

# 广西山水林田湖生命共同体耦合评价

张中秋<sup>1,2</sup>, 劳燕玲<sup>2,3</sup>, 王莉莉<sup>1</sup>, 韦金洪<sup>4</sup>, 胡宝清<sup>5</sup>

(1.北部湾大学 资源与环境学院, 广西 钦州 535011; 2.钦州市国土资源利用与监测重点

实验室, 广西 钦州 535011; 3.广西北部湾海洋灾害研究重点实验室, 广西 钦州 535011; 4.北部湾大学

经济管理学院, 广西 钦州 535011; 5.南宁师范大学 北部湾环境演变与资源利用教育部重点实验室, 广西 南宁 530001)

**摘要:** [目的] 分析区域山水林田湖生命共同体各要素的耦合协调状态, 为更精准开展国土空间规划、生态修复和自然资源要素综合监测提供科学依据。[方法] 以综合评价指数、协调度指数、耦合度指数和关联度指数为基础构建评价分析框架。基于 PSR 模型, 从“山、水、林、田、湖”5 个方面构建评价指标体系, 运用综合评价模型、耦合协调模型和灰色关联模型探究广西壮族自治区 2005—2017 年山水林田湖生命共同体的耦合协调时空分异特征及其驱动因素。[结果] ①山水林田湖生命共同体的综合评价指数由 2005 年的 0.918 上升至 2017 年的 0.931, 具体表现为水系统>田系统>林系统>湖系统>山系统。②山水林田湖生命共同体的耦合协调度由 2005 年的 0.909 下降至 2017 年的 0.861, 虽然为良好耦合协调状态, 但有下降态势。两要素间耦合协调度较高的为“水—田”, 3 要素间较高的为“水—林—田”, 4 要素间较高的为“水—林—田—湖”。③影响山水林田湖生命共同体耦合协调发展的主要驱动因素是水要素, 灰色关联度为 0.723, 具体指标因子为水土流失治理。[结论] 山水林田湖生命共同体是一个开放性的“山水林田湖+”的概念范畴, 可依据各要素的典型性进行耦合叠加重组, 其中水要素是山水林田湖生命共同体各要素耦合关联的核心, 水土流失治理是关键因素。广西区内山水林田湖生命共同体综合水平虽然有所改善, 但耦合协调情况不容乐观, 应以水土流失治理为出发点, 串联山水林田湖各要素, 进行统筹规划与生态整治, 搭建自然资源要素综合监测与质量管理体系, 提高耦合协调状态, 实现高质量的可持续发展。

**关键词:** 山水林田湖+; 生命共同体; 耦合评价; 广西壮族自治区

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2021)03-0320-13

**中图分类号:** X171.4, X32

**文献参数:** 张中秋, 劳燕玲, 王莉莉, 等. 广西山水林田湖生命共同体耦合评价[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 320-332. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.042; Zhang Zhongqiu, Lao Yanling, Wang Lili, et al. Coupling evaluation of mountain, water, forest, field, and lake life community in Guangxi Zhuang Autonomous Region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(3): 320-332.

## Coupling Evaluation of Mountain, Water, Forest, Field, and Lake Life Community in Guangxi Zhuang Autonomous Region

Zhang Zhongqiu<sup>1,2</sup>, Lao Yanling<sup>2,3</sup>, Wang Lili<sup>1</sup>, Wei Jinhong<sup>4</sup>, Hu Baoqing<sup>5</sup>

(1.College of Resources and Environment, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi

535011, China; 2.Qinzhou Key Laboratory of Land Resources Use and Monitor, Beibu Gulf

University, Qinzhou, Guangxi 535011, China; 3.Guangxi Key Laboratory of Marine Disaster in the

Beibu Gulf, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011, China.; 4.School of Economics and

Management, Beibu Gulf University, Qinzhou, Guangxi 535011, China; 5.Key Laboratory of Environmental Evolution and Resources Utilization in Beibu Gulf Under Ministry of Education, Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530001, China)

**Abstract:** [Objective] The coupling and coordination status of various elements of the life community of regional mountains, water, forests, fields, and lakes were analyzed in order to carry out more accurate land space planning, ecological restoration, and comprehensive monitoring of natural resources. [Methods] An evaluation framework was constructed based on the indexes of comprehensive evaluation, coordination

收稿日期: 2020-12-29

修回日期: 2021-03-15

资助项目: 国家自然科学基金项目“北部湾海陆过渡带生态环境演化机理及其情景模拟研究”(41966007); 广西科技计划项目(桂科 AD19110142); 广西哲学社会科学项目(20CGL004); 广西教育厅高校科研项目(2020KY10001)

第一作者: 张中秋(1989—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 硕士, 信息系统项目管理师(高级), 房地产经济师, 房地产估价师, 从事土地利用与国土综合整治研究。Email: 773972555@qq.com。

通讯作者: 劳燕玲(1974—), 女(汉族), 广西壮族自治区灵山人, 博士, 教授, 主要从事国土空间规划研究。Email: laoyanling768@163.com。

degree, coupling degree, and correlation index. Based on the PSR model, the evaluation index system was constructed from the five aspects of “mountain, water, forest, field, and lake”. The comprehensive evaluation model, the coupled coordination model, and the grey correlation model were used to explore the spatio-temporal differentiation characteristics and driving factors of the coupled coordination of the life communities in mountains, water, forests, fields, and lakes in Guangxi Zhuang Autonomous Region from 2005 to 2017. [Results] ① The comprehensive evaluation index of the life community of mountains, water, fields, and lakes rose from 0.918 in 2005 to 0.931 in 2017. Specific performance followed the order of water system > field system > forest system > lake system > mountain system. ② The coupling coordination degree of mountain, water, forest, field, and lake life communities decreased from 0.909 in 2005 to 0.861 in 2017. Although the coupling coordination status was considered good, it had experienced a downward trend. The highest combination coordination between two elements occurred for “water-field”. The highest combination coordination among three elements occurred for “water-forest-field”. The highest combination coordination among four elements occurred for “water-forest-field-lake”. ③ The main driving factor affecting the coupled and coordinated development of the life community in mountains, water, fields, and lakes was water, and the gray correlation degree was 0.723. The specific index factor was soil erosion control. [Conclusion] The life community of mountains, water, forest, field, and lake is an open conceptual category of “mountains, water, forest, field, and lake<sup>+</sup>”. According to the typical nature of each element, a coupling superposition recombination can be carried out, among which the water element is central to the coupling correlation of each element of the life community of mountains, water, forests, fields, and lakes, and soil erosion control is the key factor. Although the comprehensive level of the life community of mountains, water, forests, fields, and lakes in Guangxi has been improved, the coupling coordination is not likely to be good. Soil and water loss control should be taken as the starting point, and all elements of mountains, water, forests, fields, and lakes should be connected to carry out overall planning and ecological renovation. Integrated monitoring and a quality management system of natural resources needs to be developed in order to improve the state of coupling coordination and to realize sustainable, high quality development.

