

山水林田湖草·城生命共同体健康轨迹评价^{*} ——以三峡库区重庆段为例

曾春芬^{1,2}, 周仪琪², 段振东², 刘 扬², 王 凯², 邵景安^{1,2}

(1. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室; 2. 重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331)

摘要:【目的】基于山水林田湖草生命共同体理论,研究三峡库区重庆段的生态资源合理配置问题。【方法】考虑人类活动对生命共同体的影响作用,加入“城”的要素,结合区域自然与社会经济发展特征选取典型代表年,开展三峡库区重庆段的山水林田湖草·城生命共同体健康轨迹评价,利用 RAGA-PPCE 探寻变化分异格局与健康驱动机制。【结果】1) 山水林田湖草·城呈现出空间地域的稳定性和时间序列的动态性,且健康状况日趋良好。从2000年至2017年,中度病态占比由27.27%下降至4.45%,仅巫溪县处于中度病态;2) 健康评价指标体系主要影响因素为驱动力(0.190)、响应(0.168)和状态(0.143),主要影响因子是城镇化率(0.218)、人口密度(0.210)、绿化覆盖率(0.206)、无害化垃圾处理率(0.193)和林地覆盖率(0.188);3) 重庆主城区及附近区(县),需着重考虑土地资源的综合利用;库区腹部侧重生态保护前提下可寻求增值效应。【结论】首次以山水林田湖草·城生命共同体尝试建立健康评价指标体系,综合考虑人地关系以及人与自然的协同发展,开展生命共同体健康轨迹评价与发展对策,对区域生态建设尤其是三峡库区自然资源国情与长江流域生态屏障建设具有重要的学术价值与理论创新。

关键词:山水林田湖草·城;生命共同体;健康轨迹评价;三峡库区重庆段;生态屏障

中图分类号:X826

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2020)04-0057-11

当前中国受粗放经济发展模式、人口持续增长、高强度资源环境开发等因素影响,生态系统退化严重,在环境保护压力日益增加的同时持续制约着自身的可持续发展。习近平总书记在2013年11月^[1]首次提出了山水林田湖生命共同体的治国理政方针,阐述了山水林田湖生命共同体是解决中国生态资源合理配置、协调人地关系的重要思想理论;2017年7月,习近平总书记主持召开中央全面深化改革领导小组第三十七次会议中^[3]将“山水林田湖”扩展为“山水林田湖草”,这对推进草原生态文明建设具有里程碑式的重大意义;同年10月,习近平总书记在党的十九大报告中提出:“人与自然是生命共同体,人类必须尊重自然、顺应自然、保护自然。我们要建设的现代化是人与自然和谐共生的现代化。”基于此,本文认为生命共同体中应该体现“人”这个关键要素,而城市是人类文明的象征,是人类社会发展到一定程度的产物,“城”这个要素可以具象化“人”这个概念,因此本文在研究生命共同体时,加入了“城”的因素,即“山水林田湖草·城”生命共同体。

目前国外学者对“山水林田湖草”生命共同体研究较少,且大多是对单一子系统的健康评价进行探究, Kim 等人^[4]利用水化学、物理生境质量和生物完整性的综合对河流生态健康进行评估, Tomáš 等人^[5]采用二次抽样和回归相结合的方法进行森林健康状况评价。国内学者对“山水林田湖草”的研究主要集中在内涵特征、机制体制和启示作用^[6]等方面。在内涵特征方面,李达净等人^[7]提出“山水林田湖草-人”生命共同体,重点探讨了生命共同体中与人紧密相关的问题。成金华等人^[8]认为要运用系统论的思想方法管理自然资源和生态系统,实施自然资源资产同一管理,构建国土空间开发保护制度,推进生态系统的整体保护、系统修复、综合治理,强化领导干部统筹山水林田湖草系统治理责任。在机制体制方面,张进德^[9]提出系统性、区域性、整体性结合国家生态战略格局,帮助科学实施山水林田湖草修复工程。李开明^[10]探讨从寻根究底、量体裁衣、推陈出新这3个环节来推动

^{*} 收稿日期:2020-05-12 网络出版时间:2020-09-10 15:06

资助项目:重庆市社会科学规划项目青年项目(No. 2019QNGL23);重庆市教育委员会青年项目(No. KJQN201900524);重庆市自然科学基金面上项目(No. cstc2019jcyj-msxmX0227);2018年院士专家工作站进站院士牵头科技创新引导专项

第一作者简介:曾春芬,女,副教授,博士,研究方向为水文水资源、生态保护, E-mail: cfzeng18@163.com;通信作者:邵景安,男,教授,博士, E-mail: shao_ja2003@sohu.com

网络出版地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20200909.1551.002.html>

山水林田湖草生态保护修复。在启示作用方面,赵培霖等人^[11]指出海绵城市的建设应该与山水林田湖草理念相互融合、相互关联。在生态系统健康评价、生态系统服务功能评价、生态系统的多样性与稳定性等相关领域,部分学者提出了自己的看法。孙然好等人^[12]以河流生态系统为例,从人类活动、河流生境、水质水量等多个方面对河流生态系统健康因子进行了评价,提出进行流域整体的河流生态系统健康评价、跨区域的综合评价对比、多学科评价指标等几个方面深入研究的建议。丁肇慰等人^[13]通过对长江流域 2000—2015 年生态系统质量及服务变化特征进行分析之后,发现长江流域生态系统质量不高,且存在生态系统质量与服务局部退化的现象。宋静静等人^[14]通过条件价值法对黄海海域物种多样性维持服务价值(2002—2012 年)进行了评估,对 17 种珍稀濒危物种进行价值排序,为黄海生物多样性价值发现、价值实现与展示提供了科学基础和理论支持。

三峡工程是当前世界上最大的水利工程。该工程位于长江上游,因此三峡库区的生态环境健康关系着整个长江流域。由于人地关系复杂,所以该地区一直是国内外学者研究的热点。其中,三峡工程建成后库区重庆段因泥沙淤积、独特的地形气候、规划管理缺失等问题,导致当前生态环境形势严峻。此外,三峡工程是大规模的人造地貌,影响了库区范围原有生命共同体的稳定与水土要素耦合关系,使原有生命共同体的结构功能发生了一定程度的变化。为此,本文以三峡库区重庆段为出发点,利用 DPSIRM 模型建立健康评价体系,采用 RAGA-PPCE 模型进行全局寻优并与数据降维相结合,得到能反映健康状况的投影值,阐述库区山水林田湖草·城生命共同体的健康状况的空间分布特征与时间变化轨迹,以此来研究三峡工程建成对库区原有生命共同体的影响;探讨以“山水林田湖草城”为基础的人地关系改善措施,促进库区人与自然和谐共生,旨在为库区的国土资源的空间优化与健康生命共同体的构建工作提供参考。

