

综合研究

山水林(草)田湖人生命共同体健康评价及治理对策 ——以长江三峡水库重庆库区为例

苏维词^{1,2}, 杨吉^{1,3}

(1. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 沙坪坝 401331;

2. 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001; 3. 成都市高新区公园城市建设局, 四川 成都 610000)

摘要: [目的] 研究库区山水林(草)田湖人生命共同体的健康状况, 分析各自然子系统之间及其与人类活动的相互作用和相互影响, 为生态保护与绿色发展, 生态文明建设及构建和谐库区提供参考依据。[方法] 以长江三峡水库重庆库区(以下简称“重庆库区”)21个区县为例, 构建生命共同体健康评价指标体系; 运用3S等技术获取相关地理基础数据, 结合社会经济统计资料, 通过系统聚类分析, 对重庆库区山水林(草)田湖人生命共同体的健康状况进行评价和分级。[结果] ①重庆库区山水林(草)田湖人生命共同体整体处于亚健康状态; ②重庆库区山子系统的特征体现了其本底的脆弱性、不稳定性和低承载力; ③重庆库区人子系统, 县域经济社会发展相对滞后, 人的生活生产发展与生态保护矛盾突出; ④重庆库区林(草)子系统结构及其生态服务功能有待提升优化。[结论] 未来一段时期内, 山水林(草)田湖人系统修复治理工作要聚焦林(草)、田、湖与人子系统, 进一步加强基础研究和应用技术研究, 以便更科学地实现山水林(草)田湖人生命共同体系统的统筹共治、健康管理与持续经营。

关键词: 山水林(草)田湖人生命共同体; 健康评价; 系统聚类分析; 治理对策; 长江三峡水库; 重庆库区
文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2020)05-0209-09 **中图分类号:** X32

文献参数: 苏维词, 杨吉. 山水林(草)田湖人生命共同体健康评价及治理对策[J]. 水土保持通报, 2020, 40(5): 209-217. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2020. 05. 031; Su Weici, Yang Ji. Health assessment and countermeasures on mountains-rivers-forests (grasslands)-farmlands-lakes-human life communities [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(5): 209-217.

Health Assessment and Countermeasures on Mountains-Rivers-Forests (Grasslands)-Farmlands-Lakes-Human Life Communities —A Case Study at Chongqing Area of Three Gorges Reservoir of Yangtze River

Su Weici^{1,2}, Yang Ji^{1,3}

(1. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Shapingba,

Chongqing 401331, China; 2. Guizhou Mountain Resources Institute, Guiyang, Guizhou

550001, China; 3. Park City Construction Bureau of Chengdu Hitech Zone, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract: [Objective] The health status and existing problems of the mountains-rivers-forests (grasslands)-farmlands-lakes-human life communities at Chongqing area in the Three Gorges reservoir (hereinafter called Chongqing reservoir area) were studied, and the interactions between the subsystems and humans was discussed in order to provide a reference for the ecological protection, green development, ecological civilization construction, and harmonious development of the reservoir area. [Methods] Twenty one counties (districts) of Chongqing City in the Three Gorges reservoir of the Yangtze River (abbreviated as “Chongqing reservoir area”) were used as examples. For these, we constructed the health evaluation index system of life community from the perspective of mountains-rivers-forests (grasslands)-farmlands-lakes-human, and evaluated the health status of the communities. These were divided into four health types with the clustering analysis method based on the relevant geographic data using 3S technology and socioeconomic statistical data.

收稿日期: 2020-01-20

修回日期: 2020-07-10

资助项目: 教育部人文社会科学规划项目“三峡库区城乡融合发展的多维测度及优化路径研究”(20YJAZH093); 贵州省科技支撑项目“两湖一流流域山水林田湖生命共同体健康评价及调控技术途径研究”(黔科合支撑 S[2020]4Y008 号); 国家十三五重点研发计划(2016YFC04007008)

第一作者: 苏维词(1965—), 男(苗族), 湖南省绥宁县人, 硕士, 研究员, 主要从事生态环境与区域发展研究。Email: suweici@sina.com。

[Results] ① As a whole, the ecological system for the mountains-rivers-forests (grasslands)-farmlands-lakes-human life community in Chongqing reservoir area was classified in the sub-health group. ② The features of the “mountain” subsystem reflected the vulnerability, instability, and low carrying capacity of the ecological environment in the Chongqing reservoir area. ③ The “human” subsystem showed that the development of the county’s economy and society was lagging behind and there was an obvious conflict between socioeconomic development and ecological protection. ④ The structure and function of the “forest and grassland” subsystem need upgrading and optimizing. [Conclusion] In the future, the restoration and management of the lakeside systems of mountain forests (grasslands) should be focused on the forest (grassland), field, lake, and human subsystems, along with further strengthening of the basic and applied technological research in the area, in order to achieve more scientifically integrated governance, health management, and sustainable management for the mountains-rivers-forests (grasslands)-farmlands-lakes-human community system.

Keywords: the mountains-rivers-forests (grasslands)-farmlands-lakes-human life community; health assessment; clustering analysis method; corresponding countermeasures; the Three Gorges reservoir of the Yangtze River; Chongqing reservoir area

“山水林田湖生命共同体”指的是山水林田湖各要素的协同性和有机联系,人类与山水林田湖各要素相互作用相互影响,形成一个相互关联的命运共同体,这是人与自然和谐共处的重要范式^[1],也是中国生态文明建设的重要指导理念^[2]。在人口、资源、环境与发展矛盾日趋突出的 21 世纪,树立山水林田湖生命共同体观念,对于明晰科学发展思路、守住生态与发展两条底线,促进人与自然和谐,推进生态文明建设,实现国家、区域或流域的高质量发展具有重要的现实意义。