**Keywords: mountains, water, forests, fields, and lakes; life community; coupling evaluation; Guangxi Zhuang Autonomous Region**

中国共产党的十八大以来,各地政府持续推进了退耕还林、土地综合整治、石漠化治理、水土保持等重点生态工程,在缓解资源环境压力、预防生态系统退化等方面取得了显著成效。然而,过去乃至当前的生态保护与修复多以单一要素、单一类型、单一主体为主,缺乏对国土空间典型要素的整体性、系统性和协同性考虑,容易造成生态修复的集聚效益不高,修复效应的耦合协调性偏低等问题。自此以后,“生命共同体”在政府各部门间得到了高度重视,相继出台了一系列重大举措,2016年下发了《关于推进山水林田湖生态保护修复工作的通知》,2018年组建自然资源部统筹国土空间用途管制与生态保护修复,2020年出台了《山水林田湖草生态保护修复工程指南(试行)》,党的十九届五中全会进一步指出“强化国土空间规划和山水林田湖草系统治理将成为十四五时期的重大举措”,这为统筹“山水林田湖”系统治理奠定了坚实基础。在全球气候变化和生物多样性降低的大背景下,开展基于山水林田湖生命共同体的生态保

护与修复相关研究具有重要意义。

学者们对此进行了大量研究,国外学者主要侧重于从社会科学视角的法制层面开展各自然要素的法制化建设相关研究<sup>[1-3]</sup>,自然科学视角的研究主要体现为从两要素或三要素之间开展人对自然资源要素影响的相关研究<sup>[4-5]</sup>。国内学者主要侧重于从自然科学视角对山水林田湖草生命共同体的内涵与理论<sup>[6-9]</sup>、修复的工程技术与布局<sup>[10-11]</sup>、修复治理的实施思路与综合效益<sup>[12-14]</sup>、修复标准与健康评价等<sup>[15-16]</sup>方面的探讨,研究区多集中在国家试点的“两屏三带”和大江大河等重点生态区域,认识到人与自然的发展是不可分割的整体<sup>[17]</sup>,但对生命共同性的整体性、耦合关联性研究不够深入<sup>[18]</sup>。

近年来,国内学者也开始从社会科学视角探究基于生命共同体理念的自然资源监测与法治建设研究<sup>[19-20]</sup>,并逐渐成为新趋势。通过文献整理发现,国内外学者从自然科学和社会科学两个维度对山水林田湖草生命共同体及自然资源要素进行了研究,国外

侧重从社会科学层面的开展法制化建设研究,国内侧重从自然科学层面进行系统化研究。

现有研究虽然取得了一定理论与实践成果,但也存在以下不足:①研究方式侧重于实践;②研究视角忽略了自然资源要素综合观测,缺乏各要素演变态势的研究;③研究内容侧重于综合治理效果评价,有关各要素间耦合关联情况的研究较少;④对生命共同体的内涵与外延研究不够完善,概念界定不清晰。生命共同体各要素之间相互依存、紧密联系,但不同地区的山水林田湖草等自然资源要素并非均具有典型性。

因此,从山水林田湖各要素出发,依据其在区域内部是否具有典型性,对生命共同体的内涵与外延进行界定,构建相应指标体系,揭示其耦合协调发展与演变过程,并分析其主要驱动因素,对更高效的开展生态保护、修复和搭建自然资源要素综合观测体系具有重要指导意义。

鉴于此,本文从“山水林田湖<sup>+</sup>”的视角探析了生命共同体的内涵与外延,以综合评价、协调度、耦合度和关联度指数(4 C 指数)为基础,构建评价分析框架,并以广西壮族自治区(以下简称为广西)为例,从具有区域典型性的山水林田湖 5 个方面构建指标体系,借助综合评价模型、耦合协调模型和灰色关联模型,探究区域山水林田湖生命共同体的耦合协调性及其时空分异特征,揭示其规律性和主要影响因素,以期为区域自然资源管控提供参考借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

广西壮族自治区(以下简称为广西)作为中国西南边陲重地,具有独特的自然资源。地形以山地丘陵为主,喀斯特地貌分布广泛且典型。水资源丰富,地表河流众多,地下暗河交错,年净流量约  $1.83 \times 10^{11} \text{ m}^3$ 。林木资源丰富,森林面积约  $1.48 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ,活力木储蓄量约  $7.90 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。耕地资源紧缺,面积约  $4.39 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,人均耕地面积低于全国平均水平。湖泊资源量少,但水库数量众多,其中大型水库 58 座,中型水库 230 座,蓄水总量约  $2.73 \times 10^{10} \text{ m}^3$ 。水库坑塘具备调节径流、防洪减灾、存续水源等功能,与湖泊功能基本相似,本文湖系统主要用河流水库代替。牧草资源总量少,区内牧草地面积约  $5\,200 \text{ hm}^2$ ,占总面积的 0.2%,占比非常少,缺乏典型性,本次研究不将其列入生命共同体研究范围。据此,广西区内以山水林田湖最为典型,其中湖特指河流水库,故将

其界定为生命共同体的主要研究对象。

广西具有区位优势 and 丰富的人文资源。一方面“十一五”至“十三五”期间,与东盟开放合作,经济高速发,各项建设消耗大量自然资源,城镇化进程对生态环境干扰的外部负效应显著,选择 2005—2017 年之间的 2005,2008,2011,2014,2017 年 5 个时段开展研究,具有一定的针对性。另一方面,广西人文资源底蕴丰厚,特别是红色文化,是中国典型的革命老区。区内少数民族人口众多(少数民族人口约  $2.20 \times 10^7$  人,占总人口比例高达 38.96%),是典型的少数民族聚集地。加之广西临近越南边境,又属于山区,具有沿海、沿边、沿江、对接西部内陆的区位优势,以广西作为研究对象在全国范围内具有典型性。

### 1.2 数据来源

文中 30 m 分辨率 DEM 遥感影像数据从地理空间数据云平台下载获取,山系统中的阳坡比例和沟壑密度指标数据均通过遥感影像在 ArcGIS 中提取得到,山地丘陵面积占比数据来源于广西年鉴;矿山环境恢复治理投资、森林覆盖率、退耕还林造林面积、林业产值、人均森林面积、耕地面积、粮食产量、甘蔗产量、人均耕地面积、活立木总蓄积量、河流面积、污水处理率、水产品产量以及水库容量数据来源于中国经济与社会统计数据库(<http://tongji.cnki.net/kns55/>);矿山占用破坏土地规模和土地整理规模来源于《中国国土资源统计年鉴》;人均水资源量、用水总量、地表及地下水资源、水土流失治理面积和废水排放总量来源于《中国统计年鉴》;石漠化面积数据来源于“中国岩溶地区石漠化状况公报”,其中 2008、2014 年数据缺失,本文采取内插法补齐。