1 研究区概况

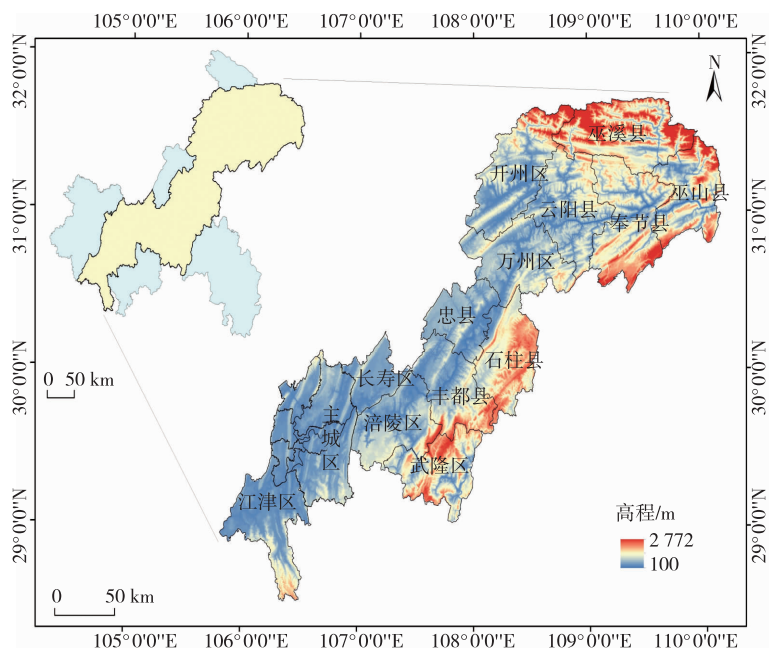
1.1 研究区域概况

三峡库区重庆段位于长江上游末端,地理范围为北纬 $28^{\circ}31' \sim 31^{\circ}44'$ 、东经 $105^{\circ}49' \sim 110^{\circ}12'$,包括 22 个重庆区县,西起江津区,东至巫山县,北达开州区,南抵武隆县,总面积约 4.47 万 km^2 ,占三峡库区总面积的 85.60%。该地区处于川东褶皱带、大巴山断褶带和川鄂湘黔隆起褶皱带三大构造单元,地貌以山地丘陵为主;气候属中亚热带湿润性季风气候,降雨充沛;土壤类型主要为紫色土、黄棕壤、水稻土、石灰土等;植被类型丰富,以亚热带常绿阔叶林、暖性针叶林为主。

库区内适合亚热带-暖温带-温带多种植物生长,农业资源十分丰富,但经济发展较为缓慢。截至 2017 年,三峡库区重庆段国民生产总值为 14 463.62 亿元,户籍总人口数 2 005.99 万人,其中城镇人口 1 351.97 万人。库区受地质构造的影响,泥石流、塌方、滑坡等地质灾害频发,且三峡库区的修建对库区生态系统的完整性造成了破坏。协调人地关系,就需要构造人与自然互利互助的生命共同体,解决生态环境问题,恢复山清水秀,以达到合理开发农业资源助力经济发展的目的。

1.2 数据来源

本研究所采用的数据主要由 3 部分组成:DEM 数据、遥感影像数据和基础统计数据(见表 1)。其中 DEM 数据、遥感影像数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)的 GDEM 30M 分辨率数字高程数据、Landsat 7 ETM SLC-off 卫星数字产品和 Landsat 8 OLI_TRIS 卫星数字产品,通过在 ArcMap 软件上处理、分析,获取指标数据。基础统计数据中主



注:底图来源于地理国情检测云平台,审图号:渝 S(2002)02036 号,下同

图 1 三峡库区高程及行政区划

Fig. 1 elevation and administrative division of three gorges reservoir area

要包括人类社会活动产生的各类指标,数据来源于统计年鉴与环境资源公报,经计算、转换获取指标数据。

在年份选择上,考虑到等差间隔选取年份不能很好体现研究区域的差异性,故本文最终选取 2000 年、2004 年、2008 年、2011 年、2015 年和 2017 年 6 个时间节点进行研究,选取依据如下:2000 年为重庆直辖后首个 GDP 突增点;2003 正式蓄水水位达 135 m,考虑到影响的延后效应,故选取 2004 年;2008 年移民扰动基本结束,且完成了首次 175 m 实验性蓄水;由国家统计局数据获知,2011 年为重庆市城市化进程突变点;2014 年 9 月入库洪峰流量达 $55\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$,根据径流的延迟性,选取 2015 年;依据时效性原则,选取可获取完整数据的 2017 年。

表 1 数据来源
Tab. 1 Data source

原数据	指标	数据来源
DEM 数据	平均海拔	地理空间数据云
遥感影像数据	草地覆盖率、耕地覆盖率、林地覆盖率、建筑用地覆盖率、6°以上坡耕地面积、景观破碎度	地理空间数据云
	城镇化率、人口密度、人均 GDP、产业结构、人均二氧化碳排放量、万元 GDP 水耗、万元 GDP 固废排放量、万元 GDP 能耗和产值占比	《重庆市统计年鉴》、《中国县市经济统计年鉴》、《中国区域经济统计年鉴》
基础统计数据	水土保持面积、平均侵蚀模数、人均水资源量、降水量、重要水功能区水质达标率、洪旱灾情、农作物受灾面积、化肥农药施用量、水资源开发利用、无害化垃圾处理率、生活污水处理率、工业固废综合利用率、水土流失治理率、矿山治理程度、环境保护投资占 GDP 比重、环境基础设施建设投入、工业污染治理投入	《重庆市环境状况公报》、《重庆市环境统计公报》、《重庆市水资源公报》