山水林田湖生命共同体是近年来才明确提出的新理念,关于其健康评价专题研究相对匮乏。国外相关研究涉及的主要是自然—社会—经济复合生态系统的复杂性^[3]、系统的非线性动力学特性^[4-5]、系统稳定性阈值^[6-7]及其生态系统健康评价与管理等研究^[8],其研究方法主要有基于驱动力—压力—状态—暴露—影响—响应(DPSEEA)模型评价生态系统健康等^[9-10],但缺乏从构成自然—社会—经济复合生态系统的组分(如山、水、林(草)、田、湖和人等)的视角开展专题研究,尤其缺乏从共同体理念开展生态系统结构、功能、健康评判与管理等相关研究。国内关于生态系统健康评价研究主要有多因子综合评判^[11]、模糊综合评判^[12]、压力—状态—响应(PSR)模型^[13]及其系列扩张模型^[14-15]。针对三峡库区(复合)生态系统健康评价研究则主要是从传统的自然—经济—社会结构及土地利用视角等开展^[16-19]。以上方法和模型在评价生态系统健康时都各有侧重点,但不能全面的覆盖到山水林田湖各个子系统,且国内外对山水林田湖生命共同体研究还主要停留在宏观概念阐述、哲学伦理探讨^[20-21]及部分工程的试验示范与对策等,鲜有从“山水林(草)田湖人”视角建立相关指标

体系与评价模型,对山水林(草)田湖人生命共同体健康及其演变的动因、作用机理等相关研究明显欠缺。

中国人类活动强烈以湖库为主体的典型的山水林田湖生命共同体有三峡库区、黔中“两湖一库”(红枫湖、百花湖、阿哈水库)、乌江梯级水库群、金沙江梯级水库群、新安江库区、丹江口库区、鄱阳湖湖区、洞庭湖湖区以及太湖流域等区域生命共同体。其中三峡库区是中国最典型的山水林田湖生命共同体之一。

在三峡水库修建前,长江三峡段河流生态系统与人类活动经过千百年的相互作用,形成了一个相对稳定的山水林田湖生命共同体系统及格局,但大坝建设带来的河湖水系巨大变化改变了原有的水土要素耦合关系,山水林田湖各子系统及人类子系统都进行了重构,生命共同体的结构功能也随之发生变化,并有可能对库区生态安全、水安全及长江中下游沿岸地区的可持续发展造成影响。

三峡库区涉及湖北省的夷陵、秭归、兴山、巴东等 4 个区县和重庆市的巫溪、巫山、奉节、开州、万州、云阳、忠县、丰都、涪陵、武隆、石柱、长寿、江津及渝北、巴南、渝中、沙坪坝、南岸、九龙坡、大渡口、江北等 21 个区县,其中重庆库区是三峡库区的主体。三峡库区地处中国地势第二阶梯与第三阶梯的过渡地带,生态环境脆弱,是中国重要的水源涵养区和生态屏障,也是中国秦巴山区和武陵山区集中连片社会经济欠发达的交汇区。

本文选择三峡水库重庆库区(以下简称重庆库区)为研究对象,以县域为研究单元,从“山水林(草)田湖与人”的视角构建评价指标体系,揭示重庆库区生命共同体(复合生态系统)健康格局及存在的主要问题,并提出不同健康类型区综合整治的基本思路 and 方向,为库区生态保护与绿色发展、生态文明建设及

构建和谐库区提供某些指导依据,也为中国黔中地区“两湖一库”等生态脆弱、发展与保护矛盾突出的其他类似地区山水林(草)田湖人生命共同体的科学整治、健康管理及持续经营提供参考借鉴。

1 研究区概况

重庆库区位于北纬 $28^{\circ}28'$ — $31^{\circ}44'$,东经 $105^{\circ}49'$ — $110^{\circ}12'$ 之间,包括巫山县、巫溪县、巴南区等21个区县。库区内常态地貌与喀斯特地貌交错分布,以侵蚀低山、中低山地和丘陵河谷为主,地形切割强烈;属于中亚热带湿润季风气候,降雨充沛;易滑地层分布广,崩塌、滑坡和泥石流等山地灾害多发频发;人类活动强烈,水土流失较严重,生态保护与发展的矛盾较突出。

三峡重庆库区在中国具有重要的地位。重庆库区地处中国地形地势二三级过渡地带、四川盆地与长江中下游平原的结合部,生物多样性富集,生态功能重要;同时重庆库区又属于中国东中部与西部的交接地带和西部大开发的前沿地带;重庆库区还是长江经济带发展战略中承上启下(上游与中下游链接)交汇区。重庆库区集大城市、大农村、大山区、大库区于一体,不仅拥有世界上最大的水利枢纽工程,而且还兼有典型的大山区农村地域经济生态系统和极具“山城”特色的工业地域经济系统,城乡二元结构典型突出,是中国首个城乡统筹综合配套改革试验区和首批城乡融合发展先行试验区,是中国一个独特的经济地域单元。

重庆库区内人类活动强烈,社会经济发展压力大,生态环境脆弱,导致社会经济发展与生态保护矛盾突出。一方面该区平均人口密度大,既有重庆都市经济发达圈,又有广阔的库区腹地欠发达区,后扶贫时期乡村振兴与持续发展压力大;另一方面该区地势起伏大,山多坡陡。滑坡泥石流等山地灾害多发频发,水土流失较严重,库区平均土壤侵蚀模数高于周边贵州的平均水平^[22]。2016—2017年库区腹地普里河流域年均输沙模数达到 $540 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[23],每年入库泥沙 $8.92 \times 10^7 \text{ t}$,威胁库区生态安全。

由此可见,三峡重庆库区生态保护压力很大,是长江上游重要的生态屏障和水源涵养区^[24],生态地位非常重要;同时又是长江经济带发展战略中“生态优先,绿色发展”的先行试验区^[25-26],该生命共同体健康状况对库区生态安全、特大水利枢纽工程运行安全、库区后续发展与乡村振兴及长江经济带城乡融合高质量发展等均有重要影响。

2 研究方法

山水林(草)田湖与人各子系统各要素相互作用

相互影响,共同构成一个生命共同体系统。本研究从山体形态结构、水质水量保障程度、林(草)状况、农业生产、河湖面积及产出、人类生活这6个方面,构建生命共同体健康评价指标体系并选择评价模型。