### 1.3 理论框架分析

1.3.1 山水林田湖生命共同体的内涵与外延 山水林田湖生命共同体以生态哲学思想为核心理念,从本质上界定了自然资源、生态系统与人的内在联系和内生关系。这一理念是从全国乃至全球视角提出的宏观概念,各地区在微观层面的具体贯彻执行中对其内涵范畴进行了不断扩展,先后提出了山水林田湖草生命共同体<sup>[21]</sup>、山水林田湖草人生命共同体<sup>[22]</sup>、山水林田湖草城生命共同体<sup>[23]</sup>、山水林田湖草村生命共同体等<sup>[24]</sup>相关概念。各地在具体实践中,应充分考虑本地区山、水、林、田、湖、草、海等多种自然资源要素的禀赋状况及其是否具备典型性问题,以山、水、林、田、湖为基础,进行要素重组或叠加,进而与以人为主体的城镇化系统进行结合,形成相互联系、相互依存、相互制约的“自然—社会—经济”复合系统(图 1)。

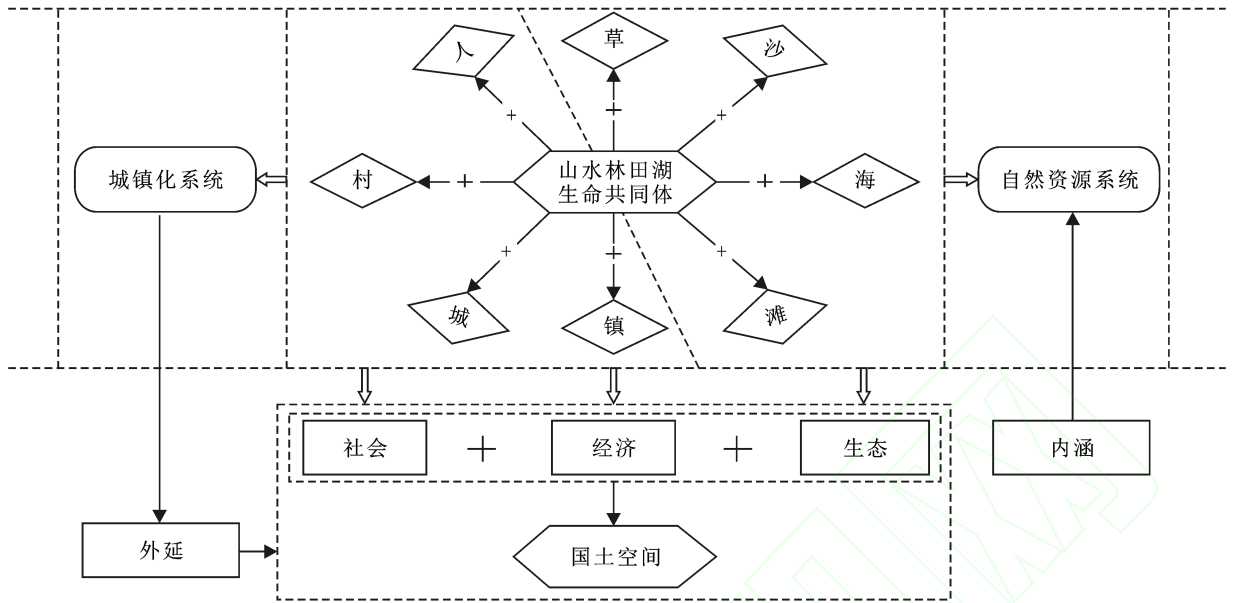


图 1 “山水林田湖+”概念模型

因此,本文认为,山水林田湖生命共同体的内涵可界定为:在特定区域内是一个宏观泛指概念,其不仅是构成区域内自然生态系统的基本组成要素,还可根据不同地区自然资源、生态系统要素的典型性进行叠加组合或是结构性重组,山水林田湖是“山水林田湖+”的概念,是一个具有较强开放性的生命共同体范畴。然而,“山水林田湖+”的生命共同体也并不能完全概括区域内的全部自然生态要素,还具有广泛的

外延性。在国土空间范畴内,一方面“山水林田湖+”与城镇化系统融合后,各种要素的多重组合与结构性重组形成了生态空间、农业空间和城镇空间的有机统一体。另一方面,国土空间规划中划定的生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界为“山水林田湖+”与城镇化系统融合发展的优化调控指明了方向与要求。从这一层面来看,“山水林田湖+”的外延更大,范围更广,综合性更强(图 2)。

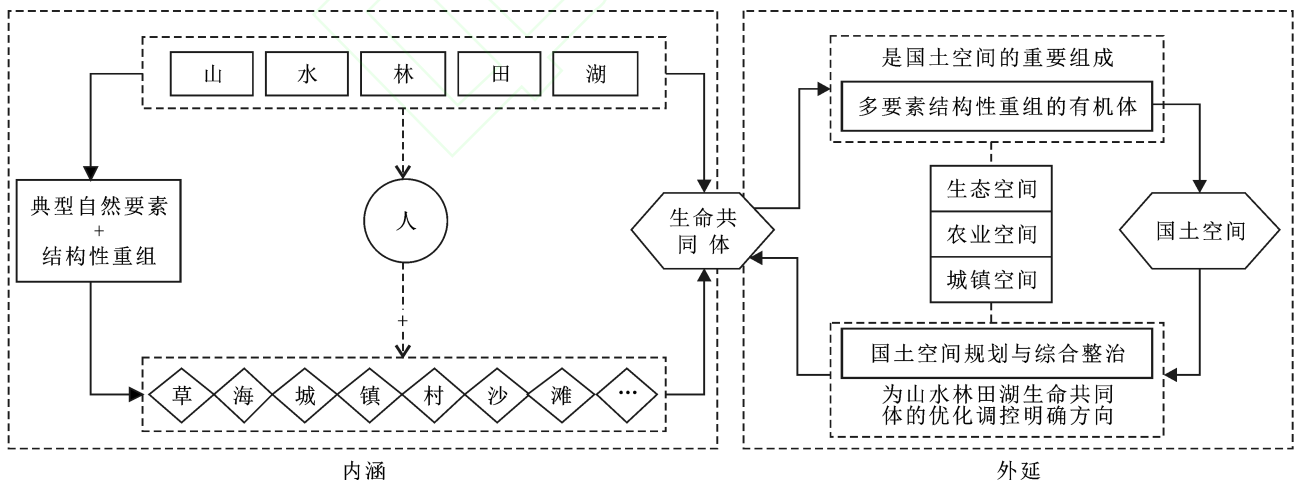


图 2 山水林田湖生命共同体内涵与外延

1.3.2 各要素耦合关系 习近平总书记在《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》中初步论述了山水林田湖草各要素间的耦合原理,并指出:“如果破坏了山、砍光了林,也就破坏了水,山就变成了秃山,水就变成了洪水,泥沙俱下,地就变成了没有养分的不毛之地,水土流失、沟壑纵

横”,这一论断以水土流失与水土保持为核心将各自然要素的协调发展关系进行了串联,山水林田湖生命共同体的耦合协调体系得到了进一步的深化。在自然界中,水是生命之源,绝大部分水资源通过大气循环涵养在山区丘陵地区,如果过渡进行矿山开采,破坏地形地貌及林木植被,就会损坏大气循环环境与条