2 研究方法

2.1 山水林田湖草·城生命共同体概念的提出

“山水林田湖草·城”生命共同体,是指山、水、林、田、湖、草、城各要素通过物质循环、信息传递和能量流动形成一个相互依附的生命共同体。“人的命脉在田,田的命脉在水,水的命脉在山,山的命脉在土,土的命脉在树”^[15],而树的命脉在人,人又集聚在城。人通过耕作田地收获农作物,以此维持生命;河流、湖泊涵养田地,滋润土壤辅助万物生长;山是田地的根源,凝聚养料维系耕地;草地、森林则作为生产者吸取阳光雨露,协调生态平衡,改善气候降水;城是目前人口聚集的最大居民点,人类的大多数活动围绕着城展开,以城为单位影响着自然生态系统各方面。

人类作为地球生物链中的顶级消费者,对自然生态有着巨大影响力,既能科学、合理、有序地利用各生态资源,让生态系统可协调发展,也能打破生态系统的平衡,导致生态环境恶化。因此,“山水林田湖草·城”生命共同体能否协调发展的关键是人类社会的发展能否顺应自然、尊重自然、合理有效地利用自然,与自然和谐相处。将“城”纳入生命共同体中,能更透彻地了解人地关系,阐明人与自然和谐的根本,有利于实现对资源的合理配置,为实现人与自然和谐共生的现代化建设提供支持。所以,“山水林田湖草·城”生命共同体本质上是指在特定区域内以城为主体的社会经济系统与山水林田湖草等自然资源要素协同作用形成的自然生态系统,构成了一个人与自然共存、共生、共享的复合生态系统。

2.2 山水林田湖草·城生命共同体健康评价体系的构建

山水林田湖草·城生命共同体的健康发展,究其根本是在各要素组成的自然环境与人类社会之间寻求一种动态平衡的发展模式,追求人与自然和谐相处的绿色循环状态。山水林田湖草·城生命共同体具有尺度性、整体性等特征,在不同发展阶段构建的健康发展评价指标体系必须具有客观公正性。健康评价指标般选取、各指标的权重赋值以及相关指标计算方法是最核心的问题。

在中国知网以“山水林田湖草城”和“健康评价指标”为关键词组合,检索出 2013—2019 年这一时段的相关文献有 200 条篇,同时整理不同生态系统健康评价相关的指标体系,分析不同研究者关于生态系统健康构建的指标体系并进一步归纳总结,筛选出山、河水、林草、田、湖库、城等 6 个方面应用频次较高的 3 级指标(见图 2),

这些高频指标可作为评价三峡库区重庆段绿色发展的重要参考。

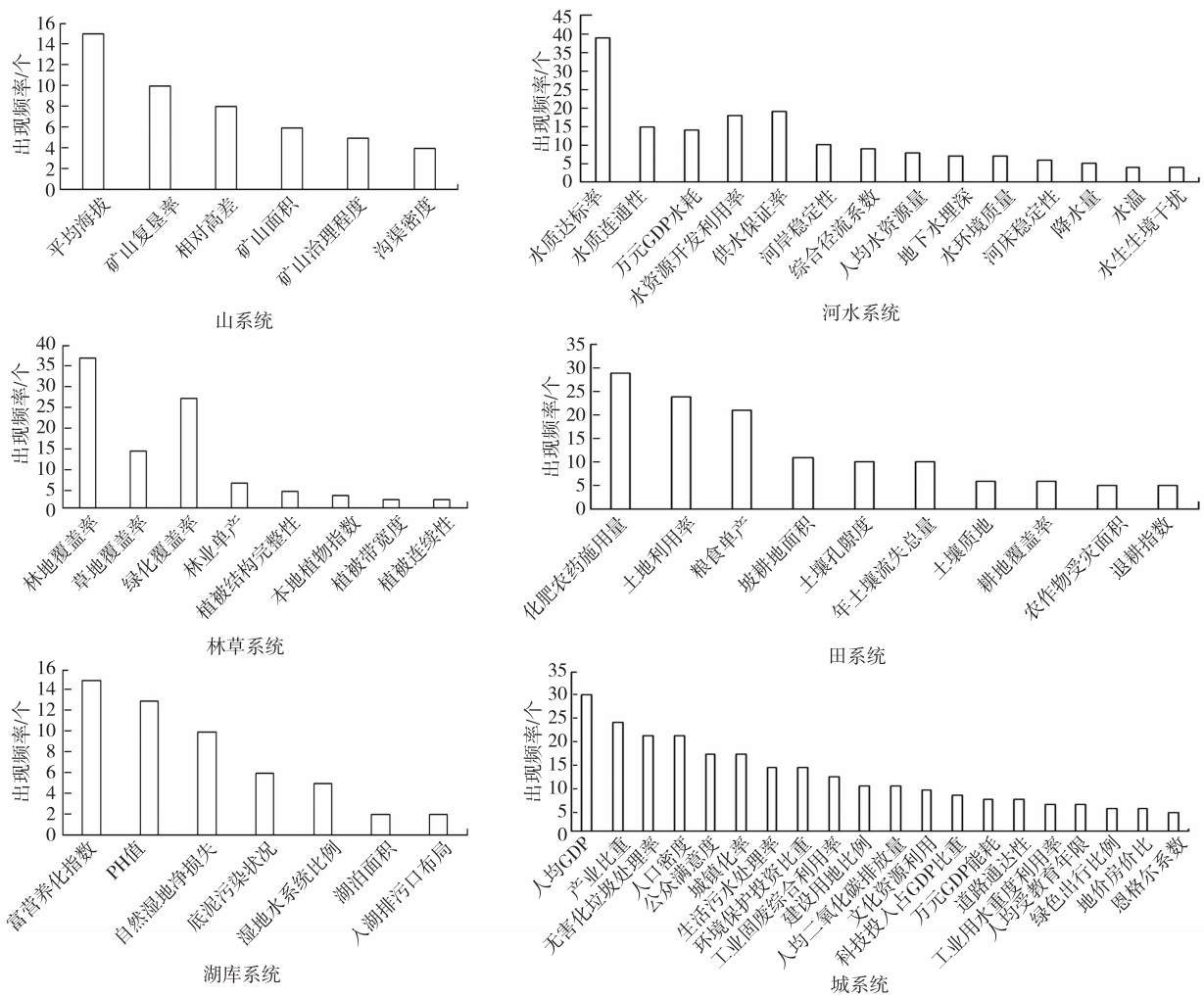


图 2 文献报道指标体系中关于生态系统健康发展评价相关的高频指标

Fig. 2 High frequency indicators related to assessment of ecosystem health development in document reporting index system

