊健康的调查评估,除了需要关注湖泊水域本身的水生态系统状况外,还应该在相对更大空间范围尺度上考虑导致该结果状况的驱动影响机制作用,需要选择必要的主导因素参与到健康评估调查分析中。此外,在云南省星云湖的健康评估中,尝试并实践了综合应用遥感与 GIS 支持下进行高原湖泊专题信息提取、区域地理空间数据库建设管理与空间分析运用,这对于支持云南省其他高原湖泊健康评价中的技术方法也具有非常现实的借鉴与指导作用。

[参 考 文 献]

- [1] 张艳会,杨桂山,万荣荣. 湖泊水生态系统健康评价指标研究[J]. 资源科学,2014,36(6):1306-1315.
- [2] 梁丽娥,李畅游,孙标,等. 内蒙古自治区呼伦湖水质变化特征及其影响因素[J]. 水土保持通报,2017,37(2):102-106.
- [3] 张宝,刘静玲. 湖泊富营养化影响与公众满意度评价方法[J]. 水科学进展,2009,20(5):695-670.
- [4] 沈亚强,王海军,刘学勤. 滇中五湖水生植物区系及沉水植物群落特征[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(1):111-120.
- [5] 李荫玺,胡耀辉,王云华,等. 云南星云湖大街河口湖滨湿地修复及净化效果[J]. 湖泊科学,2007,19(3):283-288.
- [6] 师莉莉,杨晓红. 滇中三大湖泊氮、磷水质变化趋势研究[J]. 环境科学导刊,2007,26(S):67-69.
- [7] 余莉,甘淑,袁希平. 喀斯特山地流域边界多层次提取的径流树模型[J]. 山地学报,2016,34(5):615-622.
- [8] 吴阳,甘淑,王策,等. 基于综合遥感调查的滇中星云湖流域水资源状况评估分析[J]. 浙江农业科学,2016,57(8):1304-1307.
- [9] 子林波,甘淑,费联君. 江川县生态环境评价[J]. 安徽农业科学,2016,44(31):86-88.
- [10] 侯长定,李文朝,胡耀辉,等. 星云湖湖滨带生态建设与水生植被恢复[J]. 云南环境科学,2003,22(S):92-96.
- [11] 付文凤,姜海,房娟娟,等. 竺山湾湖滨缓冲带生态工程综合效益评价[J]. 水土保持通报,2017,37(2):268-273.