件,也就破坏了水,会引发水土流失,河湖洪水泛滥,田地受损,危害人类可持续发展。因此,区域各自然

资源之间以水要素为核心和节点,其他要素通过与水进行复杂的耦合关联(图3)。

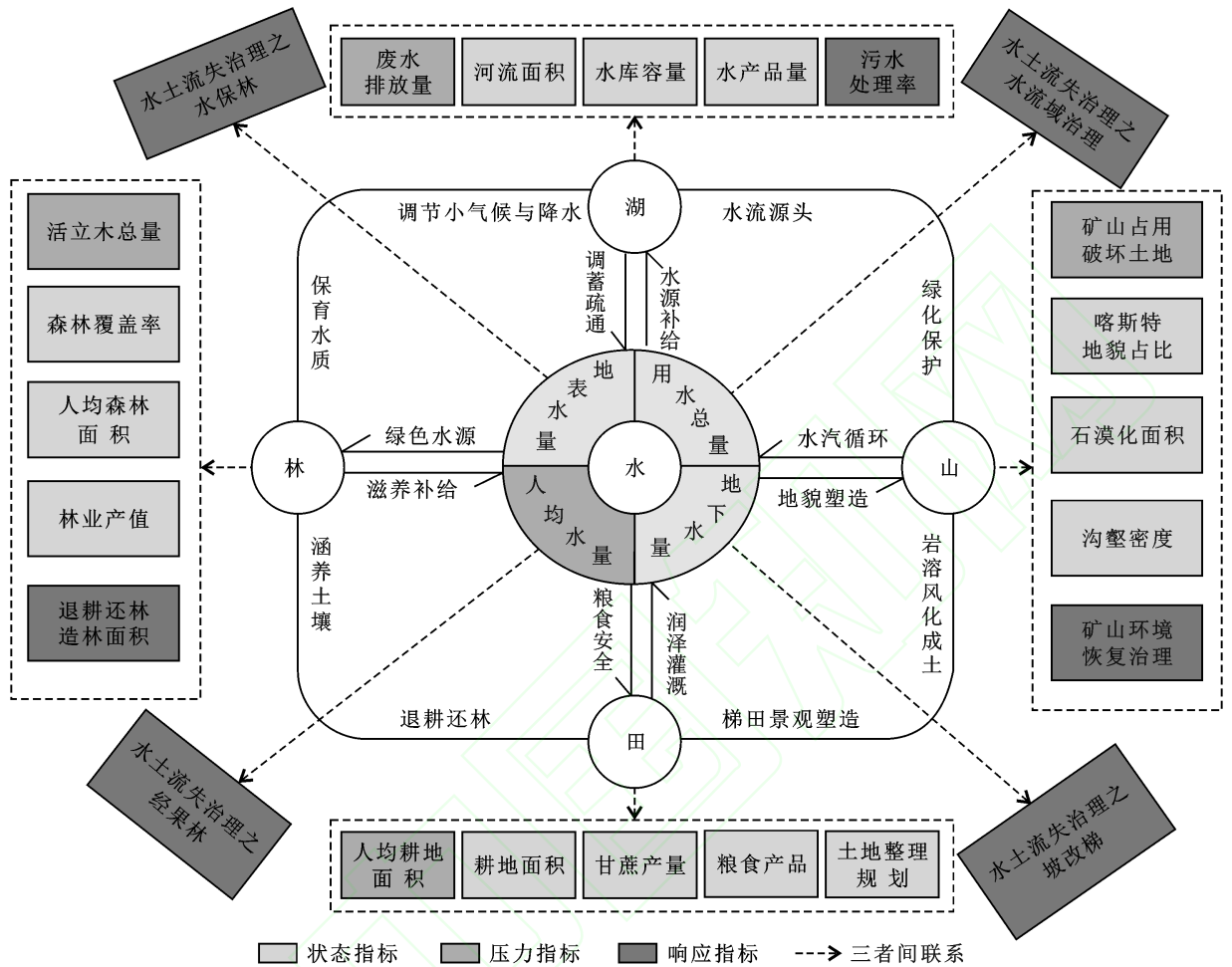


图3 山水林田湖各要素间耦合关系

(1) 山水耦合关系。区域整体连绵起伏的山脉是各流域的分水岭,不同的地形起伏和沟壑分布孕育并涵养了不同的地表、地下水资源,如广西兴安的猫儿山,自古有“兴安高万丈,水往两头流”之说,形成湘江北去、漓水南流的独特景观。在广西喀斯特地区,山川、洼地、谷地等的石漠化又为地下河等地下水资源提供了有力条件。另一方面,在地表水、地下水、大气降水等作用下,岩溶现象较典型,水促进了喀斯特峰林、峰丛等地貌的形成,水在一定程度上塑造了区域地形地貌。

(2) 林水耦合关系。森林具有保护生物多样性,涵养水源,调节河川径流,保护土地资源,净化空气,防治污染等作用,古今有“山上多栽树,等于修水库,雨多它能吞,雨少它能吐”之说,因此,林是绿色水库,森林能涵养水源。区域地表水、地下水、大气降水等均是林木重要的补水来源,水能滋养森林,是确保区域植树造林、森林覆盖率的重要基础。同时,水资源又为林业发展提供了重要保证。

(3) 田水耦合关系。①水资源是农田等耕地资

源灌溉的重要基础,农业生产过程中,为了确保农作物高产稳产,需要保证一定比例的灌溉保证率,农业用水量占水资源消耗总量的比重较大。②一定数量的耕地面积是实现国家粮食安全的基础,高标准基本农田建设需要水源保障,农田等农业用水过程,会影响地表水、地下水等水资源的水质,如大规模开发利用地下水灌溉会导致地下水位下降,水田中化肥、农药的大量使用会使水受到严重污染等。

(4) 湖水耦合关系。区域地表水、地下水、大气降水等均是河湖水库的重要水源,是确保河湖水库规模、功能正常发挥的重要条件,是发展水产业的重要基础,是水生态文明的核心。河湖水库是流域范围内水资源调蓄的重要通道,是水资源的重要表现形式,为区域水环境安全和水产业发展奠定了重要基础,同时,河湖水库即是田地灌溉用水的主要来源和渠道,又是山林草绿化保护的源头水,还是水资源自我净化、更新的重要场地,对经济社会发展及其生态环境保护具有重要作用。

1.3.3 构建评价体系 为实现对山水林田湖生命共同体各要素间的相互作用、综合发展水平及其耦合协调情况的综合管理目标,构建基于 4 C 指数和 PSR 模型的评价体系(图 4),具体思路为:①通过模糊评价模型对生命共同体现状的综合发展水平进行评价,依据综合评价指数(comprehensive evaluation index)分析其综合水平的高低;②在现状综合评价的基础上,通过耦合协调模型分析生命共同体各自然资源要素之间的协调状态和耦合状况,依据协调度指数

(coordination degree index)和耦合度指数(coupling degree index)分析生命共同体各要素的耦合协调状态;③运用灰色关联模型探究影响生命共同体各自然资源要素耦合协调状态的主要影响因子,依据关联度指数(correlation index)进行驱动力分析,为科学调控提供思路与方向;④依据驱动力分析结果,从国土空间层面,通过整合政府各职能部门形成政务共同体做出响应,提出能够引导区域山水林田湖生命共同体耦合协调发展的管理措施。