目前国内采用的研究模型大多是 1993 年由欧洲环境署 (European environment agency, EFA) 提出的 PSR^[16] 模型和 DSR 模型, 由于社会经济、环境生态的相互作用日趋复杂, 专家们在此基础上提出了包含经济、社会、环境、政策 4 大要素的 DPSIR^[17] 模型, 不仅弥补了 PSR 模型所不能体现的人类社会行为影响环境后的生态反馈这一缺点, 而且更清楚细致地表明了社会、经济发展对环境的影响。由于山水林田湖草·城生命共同体是一个包含多种影响因素的混合体系, 各子系统互相作用、互相渗透、互相融合, 它们的动态变化、来源结果、发展过程对生态系统健康状况具有深刻的影响, 故本文应用驱动力-压力-状态-影响-响应-管理 (Driving force-Pressure-State-Impact-Response-Management, DPSIRM) 模型。DPSIRM 模型最早由杨俊等人^[18] 提出, 目前 DPSIRM 模型已用于水环境脆弱性评价^[19]、水资源承载力^[20]、人居环境安全^[21]、湖泊生态系统健康^[21] 等, 而在山水林田湖草·城生命共同体生态健康评价方面应用较少。

根据 DPSIRM 概念模型, 结合山水林田湖草·城生命共同体影响因子的典型性和系统性要求, 考虑指标数据的可获取性和可操作性, 再通过专家打分法舍弃不合理指标, 最后共选取了 36 个指标 (表 2)。DPSIRM 模型综合考虑影响山水林田湖草·城生命共同体的经济、社会、生态、环境等因素, 刻画了山水林田湖草·城生命共同体内在机理, 能更大程度上完整、科学地反映系统内部各要素之间的关系, 突出自然环境与人类的耦合关系, 增强共同体内部各要素统筹管理。

2.3 RAGA-PPCE 模型

山水林田湖草·城生命共同体具有一定的复杂性, 不能单纯地使用线性方法来进行研究, 投影寻踪方法 (Projection pursuit, PP) 可将高维数据通过某种组合投影到低维子空间上, 并通过极小化某个投影指标, 寻找出

能反映原高维数据结构或特征的投影,在低维空间上对数据结构进行分析,以达到研究和分析高维数据的目的。PP 方法可以很好地解决非线性问题,评价公正客观,能够在很大程度上减少维数祸根的影响。而基于实数编码的加速遗传算法求解模型(RAGA-PPCE)将标准遗传算法改为实数编码的形式,采用加速循环的方式使求解速度加快。山水林田湖草·城生命共同体包含多维度系统,且要素之间关系复杂,故 RAGA-PPCE 模型适宜于解决山水林田湖草·城生命共同体健康问题。

表 2 山水林田湖草·城生命共同体健康评价指标体系^[18,21]
Tab. 2 Health evaluation index system of life community in mountain, water, forest, field, lake, grass and country^[18,21]

目标层	因子层	变量	指标层	方向	数据来源
山水林田湖草·城 生命共同体健康 评价	驱动力	X1	城镇化率	+	统计年鉴
		X2	人口密度	—	统计年鉴,常住人口/区域面积
		X3	水土保持面积	+	环境状况公报
		X4	人均 GDP	+	统计年鉴,生产总值/常住人口数
	压力	X5	产业结构	+	统计年鉴,赫芬达尔指数法
		X6	人均二氧化碳排放量	—	统计年鉴,碳排放量/常住人口数
		X7	平均侵蚀模数	—	环境状况公报
		X8	万元 GDP 水耗	—	统计年鉴,总水耗/生产总值
		X9	万元 GDP 固废排放量	—	统计年鉴,总固废/生产总值
		X10	万元 GDP 能耗	—	统计年鉴,总能耗/生产总值
	状态	X11	平均海拔		DEM 高程提取
		X12	人均水资源量	+	水资源公报,地表水/常住人口数
		X13	降水量		水资源公报
		X14	6°以上坡耕地面积	—	坡度数据与耕地面积叠加
		X15	草地覆盖率	+	遥感影像解译
		X16	耕地覆盖率	+	遥感影像解译
		X17	林地覆盖率	+	遥感影像解译
		X18	建筑用地覆盖率	—	遥感影像解译
		X19	产值占比	+	统计年鉴,赫芬达尔指数法
	影响	X20	景观破碎度	—	ArcGIS 获取斑块数/区域面积
		X21	重要水功能区水质达标率	+	环境状况公报、水资源公报
		X22	洪旱灾情	—	环境状况公报
		X23	农作物受灾面积	—	环境状况公报
		X24	化肥农药施用量	—	环境状况公报
		X25	水资源开发利用率	+	环境状况公报、水资源公报
	响应	X26	无害化垃圾处理率	+	环境状况公报
		X27	生活污水处理率	+	环境状况公报、水资源公报
		X28	工业固废综合利用率	+	环境状况公报
		X29	绿化覆盖率	+	基于遥感影像解译获取
		X30	公众满意度	+	问卷调查
		X31	水土流失治理率	+	环境状况公报、水资源公报
		X32	矿山治理程度	+	环境状况公报
		X33	退耕指数	+	环境状况公报、水资源公报
	管理	X34	环境保护投资占 GDP 比重	+	环境状况公报
		X35	环境基础设施建设投入	+	环境状况公报
		X36	工业污染治理投入	+	环境状况公报

3 结果与讨论

3.1 结果

3.1.1 时空格局演变 在三峡库区重庆段中,选取了 6 个特征年份进行研究,将评价值分为健康、亚健康、不健康、轻度病态、中度病态 5 个健康评价等级(表 3),并进行可视化显示(图 3)。从 2000 年到 2017 年,三峡库区重庆段总体趋向健康状态,各区县的健康评价呈现出不同程度的增长趋势。

2000 年的 3 个健康区(沙坪坝区、渝中区、渝北区)均位于渝西南地区(重庆主城区),2017 年的 6 个健康区仍属于主城区;2000 年的 3 个中度病态县分别是开县、巫山县、巫溪县,至 2017 年仅余巫溪县,皆属于渝东北高山地区。健康区呈线性增长,趋势较缓;亚健康区比例由 9.1%上升至 27.3%;不健康区逐年减少;轻度病态仅在初期与末期有所优化;中度病态区域基数小,变化慢,至 2017 年仍有巫溪县处于中度病态。