2.1 山水林(草)田湖人评价指标体系构建

根据客观性、科学性、数据可获取性等原则,构建重庆库区山水林(草)田湖人评价指标体系。其中目标层是山水林(草)田湖人生命共同体健康的整体状况,系统层分为山子系统、水子系统、林(草)子系统、田子系统、湖子系统和人子系统,具体指标层中包括25个指标(见表1),部分指标如水质、人均废水排放量、水体污染治理等指标因部分区县缺失,暂未考虑。

三峡库区作为一个典型的山水林(草)田湖人生命共同体,各子系统及其组成要素之间相互影响,相互制约,形成一个相互关联的复合生态系统(即生命共同体系统)。从它们对生命共同体健康的作用功能看,水子系统是生命共同体的“灵魂”,充沛的水量和水质的好坏是衡量三峡库区生命共同体健康的重要标志;湖子系统是水的空间载体;林(草)及田(土壤)子系统是水源涵养调蓄和水质优良的保障;山子系统则是“骨架”,它决定了生命共同体其他(如林草、水、田、湖等)子系统(组分、要素)的空间格局和重新分配;人子系统则是该系统中最活跃的因素,可以根据人类自身发展需求并结合库区生态系统结构功能和自然演替规律,对生命共同体系统各组分(子系统、或要素)进行适当调控、优化或保护。从因果关系看,山和水是生命共同体的基础,林田湖(草)是山、水的产物,人类在这个复杂的生命共同体系统中进行各种生产、生活活动,直接或间接影响生命共同体的结构、功能及发展演变方向,同时也受这个生命共同体的影响。山水林(草)田湖人子系统之间乃至更低一层次(表1的指标层)因子要素之间也相互联系,相互影响。如以水子系统为例,水子系统中降水量越充沛,一是耕地旱灾减轻、田(土)产出增加;二是林草生长旺盛,林草地生产力及其林草生态系统服务功能提升,林草地产出上升,增加相关农户收入;三是有利于坡地森林覆盖率提高,减轻水土流失,提高水源涵养调蓄能力;四是降水充沛还会增加湖(库)水域面积及河渠比例,河湖调蓄功能及水环境得到改善等,在其他条件不变的情况下,使山水林(草)田湖人生命共同体系统整体得到改善,趋向健康。山子系统中相对高差越大,山坡越陡,山子系统的稳定性越低;受此影响水子系统中的坡面径流持续时间越短,林子系统中森林涵养水源的能力降低,坡面水土流失增强,湖子系统中的湖库淤积加剧,湖库调蓄功能减低;同时相对

高差越大,表明田(耕地)质量降低、耕作成本提高,人的收入降低,在“靠山吃山”的背景下,居民会增加田(耕地)的开垦、向林(草)生态系统、水(域)生态系统索取更多资源以满足需求,导致生命共同体系统出现超载,生命共同体结构、功能及其健康状态受损等。可见

山水林(草)田湖人生命共同体各子系统(或要素),缺一不可。任何一个子系统的缺失或破坏,都会导致现存的生命共同体系统的健康受损甚至崩溃,它们共同影响山水林(草)田湖人生命共同体的健康状况及演化过程、趋势。

表 1 三峡库区重庆段山水林(草)田湖人生命共同体健康评价指标体系

目标层	系统层	指标层	计算方式	物理意义
	山子系统(M)	平均海拔(M_1)	地区海拔平均数值	反映地表起伏状况和土地利用方向
		相对高差(M_2)	单位面积内最高点与最低点高程的差值	反映地表起伏状况和生态多样性、脆弱性
		$\geq 6^\circ$ 和 25° 坡地覆盖率(M_3)	以县区为单元,提取坡度 $\geq 6^\circ$ 和 25° 地表单元面积/整个单元面积	反映山坡(边坡)和生态系统的稳定性
		沟壑密度(M_4)	沟壑总长度/地区面积	反映地表的规整性和土地利用的便利性
山水林(草)田湖人生命共同体健康状况	水子系统(W)	降水量(W_1)	《重庆水资源公报》	反映了水资源的丰度和赋存程度
		地表产水模数(W_2)	(水资源总量—地下水资源量)/地区面积	反映了地表水开发潜力(承载力)
		地下水产水模数(W_3)	地下水资源量/地区面积	反映了地下水潜力
		产水系数(W_4)	水资源总量/年降水量	反映了水资源可开发利用潜力、承载力
林(草)子系统(T)	林地覆盖率(T_1)	林地面积/地区面积	反映了林地规模	
	草地覆盖率(T_2)	草地面积/地区面积	反映了草地规模	
	裸地覆盖率(T_3)	裸地面积/地区面积	反映了待修复林地生境的规模(压力)	
	林业单产(T_4)	林业产值/林地面积	反映了林地的效益	
田子系统(F)	水田比例(F_1)	水田面积/地区面积	反映了田子系统的质量	
	旱地比例(F_2)	旱地面积/地区面积	逆向反映了田子系统的质量	
	水田占耕地比例(F_3)	水田面积/(水田面积+旱地面积)	一定程度上体现“田”子系统的质量和旱涝保收程度	
	粮食单产(F_4)	粮食产量/粮食播种面积	反映了田子系统的生产效益	
	粮食播种比例(F_5)	粮食播种面积/农作物播种面积	反映了田子系统的利用结构及合理性	
湖子系统(L)	河渠比例(L_1)	河渠面积/地区面积	反映了湖子系统的利用程度	
	湖泊水库比例(L_2)	湖泊水库面积/地区面积	反映了湖子系统的调蓄能力	
	水产品单产(L_3)	水产品产量/湖泊水库面积	反映了湖系统的经济效益	
人子系统(P)	建筑用地比例(P_1)	建筑用地面积/地区面积	反映了人子系统对生命共同体的干扰强度	
	低保率(P_2)	城市居民最低保障人数/户籍统计总人口	反映了人子系统的公平性、和谐性	
	人口密度(P_3)	常住人口/地区面积	反映了人子系统对生态系统的压力	
	城镇常住居民人均可支配收入(P_4)	《重庆统计年鉴》	反映了库区城镇人子系统的生活水平	
	农村常住居民人均可支配收入(P_5)	《重庆统计年鉴》	反映了库区乡村人子系统的生活水平	