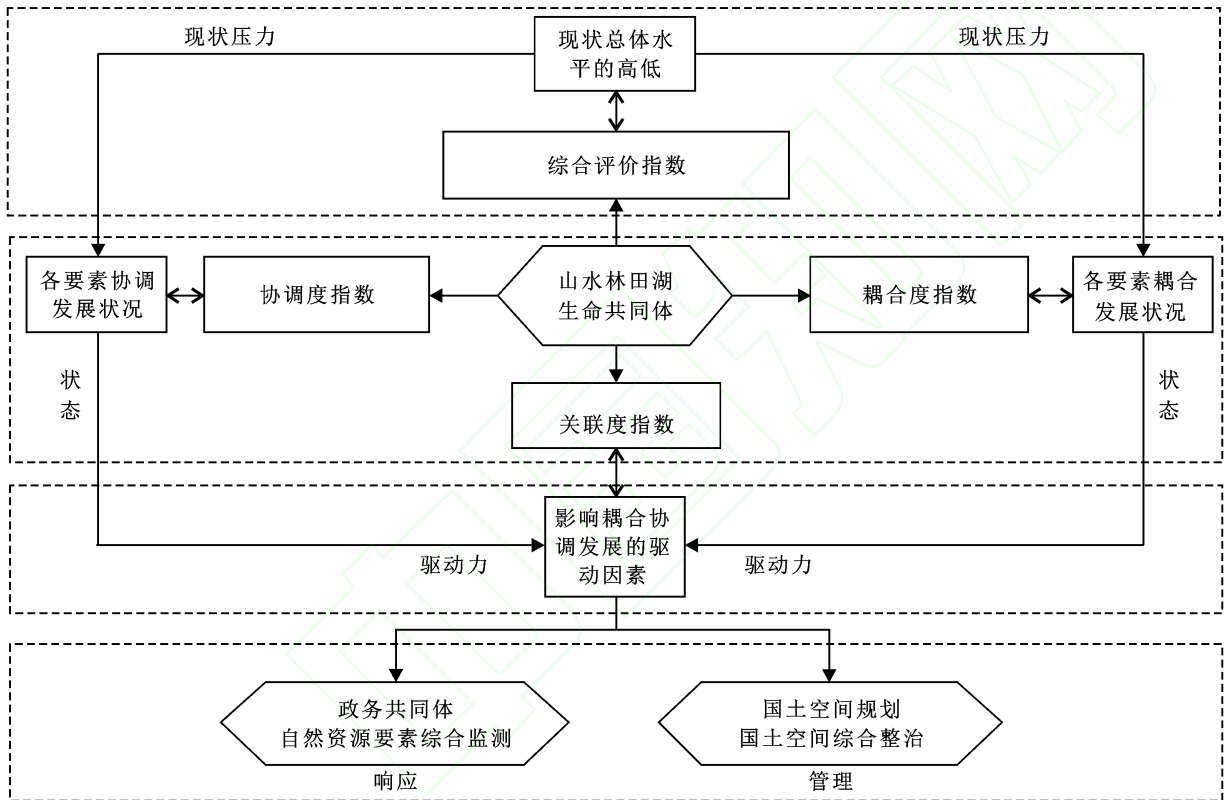


图 4 山水林田湖生命共同体评价框架

依据上述 4 C 指数和 PSR 模型,结合各要素间耦合关系分析及研究区地域特点,在参考已有文献研究基础上<sup>[25-26]</sup>,鉴于指标数据选取的可获得性、代表性、地域性及综合性等原则,构建指标体系见表 1。

1.4 研究方法

1.4.1 数据标准化 运用极差法对水林田湖系统各指标进行标准化,运用 Decimal scaling 小数定标法对山系统各指标进行标准化,山系统各指标短期内比较稳定,数值基本不变,可通过移动小数点的位置来对每一项指标数据进行标准化<sup>[27]</sup>。计算公式为:

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{10^t} \quad (1)$$

式中: $X_{ij}$ 表示第  $i$  年份  $j$  项指标的原始值; $P_{ij}$ 是第  $i$  年份  $j$  项指标的标准化值; $t$  为满足条件的最小整数。

1.4.2 确定指标权重与评价综合水平 运用熵值法计算指标权重<sup>[28]</sup>,以广西整体作为评价单元,采用综合评价模型测算 5 个时点的山水林田湖综合发展水平,计算公式为:

$$S_i = \sum_{j=1}^m W_j \cdot P_{ij} \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (2)$$

式中: $S_i$ 表示各系统的综合评价得分; $W_j$ 表示各项指标的权重。下同。

1.4.3 测算耦合协调度 运用耦合协调模型测度山水林田湖各要素的兼用性发展状态,计算公式为:

$$C = \left[ \frac{S_1 \times S_2 \times S_3 \times S_4 \times S_5}{(S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5)^5} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (3)$$

式中: $C$ 代表的是山水林田湖各系统之间的耦合度,

其取值范围为 $[0, 1]$ 。 $C$ 越接近 1,表示各系统间的耦合度越大; $C$ 越接近 0,表示各系统间的耦合度越小。为进一步判别其相互间的良性互动程度,需借助耦合协调度进行测评,计算公式为:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (4)$$

$$T = W_1 S_1 + W_2 S_2 + W_3 S_3 + W_4 S_4 + W_5 S_5$$

式中: $D$ 代表山水林田湖生命共同体的耦合协调度, $C$ 为耦合度, $T$ 综合评价指数,其他参数同上。 $D$ 的取值范围为 $[0, 1]$ ,取值越大,协调程度越好。耦合协调度反映了各系统间的整体协同效应,依据均匀分布函数法,并参照已有相关研究<sup>[29]</sup>,确定耦合度等级标准,标准划分见表 2。