表 3 2000—2017 年三峡库区山水林田湖草·城生命共同体健康变化综合评价值
Tab.3 Comprehensive evaluation value of health changes in the Three Gorges reservoir area from 2000 to 2017

序号	区县	2000	2004	2008	2011	2015	2017	健康状态
1	沙坪坝区	4.848	4.989	5.033	5.046	5.063	5.083	健康
2	渝中区	4.649	4.849	4.869	5.024	5.093	5.130	
3	渝北区	4.561	4.617	4.632	4.824	5.093	5.094	
4	江北区	4.453	4.543	4.604	4.848	4.871	5.056	
5	南岸区	4.306	4.409	4.452	4.522	4.656	4.783	
6	大渡口区	3.474	3.876	4.403	4.257	4.602	4.647	
7	九龙坡区	2.897	3.115	3.779	3.789	3.790	3.904	亚健康
8	巴南区	2.870	3.409	3.332	3.764	3.778	3.874	
9	江津区	2.680	2.690	2.895	3.370	3.721	3.741	
10	北碚区	2.904	3.081	3.207	3.360	3.628	3.685	
11	万州区	2.771	2.869	3.147	3.226	3.298	3.559	
12	涪陵区	2.752	2.867	2.929	2.976	3.141	3.504	
13	长寿区	2.433	2.712	2.766	2.770	2.785	2.866	不健康
14	丰都县	2.427	2.572	2.635	2.695	2.741	2.865	
15	石柱县	2.265	2.316	2.373	2.425	2.460	2.864	
16	武隆县	1.894	1.956	2.000	2.143	2.459	2.596	
17	奉节县	1.688	1.689	1.956	1.973	1.999	2.346	
18	忠县	1.612	1.653	1.667	1.956	1.995	2.322	
19	云阳县	1.606	1.653	1.660	1.946	1.956	1.975	轻度病态
20	开县	1.218	1.302	1.331	1.514	1.605	1.653	中度病态
21	巫山县	1.109	1.213	1.271	1.321	1.605	1.650	
22	巫溪县	0.772	0.924	0.967	1.091	1.212	1.321	

注:重庆市主城区包括序号 1—8 和序号 10 所对应的区

3.1.2 驱动因子状况 为进一步分析各指标对三峡库区重庆段山水林田湖草·城生命共同体健康评价指标体系贡献程度,采用最佳向量投影做出进一步解释。最佳向量投影方向大小反映各指标在健康评价中的贡献程

度,绝对值越大,贡献度越大。为详尽分析库区共同体健康影响因素的主次及这些因素的时间序列变化,对各年份最佳投影方向进行统计(图4a)。从宏观上把握2000—2017年间三峡库区山水林田湖草·城健康状况,按照驱动力、压力、状态、影响、响应、管理来对指标进行归类求和,得到6个要素的最佳投影向量值(图4b)。2000—2017年健康评价指标体系主要影响因素为驱动力(0.190)、响应(0.168)和状态(0.143),主要影响因素是城镇化率(0.218)、人口密度(0.210)、绿化覆盖率(0.206)、无害化垃圾处理率(0.193)和林地覆盖率(0.188)等。

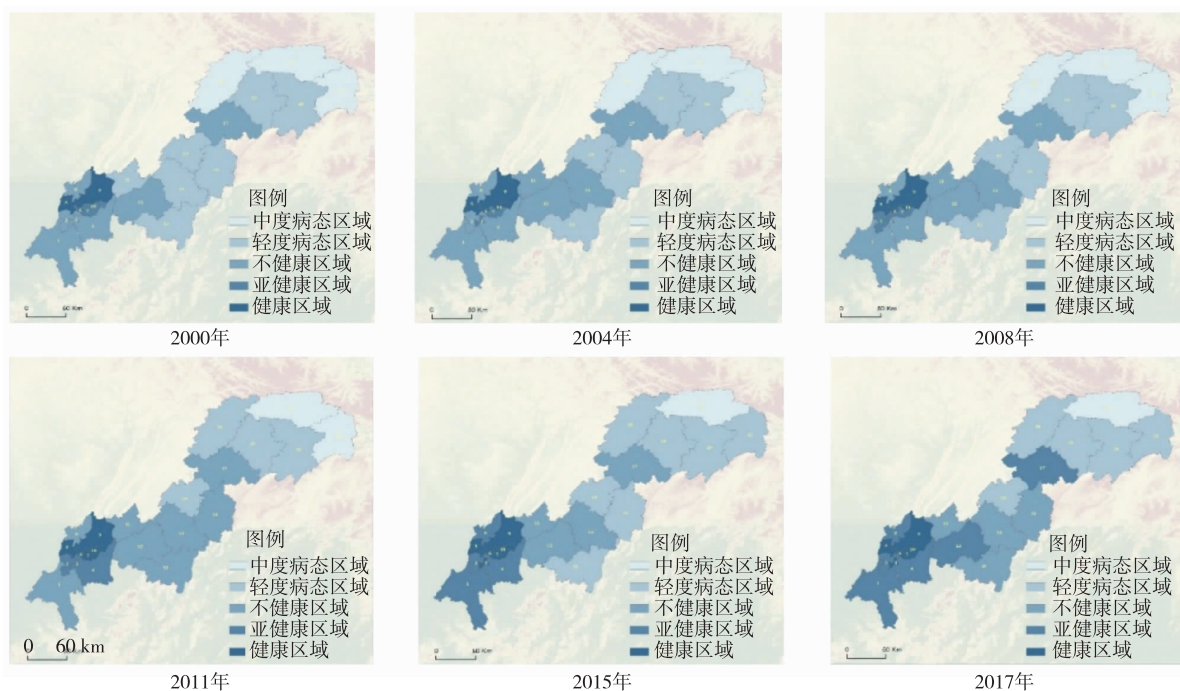


图3 2000—2017年三峡库区重庆段山水林田湖草·城健康变化评价空间分异

Fig. 3 Spatial variation of health change assessment values in Three Gorges reservoir area (Chongqing section) from 2000 to 2017