2.2 数据来源与处理

本文中基础数据来源于《重庆统计年鉴》《重庆水资源公报》和地理空间数据云。其中表 1 中涉及田(农业)、林、水产品产量、人口、收入等经济社会发展数据主要来源于《重庆统计年鉴 2016》;涉及水资源相关数据主要来源于 2015 年的《重庆水资源公报》;土地利用数据如林地面积、草地面积、裸地面积、水田面积、旱地面积、河渠面积、湖泊水库面积、建筑用地面积来源于从地理空间数据云中下载的 2015 年 30 m 空间分辨率的 Landsat TM/ETM 遥感影像,再通过人工目视解译生成。对重庆市主城到涪陵沿线 30 多个图斑的抽样核对的结果表明其精度约在 73%。地形因子如坡度、沟壑密度、平均海拔、相对高差等来源于从地理空间数据云中下载的 30 m 空间分辨率的 DEM 数据,通过在 ArcMap 中处理与分析,并与地表

起伏度相关研究成果^[27-28]进行比对后得到。

2.3 系统聚类

山水林(草)田湖人生命共同体实质上是一个复合生态系统,其健康状况评价可以借鉴生态系统健康评价的相关方法,如 TOPSIS 方法^[19]、模糊数学方法^[29]等。由于反映山水林(草)田湖人各子系统或要素之间相互影响,相互制约,任何一个因子要素指标的变化都会通过传导关系(互馈作用等方式)影响其他因子的变化,进而导致整个生命共同体的健康变化,任何一个子系统或要素的缺失或破坏,都会导致现在的整体生命共同体系统的健康受损甚至崩溃。由此可以认为:影响生命共同体健康变化的各要素都至关重要,不可或缺,因此采用等额赋权,并通过系统聚类评判模型划分库区山水林(草)田湖人生命共同体的相对健康等级和类别。本文采用平方 Euclidean

距离作为度量标准^[30],组间联接作为聚类方法,按照最近距离矩阵将距离最近的两个样品合成一类,然后逐级合并归类,直到所有样本根据组间联接法逐步计算形成距离谱系聚类结果(见图 1)。

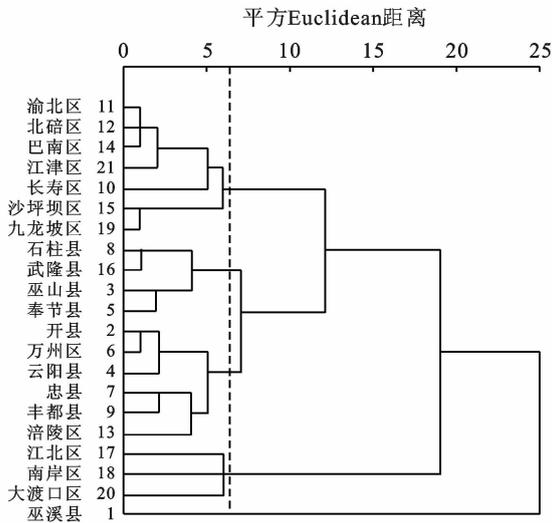


图 1 三峡重庆库区山水林(草)田湖
人生命共同体健康谱系聚类结果

3 结果与分析

3.1 重庆库区山水林(草)田湖人生命共同体健康状况分级及其特征

根据聚类结果将三峡库区重庆段 21 个区县分为 4 级:Ⅰ级(相对健康区)、Ⅱ级(亚健康区)、Ⅲ级(欠健康区)和Ⅳ级(相对不健康区)。整体看重庆库区处于亚健康状态,各类型区健康状态及特征按山、水、林(草)、田、湖与人子系统顺序简述如下。

(1) Ⅰ级(相对健康区)。包括渝北、北碚、巴南、江津、长寿、沙坪坝和九龙坡 7 个城区。这 7 个区的共同点是地势相对平缓,有宽谷,山子系统较稳定;年均降雨约 1 000 mm,水量充沛,地表产水模数高;林地覆盖率大多 15%~36%;土地肥沃,耕地面积所占比例较大,其中水田占耕地面积比重较高(23%~47%),田子系统的资源禀赋及条件均较理想。从图 1 的聚类图谱可以看出,渝北、北碚、巴南、江津、长寿共 5 区聚为一亚类,位于重庆主城区六区周边,属于城乡融合发展区,山水林(草)田湖人生命共同体各子系统没有明显短板,总体属于生命共同体相对健康区,但受成渝双城经济圈城乡融合加速发展等影响,该生命共同体承压较大,未来其健康状态的变数可能较大。而沙坪坝、九龙坡归为另一亚类,两区均为主城区,随着重庆科学城、自贸区等落地推进,将使该区产业结构提档

升级,故该区域生命共同体健康态势虽相对稳定,但要注意山脊、河流等生态廊道的保护和建设。

(2) Ⅱ级(亚健康区)。包括以山地脆弱环境为主的Ⅱ₁亚健康区和以平行岭谷环境为主的Ⅱ₂亚健康区。

①Ⅱ₁亚区。涉及石柱、武隆、巫山和奉节 4 县。该区域平均海拔高度在 950~1 100 m 之间,山多坡陡,其中 $\geq 25^\circ$ 坡地面积所占比例在 30%~50%,山子系统结构不稳定;区内年降水量充沛,大多在 990 mm 以上,但区内岩溶地貌发育,地表渗漏严重,可方便利用的水资源不足,属于典型的工程性缺水,水子系统保障程度较低;林草地覆盖率较高,多在 40%以上,林草系统生态服务功能较好;区域地表破碎,耕地以旱地、石脊见地为主,水田占耕地面积比例仅 20%~30%,水土(田)资源匹配差,田子系统属于生命共同体健康的“短板”;湖泊水域面积小,调蓄能力较弱,但水环境质量较好;从人子系统看,地表起伏度较大,适宜城市建设的用地少,人地矛盾较突出,发展压力大。故该区域林、湖子系统质量及资源赋存条件较好,发展山地现代农业潜力较大,但山、水子系统生态本底条件脆弱,田子系统赋存条件较差;同时人子系统发展相对滞后。