表 1 山水林田湖生命共同体评价指标体系

目标层	准则层	指标层	指标代码	方向	权重	指标解释	
广 西 山 水 林 田 湖 生 命 共 同 体 评 价 体 系	山(M)	喀斯特地貌占比/%	M <sub>1</sub>	+	0.040	状态指标,反应山要素特色	
		石漠化面积/10 <sup>4</sup> hm <sup>2</sup>	M <sub>2</sub>	-	0.042	状态指标,反应山要素特色状况	
		沟壑密度/(km·km <sup>-2</sup> )	M <sub>3</sub>	+	0.040	0.143	状态指标,反应山体岩性、土壤抗侵蚀能力
		矿山环境恢复治理投资/10 <sup>4</sup> 元	M <sub>4</sub>	+	0.014	响应指标,反应修复治理能力	
		矿山占用破坏土地/hm <sup>2</sup>	M <sub>5</sub>	-	0.007	压力指标,反应人为干扰	
	水(W)	人均水资源量/m <sup>3</sup>	W <sub>1</sub>	+	0.028	压力指标,反应人均水资源占有量	
		水土流失治理面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	W <sub>2</sub>	+	0.091	响应指标,反应修复治理能力	
		用水总量/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	W <sub>3</sub>	-	0.056	0.273	状态指标,反应用水总量
		地表水资源/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	W <sub>4</sub>	+	0.039	状态指标,反应水资源总量	
		地下水资源/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	W <sub>5</sub>	+	0.058		
	林(F)	森林覆盖率/%	F <sub>1</sub>	+	0.069	0.179	状态指标,反应森林面积占比
		林业产值/10 <sup>8</sup> 元	F <sub>2</sub>	+	0.040	状态指标,反应林木资源经济效益	
		活立木总蓄积量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	F <sub>3</sub>	+	0.042	压力指标,反应活立木蓄积量	
		退耕还林工程造林面积/hm <sup>2</sup>	F <sub>4</sub>	+	0.020	响应指标,反应修复治理能力	
		人均森林面积/hm	F <sub>5</sub>	+	0.008	状态指标,反应人均林资源占有量	
	田(C)	耕地面积/hm <sup>2</sup>	C <sub>1</sub>	+	0.006	0.225	状态指标,反应粮食安全
		粮食产量/10 <sup>4</sup> t	C <sub>2</sub>	+	0.044	状态指标,反应粮食作物产能	
		甘蔗产量/10 <sup>4</sup> t	C <sub>3</sub>	+	0.086	状态指标,反应经济作物产能	
		土地整理规模/hm <sup>2</sup>	C <sub>4</sub>	+	0.043	响应指标,反应修复治理能力	
		人均耕地面积/hm <sup>2</sup>	C <sub>5</sub>	+	0.045	压力指标,反应人均田资源占有量	
	湖(L)	河流面积/10 <sup>3</sup> hm <sup>2</sup>	L <sub>1</sub>	+	0.004	0.180	状态指标,反应河流资源状况
		废水排放量/10 <sup>4</sup> t	L <sub>2</sub>	-	0.029	压力指标,反应对河湖库的污染	
		水产品产量/10 <sup>4</sup> t	L <sub>3</sub>	+	0.036	状态指标,反应河湖库渔业产值	
		水库容量/10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	L <sub>4</sub>	+	0.088	状态指标,反应水库资源状况	
		城市污水处理率/%	L <sub>5</sub>	+	0.024	响应指标,反应修复治理能力	

表 2 耦合度协调度等级类型划分标准

耦合协调区间	耦合协调类型	取值范围
高度协调	I 优质协调型	0.91~1.0
	II 良好协调型	0.81~0.9
	III 中级协调型	0.71~0.8
基本协调	IV 初级协调型	0.61~0.7
	V 勉强协调型	0.51~0.6
过度类型	VI 濒临失调型	0.41~0.5
	VII 轻度失调型	0.31~0.4
	VIII 中度失调型	0.21~0.3
失调衰退	IX 严重失调型	0.11~0.2
	X 极度失调型	0.0~0.1

1.4.4 计算灰色关联度 借助灰色关联模型<sup>[30]</sup>,分析影响山水林田湖生命共同体耦合协调发展的主要驱动因子,为可持续利用提供智力支持。

1.4.5 遥感解译与空间分析 运用遥感解译法对研究区地形地貌做空间分析,运用 ArcGIS 软件提取地形起伏度、坡度、坡向、沟壑密度指标数据。其中地形起伏度是 DEM 的最高和最低海拔值的差值<sup>[31]</sup>;坡度分析图是通过 ArcGIS 进行坡度提取,依据《水土保持技术规范》,将坡度重分类为 6 个等级;坡向是通过 ArcGIS 进行坡向提取而得,参照唐庆等<sup>[32]</sup>研究分为 9 个方向;沟壑密度是基于 DEM 数据确定水流方向、进行洼地填平、生成汇流累积矩阵,矢量化栅格沟谷网络图得到,最后求取出沟壑密度<sup>[33]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 综合评价结果与分析

根据前述综合评价指数的计算,测算出各评价指标的综合得分,并对山水林田湖5个子系统在时间序列上的规律进行分析(图5):

(1) 山系统。通过遥感影像解译,广西区内山体阳坡覆盖率约37.91%,15°沟壑密度约0.17 km/km<sup>2</sup>(见封3附图4—7);根据综合评价模型,山要素综合水平由2005年的0.108下降至2011年的0.05,再上升至2017年的0.098,综合水平呈U型发展态势,总体呈微减趋势。一方面,广西矿山开采规模的不断扩大,人类对山系统的负面干扰程度逐年提升,虽然政府也组织开展矿山生态修复治理,但修复治理效果成效具有延迟性,矿山修复的集聚效益尚未充分发挥,这是山系统综合水平呈先降后升的主要原因。另一方面,广西石漠化较典型,石漠化严重地区多集中在人地关系紧张的贫困山区,生态环境脆弱。近年来不断开展石漠化治理,缩小了石漠化规模,但治理成效已然存在滞后性,2017年国家重点开展脱贫攻坚,在多种扶贫政策、措施的保障下,结合矿山修复、石漠化治理等生态措施,山系统综合水平逐渐提升。

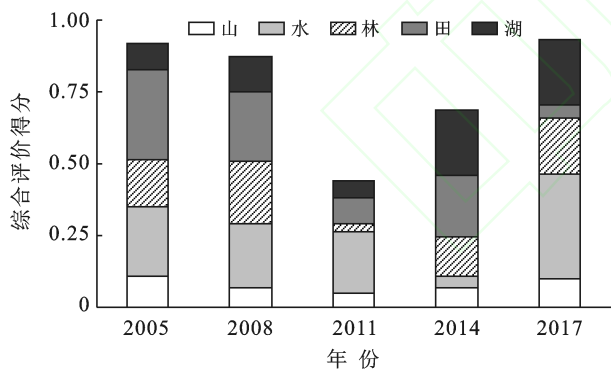


图5 广西2005—2017年山水林田湖生命共同体综合评价指数

(2) 水要素。整体来看,水要素的综合评价得分呈先降后增的发展态势。2005至2014年水要素的综合评价得分由0.242下降至0.04,达到最低值,2017年上升至0.364。依据《广西统计年鉴》,2005,2008,2011,2014,2017年的年均降雨量分别为1863.1,1848.1,1300.9,1638.8,1810.1 mm,区内年均降雨量在研究期内呈现先下降后上升的U型规律,降雨量对区内水系统综合水平产生了一定影响。另外,依据广西水土保持公报统计,2011年全区中央预算内投资水土保持综合治理工程完成治理规模

为123.1 km<sup>2</sup>,水土流失治理规模为1.95×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>,2014年分别为77.65 km<sup>2</sup>,1.93×10<sup>6</sup> hm<sup>2</sup>,中央预算内投资的水土保持治理工程和水土流失治理规模的下降(其权重为所有指标中的最大值0.091)对水要素综合水平影响较大。加上部分新建用水企业的投入生产,工业用水增多。区内水要素管理相关政策、文件不完备,水资源管理状况不理想,对水系统综合水平产生一定影响。2014年以后,区内降雨量逐渐恢复提升,加之水生态文明理念的推进,加大对水利建设的投资,加强对相关企业的管理和污水排放处理,强化对水源的保护,水系统综合水平有所改善。