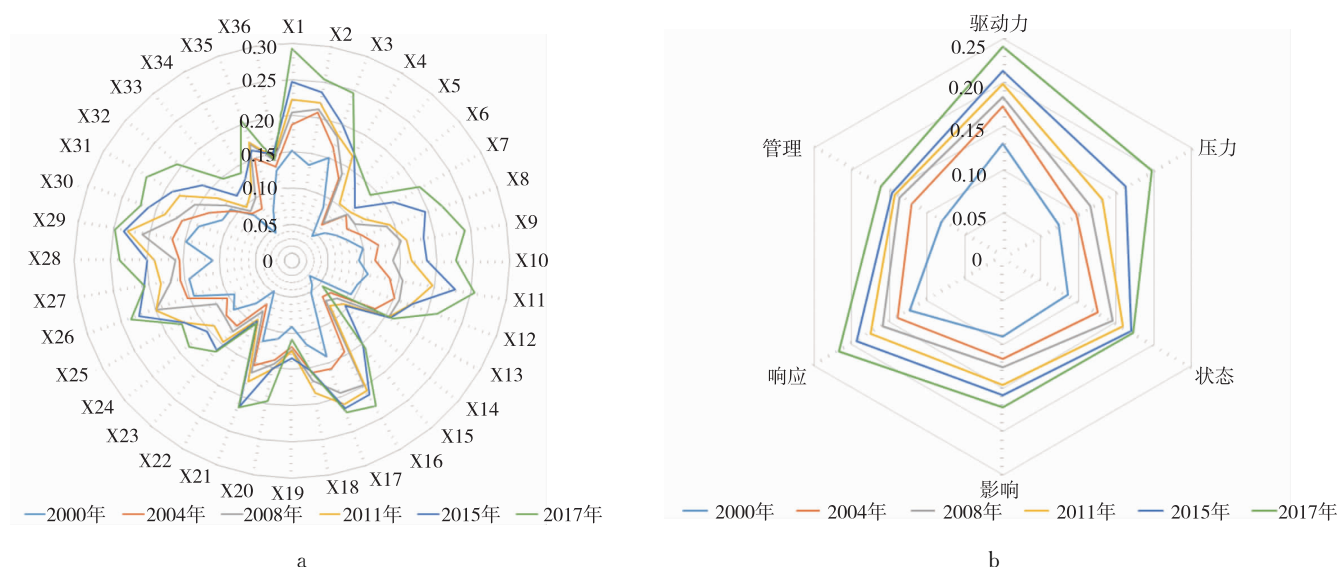


图4 2000—2017年三峡库区山水林田湖草·城健康指标最佳投影方向

Fig. 4 Optimal projection direction of health indicators of mountain, water, forest, field, lake, grass and city in Three Gorges reservoir area from 2000 to 2017

3.2 讨论

总体看来,山水林田湖草·城生命共同体健康评价,渝西南地区较渝东北地区发展更好,可见城市化率高、经济社会发展程度好的区域在山水林田湖草·城体系中更具优势。而通达性差,复杂的高山丘陵地貌对城市的经济发展有一定制约,同时也难以体现城体系对其他体系的带动作用,导致渝东北出现起步低、发展慢的状况。体现了社会经济状况的优劣程度在 DPSIRM 评价体系中的影响作用,同时可反映生命共同体和生态系统在内涵上的区别。因此,主城区因综合发展较好,与区域评价结果较好相一致。巫山、巫溪等偏远地区,虽然生态状况较好,但因社会经济发展因素的限制作用,评价结果相对差一点。

2000 年健康、亚健康、不健康、轻度病态、中度病态的区县占比分别为 13.6%, 9.1%, 31.8%, 31.8%, 13.6% (图 5), 碳排放量与碳排放强度下降明显, 可归因于推广的煤炭清洁高效利用技术以及严格的粉尘和气态污染物的排放控制。

2000 年至 2004 年时间段内, 为保证三峡水库水质稳定, 三峡库区内水污染治理力度加大, 且工业固体废物治理阶段性任务基本完成。相比 2000 年, 健康区县占比上升至 18.2%, 轻度病态区县数减少 2 个。

2008 年重庆市通过了《关于加强环境保护若干问题的决定》, 要求用科学发展观统领环境保护工作, 进一步采取有效措施解决突出环境问题, 并建立和完善环境保护的长效机制。相比 2004 年, 轻度病态区县降低至 22.7%。

2011 年起重庆市加强了农村区域生态环境保护, 要求森林覆盖率达到 41%, 鼓励生活垃圾无害化处理率达到 70% 并积极开展村庄环境连片整治示范。因此, 2011 年健康区县占比达到了 22.7%, 中度病态区县占比下降至 9.1%, 总体健康状态有一定程度的提升。

2014 年 8 月, 国务院印发了《全国对口支援三峡库区合作规划(2014—2020 年)》, 对生态环境保护和治理、库区水环境保护、三峡生态屏障区建设高度重视, 探索生态环境保护的合作新模式等内容提上日程。至 2015 年, 重庆市的生态文明建设已相对完善, 城乡环境质量提高, 美丽山水城市建设逐步推进, 三峡库区重庆段健康区县占比进一步提升达到 27.3%, 此外亚健康区县也有 5% 的增长, 中度病态县仅余巫溪县。

2017 年健康区县占比 27.3%, 亚健康区县占比 27.3%, 不健康区县占比 18.2%, 轻度病态区县占比 22.7%, 中度病态区县占比 4.5%。库区中非健康状态的区县占比低于 50%, 整体状态较为健康, 呈现出稳中向好的发展方向。

随着三峡水库的修建和三峡库区大量的向外移民, 遗留下的耕地和居住用地变为林地或草地, 且城镇化率不断提高, 人口素质提升, 居住人群对人居环境和生态自然的保护意识增加。同时农村人口不断流向城市, 城市人口密度上升, 建设用地面积不断扩大。这一系列变化, 以人口流动为主要驱动, 各土地利用类型以及人均资源量等状态均发生改变。针对城市内部, 绿化覆盖和垃圾处理率等的响应也越来越积极。从而在各种因素推动下, 三峡库区重庆段的健康状况逐渐向好的方向不断发展。

4 对策与展望

4.1 对策

根据 DPSIRM 模型和投影寻踪方法得出的最终结果, 同时依据生态系统完整性和协同性原理, 为贯彻山水林田湖草系统理念, 统筹研究区域生态系统整体保护和系统修复, 三峡库区重庆段山水林田湖草·城生态保护修复过程中建议采取以下措施:

1) 推进土地整治, 重视生态健康分区状况; 采取矿山环境治理恢复措施, 提高林地覆盖率。从开州区、南岸

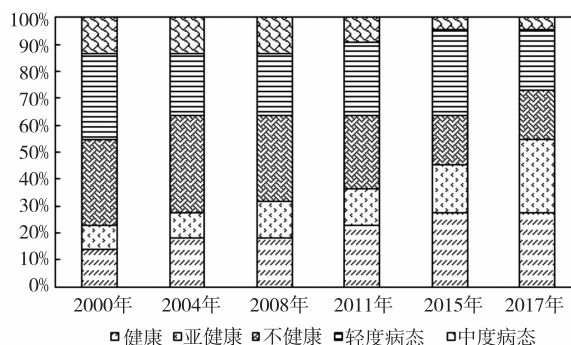


图 5 2000—2017 年三峡库区山水林田湖草·城健康程度占比

Fig. 5 Proportion of health degree of mountains, rivers, forests, fields, lakes, grasses and cities in the three gorges reservoir area from 2000 to 2017

区、巴南区生态变化轨迹来看,影响改善的因素主要是加强了农村区域的生态环境保护,提高了森林覆盖率,因此不难看出林地覆盖率在系统中的重要地位和加强因子修复的重要性。同时根据最佳投影向量方向结果和选取的指标数据可以看出,其中林地覆盖率和绿地覆盖率对体系贡献较大,所以要积极推进矿山环境治理恢复,突出重要生态区、居民生活区废弃矿山治理的重点,在重要生态区域内(如巫溪、巫山等渝东北高山地区)开展沟坡丘壑综合整治,平整破损土地,耕地坡改梯、历史遗留工矿废弃复垦利用等生态工程。

2) 推动产业升级,实现区域经济绿色发展;加强生态修复技术研发,完善生态修复制度。从结果分析来看,环境保护政策和制度以及相关法律法规的制定对生态状况的变化有明显的影响,城镇化率以及产业占比等经济因素对整个生态系统健康状况影响较大,人为干扰对健康影响程度明显,且随年份增长日趋正向。因此推进产业升级,加强绿色经济发展,完善制度建设是生态治理的有力帮手。

3) 着力当下,着眼长远;互通耦合,协调共生。在2015—2017年渝东北区块在重庆市环保行动基本完成的作用下,生态状况有较明显提升。由此看来,对于生态系统而言,它本身就是一个整体,对它的治理与修复就不能种树的只管种树、治水的只管治水、护田的单纯护田,要突破土地、林业、农业、水利等各类自然要素各自管理的现状,降低修复工程破碎化程度,提升生命共同体生态保护修复的整体性与有效性。着力当下,着眼长远,从整体出发,通过社会、经济、自然系统的互补协调,将山-水-林-田-湖-草-城按照生态系统耦合原理联通起来,分阶段、逐步有序地实施综合治理与生态修复。

4.2 展望与不足

1) 未来可考虑在已有的基础上,基于山、水、林、田、湖、草、城生命共同体的整体性,在建立较为全面的生态系统评价体系的同时,形成每个要素相对较为独立的体系,不仅兼顾系统有机结合,而且剔除各要素体系之间的冗余交叉影响作用,使整个生态系统评价体系更为合理。

2) 基于大数据和智能化评价方法,将实时信息获取与处理、管理分析、智能服务等方面与研究相结合,以期对三峡库区山水林田湖草·城生命共同体的健康轨迹进行实时化的评价和预测。

3) 合理量化评价指标。对于如政策等无法量化的因子,建立较为合适的评价指标,为三峡库区山水林田湖草·城生命共同体的健康轨迹研究提供更科学合理的数据基础。

参考文献:

- [1] 习近平. 关于《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》的说明[J]. 党建, 2013(12): 23-29.
- XI J P. A note on "The Central Committee of the Communist Party of China's Decision on Several Major Issues in Comprehensively Deepening Reform"[J]. Party Construction, 2013(12): 23-29.
- [2] 新华通讯社. 习近平主持召开中央全面深化改革领导小组第三十七次会议[EB/OL]. (2017-07-19)[2020-05-25]. http://www.gov.cn/xinwen/2017-07/19/content_5211833.htm.
- Xinhua News Agency. Xi Jinping chaired the 37th meeting of the Central Leading Group for Comprehensive Deepening Reform[EB/OL]. (2017-07-19)[2020-05-25]. http://www.gov.cn/xinwen/2017-07/19/content_5211833.htm.
- [3] 习近平. 决胜全面建成小康社会夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[R]. 北京: 人民出版社, 2017.
- XI J P. A decisive victory to build a well-off society in an all-round way to win the great victory of China's special socialism in the new era: report at the 19th National People's Congress of the Communist Party of China[R]. Beijing: People's Publishing House, 2017.
- [4] KIM J Y, AN K G. Integrated ecological river health assessments, based on water chemistry, physical habitat quality and biological integrity[J]. Water, 2015, 7(11): 6378-6403.
- [5] TOMÁŠ B, MARTIN S, NORBERT H, et al. Evaluation of forest health condition in the inundation area of Danube, section Dobrohošť: sap from aerial multispectral images in 2011[J]. Lesnícky Časopis, 2013, 164(1): 1-4.
- [6] 孔登魁, 马萧. 构建“山水林田湖草”生态保护与修复的内生机制[J]. 国土资源情报, 2018(5): 22-29.
- KONG D K, MA X. Constructing an endogenous mechanism for ecological protection and restoration of "Landscape, Forest, Lake, Grass"[J]. Land and Resources Information, 2018(5): 22-29.
- [7] 张进德. 科学实施山水林田湖草生态保护与修复工程[J]. 水文地质工程地质, 2018, 45(3): 3.
- ZHANG J D. Scientific implementation of ecological protection and restoration of mountains, waters, forests, lakes