②Ⅱ₂亚区。涉及开县、万州区、云阳县、忠县、丰都县和涪陵区。该区域平均海拔在 570~750 m,起伏较大, $\geq 25^\circ$ 坡地所占比例在 11%~37%,具有典型的川东平行岭谷地貌特征,谷地农业生产条件较好,山岭生态脆弱,山子系统的结构及功能优劣各半;该区年降水量在 1 000 mm 左右,地表产水模数适中,谷地的水资源保障程度较高;该区林草地覆盖率为 25%~39%,林草生态系统服务价值中等。该区水田和粮食播种面积所占比例较大,谷地中的田子系统资源禀赋好。该区河湖水域面积较大,调蓄能力较高;从人子系统看,谷地适合生产发展。故该区域水、田、湖等子系统资源禀赋较优,水土热匹配良好,谷地中有利于传统农业集约经营和精耕细作;人子系统发展中等,地势起伏较大、平行岭谷中的山岭生态系统脆弱,林、草生态系统结构与功能有待提升和优化。

(3) Ⅲ级(欠健康区)。包括老主城区的江北、南岸和大渡口区。①这 3 个区属于重庆老主城区,平均海拔低于 300 m,相对高差大多在 200 m 以内,山子系统结构较稳定;②年均降水量在 900 mm 以上,地表产水模数大,长江干流过境水量丰富,水子系统保障度较高;③林地覆盖率低,林相结构较差,林草生态系统服务功能较低;④该类型区属于老城区,耕地短缺,农林产值所占比例低,田子系统供需矛盾突出;⑤河湖水域面积较大,但区内高度城镇化对河湖及水土气等资源环境的压力较大,区内河流(湖、溪流)水体环境

质量相对较差;⑥从人子系统看,该区是老城区,地表起伏较小,建筑用地比例高,城市发展迅速,城镇居民人均可支配收入较高,人子系统发展较好。故该区域除了山子系统结构较稳、人子系统发展较好外,水、林、田、湖等4大子系统承压大。

(4)Ⅳ级(相对不健康区)。重庆巫溪县属该类。

①巫溪县山高坡陡,平均海拔和相对高差分别达到1 313 m和872 m, $\geq 6^\circ$ 和 $\geq 25^\circ$ 坡地分别占县域总面积的90%和63%,山子系统结构稳定性差;加之降水量年均达1287 mm,是滑坡、泥石流等山地灾害易发多发区,水土流失严重,属于典型的生态脆弱区,山子系统隐患大;②该县降水充沛,产水模数大,但岩溶地貌发育典型,坡面径流渗漏严重导致可方便利用的水资源不足,地表工程性缺水问题较突出,反映了水子系统保障程度较低;③植物生长茂盛,林地覆盖率高,森林生态系统服务价值高,林子系统质量较好;④喀斯特区地表崎岖破碎,耕地分散且以旱地为主,耕地资源量少质差,田(耕地)子系统的质量较低;⑤水域面积小,河湖的调蓄功能较弱;同时山多坡陡的地表结构,导致区域开发成本高,适合建设的用地少,产业结构中农业所占比例大,农业生产活动对自然生态的干扰较大,导致人子系统生产、生活环境及发展条件较差,区域经济社会发展滞后。故该区域除林(草)子系统较好外,山、水、田、湖及人等其余子系统的赋存条件或发展状况均不理想。

3.2 重庆库区山水林(草)田湖人生命共同体的成因

重庆库区山水林(草)田湖人生命共同体的影响因子很多,体现在以下几个方面。①山多坡陡,地表起伏大,山子系统不够稳定,归因山子系统的有11个,占研究单元总数的52%(有些区县生命共同体健康受多个因素叠加影响,下同。);如巫山县地处大巴山东段南麓,属于中深切割中山地形,境内最大相对高差达到2 650 m,地表坡度大于 25° 的区域所占比例63%,特殊的山子系统导致县境内生态脆弱,滑坡泥石流等山地灾害多发,水土流失潜在危害大,交通、城建发展成本高,山水林(草)田湖人生命共同体系统处于相对不健康状态。②有工程型缺水或水质隐患,归因水子系统保障程度低的有8个、占38%,如武隆、石柱等县属于典型喀斯特区,地表水与地下水交替频繁,工程性缺水突出,导致旱地、石旮旯地多,耕地资源量少质差,水土流失严重,生境本底脆弱,山水林(草)田湖人生命共同体处于亚健康状态。③林草地覆盖率较低、林草生态系统结构和功能有待优化提高的林子系统的有10个,占47%;如江北、南岸和大渡口

区以及库区腹地的开县、万州等区县,这类地区人类活动强烈,植被原生性破坏殆尽,交通、城建等活动导致植被景观破碎化严重、生态廊道的连通性、完整性受干扰,林草植被的现状是该区生命共同体健康的短板。④田子系统质量数量问题的有8个,占38%,这类区县山地面积比重大或喀斯特发育,如喀斯特发育区的奉节、石柱、武隆等地形破碎、地表水渗漏严重,耕地中水田所占比例一般只在20%~30%。⑤河湖功能较差的有4个,占19%,主要分在工商业发达的城区,如江北、南岸和大渡口等;存在人类生产、生活等导致水环境容量超载问题等。⑥人子系统发展不足或产业结构不合理的有11个,占52%;这类区县在库区分布较广,由于受库区产业空心化等多重因素影响,库区经济社会发展相对滞后,城乡差异大,广阔农村地区人子系统发展不足,导致库区山水林(草)田湖人生命共同体健康状态受人子系统影响很大,如巫溪县2019年全县城乡居民人均可支配收入16 402元,仅相当于重庆市居民人均28 920元的56.7%^[31],生态保护与“靠山吃山”传统发展模式矛盾突出。可见胁迫三峡重庆库区生命共同体的诸因素中,山、水、林(草)、田、湖和人等6个子系统方面的因素都有,但其中一是归因重庆市“山城”特色地表结构,山多坡陡、水土流失较严重、生态系统本底脆弱,山子系统不够稳定;二是归因人子系统,即库区经济社会发展不足,人的发展与生态保护矛盾较突出;三是林草子系统结构和生态服务功能有待提升与优化等三个方面的短板问题最突出。