(3) 林要素。林要素的综合评价得分总体呈先上升后下降再上升的趋势。在2005—2008年呈上升趋势,2008—2011年呈下降趋势,2011年后呈上升趋势。广西区内大量种植桉树经济林,人工林占比较大。依据《中国林业统计年鉴》,2005,2011年广西人工林占比分别为45.7%和41.16%,2008至2011年森林病虫害较严重,致使森林质量及面积都遭受了一定程度上的破坏,加之经济林周期性砍伐的影响,致使林系统的综合评价指数出现最低值。2011年以后广西大力实施珠江防护林、沿海防护林、退耕还林、植树造林、封山育林等重大工程,2014至2017年广西人工林占比由47.26%提高至51.31%,使森林蓄积量持续增加,森林覆盖率持续上升,广西的林系统状态不断好转,综合评价指数得到一定程度改善。

(4) 田要素。田要素的综合评价指数总体呈下降趋势,表明该系统目前尚有改善空间。由2005年的0.311下降至2011年的0.089,再上升至2014年的0.213,再下降至2017年的0.045,总体起伏波动较大。广西“八山一水一分田”的土地资源格局下,耕地资源总量少且耕地质量等级不高,依据中国统计年鉴,2005,2011,2014,2017年的人均粮食产量分别为320,309,324,282 kg,甘蔗产量分别为5.15×10<sup>7</sup>,7.27×10<sup>7</sup>,7.95×10<sup>7</sup>,7.61×10<sup>7</sup> t,人均粮食产量和甘蔗产量是制约广西田要素综合水平的主要影响因素。加之广西在2012至2014年实施大量不稳定耕地开垦,实施土地开发、整理存在增长极现象,影响了这一时期的新增耕地数量与质量,在一定程度上加剧了2014年田要素综合水平突增的现象。2014年以来,人地矛盾日益紧迫,区内耕地资源地块小且分散,不利于机械化,加之城镇化进程的不断推进,大量优质农村劳动力资源向城市转移,耕地丢荒、撂荒现象严重,进一步限制了田系统的综合水平。

(5) 湖要素。湖要素的综合评价指数总体呈上升趋势,由2005年的0.092上升至2017年的0.229,



表明该系统正在逐渐改善。由于广西区内河流水库数量众多,对支持农业发展、工业建设和生态蓄水发挥了重要作用。但在满足经济发展的用水需求过程中,存在工业废水排放量大,农业水资源利用效率低,化肥农药使用量大等污染水质的问题,制约了区内湖系统的健康发展。另外,区内桂西北地区喀斯特石漠化较典型,人地关系较紧张,以有色金属矿产资源开发利用为主的工业化发展较典型,这些因素综合导致河流、水库等水质重金属超标。针对这些问题,一方面应加强污水、废水处理率,特别是针对桂西北有色金属富集区的水质监测与综合治理。另一方面应继续加大力度实施节能减排,淘汰落后农业、工业生产方式,加大河道治理资金的投入,多措并举实现区内湖系统的可持续发展。

(6) 山水林田湖生命共同体的综合评价指数分析。山水林田湖生命共同体的综合评价指数由 2005 年的 0.918 下降至 2011 年的 0.439,再上升至 2017 年的 0.931,生命共同体总体状况有所改善。从综合评价指数的绝对数值来看,广西山水林田湖生命共同体的总体波动较大,尚不稳定。从各系统的综合平均评价得分来看,由高到低分别为:水系统>田系统>林系统>湖系统>山系统。由于山水林田湖生命共同体的综合发展状态尚不稳定,在新时代生态文明建设大背景下,广西应着重从“山—湖—林”系统的综合治理出发,出台措施促进生命共同体稳定持续发展。一方面加强矿山开采管理,对区内有色金属富集区的矿山开展有针对性的治理,推进绿色矿山建设。另一方面,广西区内虽然森林覆盖率高,但多为人工经济林,以种植桉树为主。相关研究表明,桉树林品种单一,抗灾能力低,且桉树生长速度快,容易造成土壤贫瘠和生物多样性低等生态问题。因此应从政府层面,统筹规划,合理开发利用与保护林业资源,改善广西林业发展格局。最后,广西区内河湖库资源数量多,应进一步优化水资源开发利用方案,开展河道治理与流域生态修复工作,强化水污染防治,增强全民护河、保库、节水意识。

## 2.2 耦合协调度结果与分析

根据耦合协调模型,计算山水林田湖 5 个子系统的耦合协调度,结果如表 3。

2005 至 2017 年广西山水林田湖生命共同体各要素之间的耦合协调度由 0.909 下降至 0.861,国土空间各要素中以水要素和田要素的耦合协调度最优。一方面,广西地处中国西南地区,区内具有优质的气候条件和生态环境,有利于第一产业的发展。2005, 2008 年广西 GDP 分别为  $3.98 \times 10^{11}$ ,  $7.02 \times 10^{11}$  元,

其中第一产业占比分别为 22.9% 和 20.7%,均高于同期全国水平(同期全国第一产业占 GDP 总量的比例分别为 12.1% 和 10.7%),表明该时期内第一产业对国民经济贡献较大,第一产业的发基础条件与环境较优,使水要素和田要素的综合发展状态较好。另一方面,广西地方财政支出中用于农林水事务的支持力度大,2005,2008 年用于农林水事务的财政支出占总财政支出的比例分别为 7.8% 和 10.8%,在第一产业具备一定优越性的前提下,增加财政扶持力度,进一步强化了水要素和田要素的协调发展。

表 3 2005—2017 年广西山水林田湖耦合协调度

耦合协调度	2005 年	2008 年	2011 年	2014 年	2017 年
山—水	0.569	0.496	0.454	0.322	0.615
山—林	0.517	0.492	0.280	0.438	0.527
山—田	0.606	0.506	0.366	0.489	0.364
山—湖	0.447	0.425	0.328	0.499	0.547
水—林	0.632	0.665	0.401	0.385	0.731
水—田	0.741	0.683	0.524	0.430	0.505
水—湖	0.546	0.574	0.470	0.439	0.760
林—田	0.673	0.677	0.323	0.585	0.432
林—湖	0.496	0.570	0.289	0.597	0.651
田—湖	0.581	0.585	0.379	0.666	0.449
山—水—林	0.699	0.668	0.454	0.464	0.757
山—水—田	0.777	0.680	0.543	0.499	0.592
山—水—湖	0.634	0.606	0.505	0.506	0.777
水—林—田	0.834	0.826	0.499	0.562	0.664
水—林—湖	0.680	0.737	0.464	0.570	0.872
林—田—湖	0.709	0.745	0.402	0.753	0.615
山—水—林—田	0.875	0.820	0.541	0.614	0.729
山—水—林—湖	0.751	0.752	0.513	0.620	0.894
水—林—田—湖	0.857	0.882	0.551	0.716	0.810
山—水—林—田—湖	0.909	0.887	0.591	0.751	0.861