- and grasses[J]. *Hydrogeology and Engineering Geology*, 2018, 45(3):3.
- [8] 成金华, 尤喆. “山水林田湖草是生命共同体”原则的科学内涵与实践路径[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(2): 1-6.
- CHENG J H, YOU Z. The scientific connotation and practical path of the principle of “Landscape, forest, lake, grass and lake is a community of life”[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(2):1-6.
- [9] 李达净, 张时煌, 刘兵, 等. “山水林田湖草-人”生命共同体的内涵、问题与创新[J]. *中国农业资源与区划*, 2018, 39(11):1-5.
- LI D J, ZHANG S H, LIU B, et al. The connotation, problems and innovation of the “Landscape, Forest, Lake, Grass and Human” life community[J]. *China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(11):1-5.
- [10] 李开明. 寻根究底 量体裁衣 推陈出新—山水林田湖草生态保护修复的三个重要环节[J]. *中国生态文明*, 2019(1): 64-65.
- LI K M. Looking for the roots, tailoring the new styles, three important links for the ecological protection and restoration of the landscape, lake, grass and lakes[J]. *Chinese Ecological Civilization*, 2019(1):64-65.
- [11] 赵培霖, 王玮. 海绵城市建设与山水林田湖草生态修复[J]. *大众文艺*, 2018(23):49-50.
- ZHAO P L, WANG W. Sponge city construction and ecological restoration of mountain, forest, forestry, lake and grass[J]. *Dazhong Wenyi*, 2018(23):49-50.
- [12] 孙然好, 魏琳沅, 张海萍, 等. 河流生态系统健康研究现状与展望[J/OL]. *生态学报*, 2020(10):1-11. [2020-05-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20200402.1426.030.html>.
- SUN R H, WEI L Y, ZHANG H P, et al. Current status and prospect of river ecosystem health research [J/OL]. *Journal of Ecology*, 2020(10):1-11. [2020-05-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20200402.1426.030.html>.
- [13] 丁肇慰, 肖能文, 高晓奇, 等. 长江流域 2000—2015 年生态系统质量及服务变化特征[J]. *环境科学研究*, 2020, 33(5):1308-1314.
- DING Z W, XIAO N W, GAO X Q, et al. Characteristics of ecosystem quality and service changes in the Yangtze river basin from 2000 to 2015[J]. *Environmental Science Research*, 2020, 33(5):1308-1314.
- [14] 宋静静, 陈璐, 张智鹏, 等. 基于支付意愿法的黄海海域物种多样性维持服务价值评估(2002—2012)[J/OL]. *生态学报*, 2020(12):1-8. [2020-05-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20200408.1926.016.html>.
- SONG J J, CHEN L, ZHANG Z P, et al. Evaluation of the service value of the species diversity maintenance in the Yellow sea based on the willingness to pay method (2002-2012)[J]. *Journal of Ecology*, 2020(12):1-8. [2020-05-25]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2031.Q.20200408.1926.016.html>.
- [15] 邓玲, 王芳. 习近平“生命共同体”重要论述的理论内蕴与时代意义[J]. *治理研究*, 2019, 35(2):12-18.
- DENG L, WANG F. Theoretical implications and significance of the times of Xi Jinping’s “Community of Life”[J]. *Governance Research*, 2019, 35(2):12-18.
- [16] Organization for Economic Co-operation and Development. Towards sustainable development: environmental indicators[J]. *Source OECD Environment & Sustainable Development*, 1998, 1998(17):1-131.
- [17] RAJESH K S, MURTY H R, GUPTA S K, et al. An overview of sustainability assessment methodologies[J]. *Ecological Indicators*, 2011, 15(1):281-299.
- [18] 杨俊, 李雪铭, 李永化, 等. 基于 DPSIRM 模型的社区人居环境安全空间分异:以大连市为例[J]. *地理研究*, 2012, 31(1):135-143.
- YANG J, LI X M, LI Y H, et al. The spatial differentiation of community residential environment safety based on the DPSIRM model: taking Dalian as an example [J]. *Geographical Research*, 2012, 31(1):135-143.
- [19] 赵毅, 徐绪堪, 李晓娟. 基于变权灰色云模型的江苏省水环境系统脆弱性评价[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(11):2463-2471.
- ZHAO Y, XU X K, LI X J. Vulnerability assessment of Jiangsu water environment system based on variable weight gray cloud model[J]. *Resources and Environment of the Yangtze River Basin*, 2018, 27(11):2463-2471.
- [20] 郭倩, 汪嘉杨, 张碧. 基于 DPSIRM 框架的区域水资源承载力综合评价[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(3):484-493.
- GUO Q, WANG J Y, ZHANG B. Comprehensive evaluation of regional water resources carrying capacity based on DPSIRM framework[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(3):484-493.
- [21] 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.
- ZHANG F, YANG J, XI J C, et al. Health assessment of Nansihu lake ecosystem based on DPSIRM health distance method[J]. *Resources Science*, 2014, 36(4):831-839.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Life Community Health Trajectory Evaluation of Mountains, Rivers, Forests, Farmland, Lakes, Grass, and Cities: a Case Study of Three Gorges Reservoir Area

ZENG Chunfen^{1,2}, ZHOU Yiqi², DUAN Zhendong², LIU Yang², WANG Kai², SHAO Jingan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Surface Process and Environment Remote Sensing in the Three Gorges Reservoir Area;

2. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] Life community of mountains, rivers, forests, farmland, lakes and grass is an important theory to solve the problem of allocation of ecological resources in China. [Methods] Considering the impact of human activities on the life community, the element of "city" was added. To evaluate the health trajectory of Three Gorges Reservoir Area's (Chongqing) life community, so the typical representative years were selected based on the characteristics of regional natural and social economic development. After these, the variation differentiation pattern and health driving mechanism were explored by using RAGA-PPCE. [Findings] The results are as follows: in the first place, mountains, rivers, forests, farmland, lakes, grass and cities show the stability of space and time series, and the health condition is getting better and better. From 2000 to 2017, the proportion of moderate morbidity decreased from 27.27% to 4.45%, and only Wuxi was in moderate morbidity. In the second place, the main influencing factors of the health evaluation index system are driving force(0.190), response(0.168) and state(0.143), and the main influencing factors are urbanization rate(0.218), population density(0.210), green coverage rate(0.206), harmless waste disposal rate(0.193) and forest coverage rate(0.188). Finally, the comprehensive utilization of land resources should be given priority to the main urban area and nearby districts (counties) of Chongqing. Under the premise of focusing on ecological protection, the reservoir area can seek value-added effect. [Conclusions] It is the first attempt to establish a health evaluation index system based on the mountains, rivers, forests, farmland, lakes, grass and cities life community, which has certain academic value and theoretical innovation for the natural resources situation of the three gorges reservoir area and the ecological barrier construction of the Yangtze River basin.

Keywords: life community of mountains, rivers, forests, farmland, lakes, grass and cities; life community; health trajectory evaluation; Three Gorges reservoir area (Chongqing); ecological barrier

(责任编辑 许 甲)