3.3 重庆库区山水林(草)田湖人生命共同体治理对策

考虑到山水林(草)田湖人生命共同体各组分或要素相互联系,相互制约,因此在治理的宏观层面上,要统筹规划,综合治理,切忌“头疼医头”,顾此失彼;但在具体技术措施层面,则应根据库区不同地域不同类别生命共同体的健康程度及其主因、存在的突出问题(短板),有针对性地采取不同的治理技术与措施^[32-33]。其中反映山子系统的各要素是客观存在的,要尽量维护山体轮廓和生态廊道的完整性。反映水子系统的水资源赋存状况也是客观存在的。研究区属于亚热带季风气候区,降水充沛,又有长江、嘉陵江、乌江等大江大河过境,从量上看并不缺水,但渝东南、渝东北地区喀斯特地貌发育典型,地表水渗漏严重,部分分散村落居民和耕地存在“工程性”缺水问题,需要通过合理规划与布局建设(或完善、修复)一些中小微水利工程(例如烟水配套工程),结合水资源高效利用技术的推广使用,将极大改善水子系统的保障程度;从水质看,需对沿岸企业进行技改和产品结构调整,提高废水排放达标率,同时加大库区养殖业

和农业面源污染的治理力度。生命共同体中林(草)、田、湖等3个子系统依附于山、水子系统,但可以通过调控库区居民的生产、生活的方式或强度及相关配套措施来影响林(草)、田、湖子系统的赋存状态及保障程度。因此,改善和提升重庆库区山水林(草)田湖人生命共同体健康状况,要重点从林(草)、田、湖及人子系统(视角)突破,因地制宜采取相关措施促进生命共同体的健康发展。

(1) 相对健康区治理对策。一是加大区域林草生态系统建设保护力度,加强河流水体、山脊、农田、交通干线两侧绿地等生态廊道建设和景观建设,形成点(如公园、绿地)一线(生态廊道)一面(如铜锣山、缙云山等)交汇连通的生态用地安全网络,特别是沙坪坝、九龙坡,随着近几年重庆自贸区、微电园、科学城等新型工贸区落户实施或在该区扩展,要注意城市生态用地的合理配置和林草生态系统结构、服务功能的优化提升,提高林草生态系统稳定性及承载力;二是推进生态农业、生态工业、生态城镇、生态社区建设,构建重庆都市圈生态型产业体系等^[33],促进库区城乡高质量绿色融合发展。

(2) 亚健康区治理对策。① II₁ 亚类区(石柱、武隆、巫山和奉节)。一是在条件具备的各区县确保建有一个中型以上的骨干水源工程并针对分散的村落、耕地配套建设小微型水利工程,加强地下水的保护和合理开发,解决生活、生产用水安全,提高水子系统安全供给保障能力;二是缩减瘠薄旱地传统粮油种植面积,依托武隆世界遗产、天坑地缝等著名喀斯特景区景点,以乡村振兴为切入点,以旅游为龙头,大力发展乡村生态旅游,发挥“旅游+”作用,实现后扶贫时期村民稳定增收,实现田子系统的功能提质增效和农户生计的转型升级,缓解保护与发展矛盾;三是加强水土流失(含地下漏失)防治和石漠化生态修复,适度扩大生态经济林草(特色经果林、道地中药材等)种植面积比例,守住发展和生态两条底线,提升林(草)子系统物质产出和生态服务功能。② II₂ 亚类区(开州、云阳、忠县、丰都、万州和涪陵)。一是利用谷地中水、田、湖等资源禀赋较好的优势,集约用地,扶持农业产业化龙头企业,发展谷地的精细农业及其农副产品加工业;二是本亚类区地处库区腹地,进一步提高生产废水和生活污水排放达标率,维护水、湖子系统的质量安全;三是保护和守住平行岭谷中“山岭”生态廊道的完整性,提升林草子系统的水源涵养功能。

(3) 欠健康区治理对策。该区症结在于人类活动强烈,造成水、林、田、湖子系统拥挤和承压,因此相应措施一是优化产业结构、发展以高新技术和服务业为

主的“节水、节地、节能”的生态型产业体系和服务体系;二是优化“生活、生产、生态”国土空间布局,加强生态廊道(包含山脊、河流及消落带廊道)、生态景观建设;三是加大生产、生活污水处理,提升河湖水域的环境容量,同时开展海绵城市试点建设。

(4) 相对不健康区治理对策。① 该区应以农田水利工程建设为重点,增加湖库调蓄能力,彻底解决人蓄饮水和生产用水,增加基本农田和水浇地面积,提高水、田子系统的供给保障能力;② 主动调整传统农业产业结构,以山地现代高效生态农业为突破口,发展林果、林药、林茶等特色林经作物和林下生态养殖,在守住生态底线的同时,能较好兼顾农村产业结构优化和农民增收,提高林(草)子系统的产品供给能力和生态系统稳定性等;③ 完善生态补偿措施,适当开展生态移民,缓解农业活动对生态系统的直接压力。

4 问题与展望

4.1 目前山水林(草)田湖人生命共同体研究中存在的主要问题

以山水林(草)田湖人生命共同体的理念,推进中国重要区域(如重要河流源区、重点工矿区、生态脆弱区、重要湿地、都市圈或城市群等)的生态系统综合整治、修复与健康治理,将是未来中国守住生态底线,推进生态文明建设,实现绿色高质量发展的重要方向和保障,亟需相关理论与技术加以指导和规范。山水林(草)田湖人生命共同体作为一个崭新的概念,目前有关的理论研究和综合治理实践中还存在一系列问题。一是理论体系亟待充实完善,二是包含山水林(草)田湖人系统治理的空间规划体系、科技支撑体系、综合监测评价体系、政策制度体系以及山水林(草)田湖人生态保护与修复工程体系^[34]等研究示范有待加强。

(1) 生命共同体健康评判的方法、指标体系缺乏共识。由于不同地域的地理环境本底要素及经济社会发展状况差异很大,加上对山水林(草)田湖人生命共同体研究刚刚起步,对生命共同体健康概念、内涵、标准理解也存在差异,因此目前国内外在山水林(草)田湖人生命共同体健康诊断评价指标体系构建和评判模型方法选择等方面缺乏共识,仅有极少数从土地利用视角或生命共同体自然—社会—经济三维结构体系等方面做了尝试。

(2) 山水林(草)田湖人生命共同体边界、类型、健康的现状问题及主导影响因素识别研判问题。如乌江流域、黔中“两湖一库”等喀斯特发育地区地表地下生命共同体边界认定、划分问题是模糊的;不同地域类型如重要城市群、工矿区、重要湿地等生命共同体

健康的标准(等级)划分及健康的多维(整体性、功能性、生态服务价值等)测度,生命共同体健康的主导影响因素识别等亟需进一步深入探讨。

(3) 生命共同体各组分因子之间的关联性、相互影响程度及互馈响应机制问题。山水林(草)田湖人各组分因子之间及其与人类活动的相互影响关系、影响程度、影响过程、作用与响应机制等科学问题均有待厘清。

(4) 山水林(草)田湖人生命共同体健康演变规律及驱动机制问题。如不同地域不同类型山水林(草)田湖人生命共同体健康演变的时空规律、趋势、预测预警及其驱动过程与驱动机制,不同尺度下(如主干与支流流域)山水林(草)田湖人生命共同体健康演变的协同性、尺度效应等研究薄弱。

(5) 山水林(草)田湖人生命共同体复合生态系统修复关键技术体系构建及适应性问题。不同地域不同健康等级类型的山水林(草)田湖人生命共同体生态系统的修复、维护、管控的关键共性技术及治理方案体系以及这些技术模式推广适应性如何等问题缺乏深入研究和实证分析。

(6) 山水林(草)田湖人生命共同体健康修复模式及工程布局问题。不同地域地貌类型区山水林(草)田湖修复、维护及健康管控的模式、修复管控工程的布局等空间异质性显著。如重庆三峡库区平行岭谷地区山岭、槽谷(谷地)、河湖等地域分异明显,不同区域的山水林(草)田湖人修复与健康管控的模式差异很大,山岭区以水源涵养、生物多样性保护、山脊(岭)生态廊道的完整性维护为主;槽谷为人类活动密集区,城镇、乡村聚落和耕地的主要分布区,以土壤污染防治、基于生物多样性保护的土壤综合整治、地力修复为主;河谷(峡谷)地区则以水环境保护、边坡治理及消落带景观建设为主,在山水林(草)田湖人系统修复工程项目任务的内容选择与布局上要因地制宜、科学合理。

(7) 山水林(草)田湖人生命共同体生态系统保护、修复、适应性管理与经营的成效评价及动态监测体系问题。

(8) 山水林(草)田湖草系统总体规划和实施方案的科学编制问题。包括国家层面和重点区域的规划编制、目标、定位、重点任务部署等。

4.2 山水林(草)田湖人生命共同体研究展望

(1) 未来一段时期内,山水林(草)田湖人系统修复治理工作要在全面了解山水林(草)田湖人生命共同体系统性、整体性、功能性特征的前提下,进一步加强基础研究。①精准理解山水林(草)田湖人生命共同体内涵,科学构建反映生命共同体质量、健康及其生态服务价值的多维测度指标体系;②加强指标因子

(或要素)之间的关联性研究,解构各要素(子系统、组分或因子)之间的关系以及相互影响的程度,并量化其依存关系^[35];③科学划分山水林(草)田湖人生命共同体系统类型、边界及功能区划^[1,36],识别生命共同体系统内部以及山水林(草)田湖人不同子系统之间物质、能量交换过程,揭示生命共同体系统与人类活动的互馈响应机制、弹性与阈值^[35];④解析不同尺度下(如长江流域主干与嘉陵江、乌江等支流、洞庭湖流域等)或不同地域(如长江流域上下游)生命共同体协同演化规律、退化机理与主控因素以及尺度效应;⑤评估典型地域山水林(草)田湖人生命共同体的承载力并开展变化环境下山水林(草)田湖人生命共同体演变过程及情景模拟等研究。

(2) 在应用技术方面应重视以下工作。①从国家层面结合典型地域科学编制山水林(草)田湖人生命共同体综合治理修复总体规划与系列专题规划及相应的实施方案,确定不同尺度不同地域不同类型山水林(草)田湖人生命共同体系统保护修复的目标及功能定位;②尽快出台山水林(草)田湖人生命共同体治理修复及健康管控与持续经营原则和技术规程;③明晰不同地域不同类型山水林(草)田湖人生命共同体健康面临的主要问题(短板)及关键胁迫因子,提出山水林(草)田湖人系统中优先治理的顺序、主要内容和工程任务与空间布局^[35,37],如山水林(草)田湖人系统修复在水土保持中的治理要点^[38]等;④研究适宜的治理技术方案与实现路径、模式;⑤在重点区域或典型区域开展山水林(草)田湖人生命共同体系统治理修复与健康管理的试验示范;⑥科学测定山水林(草)田湖人系统保护与治理的成效,为生态补偿提供依据,并总结提出不同地域类型区山水林(草)田湖人治理的典型地域范式;⑦建立重点区域山水林(草)田湖人生命共同体健康演变监测体系、预测预警及管理系统;⑧探索基于不同目标取向(如基于生态系统服务功能价值的、基于生态安全的、基于绿色发展效益等)山水林(草)田湖人生命共同体复合生态系统保护或修复中各利益主体(如政府、公司、农户等)权益的均衡协调机制与路径;⑨制定和完善山水林(草)田湖人系统保护与修复的法律法规体系和政策体制机制等。为科学实现山水林(草)田湖人生命共同体系统的统筹共治、健康管理与持续经营提供科学依据。

[参 考 文 献]

- [1] 吕思思,苏维词,赵卫权,等.山水林田湖生命共同体健康评价:以红枫湖区域为例[J].长江流域资源与环境,2019,28(8):1987-1997.
- [2] 刘威尔,宇振荣.山水林田湖生命共同体生态保护和修复

- [J]. 国土资源情报, 2016(10):37-39.
- [3] Holling C S. Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems [J]. *Ecosystems*, 2001, 4(5):390-405.
- [4] Uehara T, Cordier M, Hamaide B. Fully dynamic input-output/system dynamics modeling for ecological-economic system analysis [J]. *Sustainability*, 2018, 10(6):1765-1772.
- [5] Boyd I L. The Art of Ecological Modeling [J]. *Science*, 2012, 337(6092):306-307.
- [6] Schaeffer D J, Cox D K. Establishing ecosystem threshold criteria [M]//Norton B G, Costanza R, Haskell B. *Ecosystem Health: New Goals for Environmental Management*. Washington DC: Island Press, 1992:157-169.
- [7] Uehara T. Ecological threshold and ecological economic threshold: Implications from an ecological economic model with adaptation [J]. *Ecological Economics*, 2013, 93(6):374-384.
- [8] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J.. Assessing Ecosystem Health [J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 1998, 13(10):397-402.
- [9] Jerry M S, Mariano B, Annalee Y, et al. Developing Ecosystem Health Indicators in Centro Habana: A Community-based Approach [J]. *Ecosystem Health*, 2001, 7(1):15-26.
- [10] Jennifer Gentry-Shields, Jamie Bartram. Human health and the water environment: Using the DPSEEA framework to identify the driving forces of disease [J]. *Science of the Total Environment*, 2014(468/469):306-314.
- [11] 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.
- [12] 曹欢, 苏维词. 基于模糊数学综合评价法的喀斯特生态系统健康评价[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(3):148-154.
- [13] 宁立新, 马兰, 周云凯, 等. 基于 PSR 模型的江苏海岸带生态系统健康时空变化研究[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(2):534-543.
- [14] 潘竟虎, 刘晓. 基于空间主成分和最小累积阻力模型的内陆河景观生态安全评价与格局优化:以张掖市甘州区为例[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(10):217-227.
- [15] 张峰, 杨俊, 席建超, 等. 基于 DPSIRM 健康距离法的南四湖湖泊生态系统健康评价[J]. *资源科学*, 2014, 36(4):831-839.
- [16] 邵田, 张浩, 邹锦明, 等. 三峡库区(重庆段)生态系统健康评价[J]. *环境科学研究*, 2008, 21(2):99-104.
- [17] 李建国, 刘金萍, 刘丽丽, 等. 基于灰色极大熵原理的三峡库区(重庆段)生态系统健康评价[J]. *环境科学学报*, 2010, 30(11):2344-2352.
- [18] 秦趣, 张美竹, 杨琴, 等. 重庆三峡库区生态经济区县域生态系统健康评价[J]. *长江科学院院报* 2013, 30(12):14-19.
- [19] 洪惠坤, 廖和平, 魏朝富, 等. 基于改进 TOPSIS 方法的三峡库区生态敏感区土地利用系统健康评价[J]. *生态学报*, 2015, 35(24):8016-8027.
- [20] 王雨辰. 习近平“生命共同体”概念的生态哲学阐释[J]. *社会科学战线*, 2018(2):1-7.
- [21] 黄国勤. 树立正确生态观 统筹山水林田湖草系统治理[J]. *中国井冈山干部学院学报*, 2017(6):128-132.
- [22] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇, 等. 重庆市三峡库区水土流失特征及类型区划分[J]. *水土保持研究*, 2009, 16(1):17-21.
- [23] 重庆市水利局. 2017 重庆市水土保持公报[Z]. 重庆:重庆市水利局, 2017.
- [24] 齐静, 袁兴中, 刘红, 等. 重庆市三峡库区水源涵养重要功能区生态系统服务功能时空演变特征[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(3):256-260.
- [25] 朱光福, 周超, 赵军峰. 新时代库区高质量发展的新难题和破解路径:以长江三峡库区为例[J]. *西部论坛*, 2020(1):90-99.
- [26] 张胜, 尚文超, 等. 长江经济带绿色发展, 重庆如何发挥示范作用[N]. *光明日报*, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1651537531194998998&wfr=spider&for=pc>.
- [27] 杨吉, 苏维词. 重庆市地表起伏度及其对农业生产的影响分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(7):140-149.
- [28] 郭晓娜, 苏维词, 李强, 等. 三峡库区(重庆段)地表起伏度及其对生态系统服务价值的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2016, 32(6):887-894.
- [29] 官冬杰, 苏维词. 城市生态系统健康评价方法及其应用研究[J]. *环境科学学报*, 2006, 26(10):1716-1722.
- [30] 祝新亚, 李许坚. 基于聚类分析和判别分析的中国主要省市综合实力状况评价[J]. *北方经济*, 2011(8):18-20.
- [31] 重庆统计局、国家统计局重庆调查总队. *重庆统计年鉴(2019)*[M]. 北京:中国统计出版社, 2020.
- [32] 蒋兴国, 郑杰, 许登奎. 祁连山山水林田湖草保护修复调查研究之二:祁连山生态环境与可持续发展存在的问题[J]. *边疆经济与文化*, 2018(3):31-34.
- [33] 潘真真, 苏维词, 王建伟. 重庆城市生态化水平评价方法及应用[J]. *长江科学院院报*, 2016, 33(7) 34-38, 45.
- [34] 山水林田湖草系统治理战略规划研究项目启动. *中国绿色时报*[N]. 2019-01-09, http://www.forestry.gov.cn/whitepaper/201811/t20181103_4668996.shtml.
- [35] 白春礼, 以创新驱动提升山水林田湖草系统治理能力, *中国绿色时报*[N]. 2018, 11, 2 <http://www.cas.cn/yw/201811/t20181103_4668996.shtml>.
- [36] 宋伟, 韩贇, 刘琳. 山水林田湖草生态问题系统诊断与保护修复综合分区研究:以陕西省为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(23):8975-8989.
- [37] 邹长新, 王燕, 王文林, 等. 山水林田湖草系统原理与生态保护修复研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(11):961-967.
- [38] 余新晓, 贾国栋. 统筹山水林田湖草系统治理, 带动水土保持新发展[J]. *中国水土保持*, 2019(1):11-14.