2011 年山水林田湖各要素的综合评价得分由高到低分别为:水>田>湖>山>林,耦合协调度为 0.591,各要素间的耦合协调状态由良好降为勉强协调型。从 2005 至 2011 年 3 个时间节点来看,广西国土空间各要素中虽然以水要素和田要素的耦合协调度最优,但其呈下降趋势。一方面,2004 年广西南宁被国家确定为中国东盟博览会永久举办地,2008 年国家批准实施《广西北部湾经济区发展规划》,这一系列重大举措打开了广西对外开放的大门,各项建设高速发展,经济社会的快速发展对国土空间各自然要素干扰程度逐渐增强,呈现出以资源环境消耗为代价换取发展的态势,使山水林田湖生命共同体各要素之间的耦合协调度逐渐降低。另一方面,受广西区内红壤丘陵和溶岩地貌影响,2009 至 2010 年全区共有水土流失面积  $2.81 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,占土地总面积的 11.91%,石漠化土地面积达  $2.38 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,集中分布在经济落

后、贫困人口集中的少数民族地区,人为的不合理土地利用和开发建设行为,加剧了生态环境退化。

2014年山水林田湖各要素的综合评价得分由高到低分别为:湖>田>林>山>水,耦合协调度为0.751,各要素间的耦合协调状态由2011年的勉强协调提升为中级协调,呈上升趋势。与前两期相比,两要素间的耦合协调度最高的由“水—田”转变为“田—湖”,水要素综合水平在这一时段呈历史最低。一方面,如前文所述,除了受年均降雨量和水土保持治理工程投资的影响外,区域生态环境用水分配的不协调也使水要素的综合保护与治理受到一定限制。依据广西水资源公报统计,2011,2014年生态环境用水量分别为 $5.27 \times 10^8$ ,  $2.35 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,占用水总量的比例分别为1.74%和0.77%,生态环境用水在2014年呈下降态势。另一方面,开发利用河流、水库水资源进行农业灌溉成效显著,2011,2014年农田灌溉用水量分别为 $1.75 \times 10^{10}$ ,  $1.88 \times 10^{10}$  m<sup>3</sup>,占用水总量的比例分别为57.8%和61.2%,农田灌溉用水得到提高,促进了田系统与湖系统的协调发展。

2017年山水林田湖各要素的综合评价得分由高到低分别为:水>湖>林>山>田,耦合协调度为0.861,各要素间的耦合协调状态由2014年的中级提升为良好,呈上升趋势。与2014年相比,两要素间的耦合协调度最高的由“田—湖”转变为“水—湖”,水要素综合发展水平提升效果显著。一方面,自2014年以来,广西启动了最严格水资源管理制度,颁布并实施了《广西壮族自治区实行最严格水资源管理制度考核工作实施细则》(桂水资源函[2014]13号),批复实施了《广西水资源综合规划》《广西水资源保护规划》等一系列政策措施,“河长制”、“水长制”工作全面开展,以“水—湖”为核心,进而带动了其他要素协调发展。另一方面,田要素综合水平呈下降态势。依据《中国国土资源统计年鉴》,2014—2017年建设占用耕地规模分别为8 537.59, 8 169.41 hm<sup>2</sup>,呈下降态势。土地整治新增耕地规模为1 546.18, 33 702.8 hm<sup>2</sup>,呈递增态势。结合前文所述人均粮食甘蔗产量下降,表明田系统综合效益下降,主表原因为农村有效劳动力向城镇转移,广西耕地丢荒、撂荒现象严重。国家虽然实施了最严格的耕地保护制度,保住了一定数量和质量的耕地,但缺乏有效的耕作激励机制,田系统的综合效益可能会呈下降趋势。

以5期数据的平均值为依据,广西山水林田湖生命共同体两两要素间耦合协调度由高到低分别为:“水—田”>“水—林”>“水—湖”>“林—田”>“田—湖”>“林—湖”>“山—水”>“山—田”>“山—林”>

“山—湖”,排序前三的均含有水要素,水要素与田要素之间的耦合协调度最大,水要素与林要素之间的耦合协调度次之。生命共同体三三要素间耦合协调度由高到低分别为:“水—林—田”>“水—林—湖”>“林—田—湖”>“山—水—田”>“山—水—林”>“山—水—湖”,排序前二的均含有水要素和林要素,水要素、林要素和田要素之间的耦合协调程度最大。生命共同体四四要素间耦合协调度由高到低分别为:“水—林—田—湖”>“山—水—林—田”>“山—水—林—湖”,水要素、林要素、田要素和湖要素之间的耦合协调程度最高。两要素间耦合协调度较高的由“水—田”向“水—湖”转变,三要素间耦合协调度较高的由“水—林—田”向“水—林—湖”转变,四要素间耦合协调度较高的由“水—林—田—湖”向“山—水—林—湖”转变。

### 2.3 耦合协调的驱动因素分析

运用灰色关联度模型,计算山水林田湖5个要素之间的耦合协调度与各指标因子的灰色关联度,进而依据关联度结果分析主要影响因素,结果如表4所示。

从山水林田湖生命共同体总体情况来看,耦合协调度排序为“水>山>湖>林>田”。结果表明水要素及其各指标因素是影响山水林田湖各要素间耦合协调发展的主要驱动力,具体指标为水土流失治理,其灰色关联度为0.857。这进一步证明了山水林田湖生命共同体各典型自然资源要素之间以水要素为核心,其他要素通过与水要素以水土流失为关键节点进行复杂的耦合关联。一方面,水土流失治理规模是所有指标中权重最大的,在整体评价体系中重要性最强。另一方面水土流失是山、水、林、田、湖各要素遭受破坏后所产生的直接损失,包括自然和人类活动两个主要层面。按照广西水土保持公报中的统计,水土流失治理主要包括坡改梯工程、种植水保林和经果林、封禁治理以及小流域治理等其他措施。其中坡改梯主要通过实施修建梯田、灌排沟渠、生产路等主要工程,改善了山系统、田系统和水系统之间的协调关系。种植水保林和经果林主要在石漠化地区修建石坎、蓄水池等工程,改造山系统、林系统和水系统之间的协调关系。小流域治理主要通过实施水土保持农业耕作措施、水土保持林草措施和水土保持工程措施,以流域为单元进行综合治理。水土保持与水土流失综合治理最能体现山、水、林、田、湖的协同发展,2017年广西批复了《广西水土保持规划(2016—2030年)》,印发了“广西水土流失重点预防区和重点治理区的通知”,颁布了“广西生产建设项目水土保持监督检查暂行办法”,这一系列政策措施为水系统以及从

山水林田湖生命共同体的综合治理奠定了重要基础。青山就是金山银山”思想意识的前提下,着力对山水因此,广西应以水土流失治理为出发点,在大力“绿水林田湖进行统筹规划与生态整治。

表 4 广西山水林田湖生命共同体灰色关联度结果

指标	关联度																			
	山水	山林	山田	山湖	水林	水田	水湖	林田	林湖	田湖	山水林	山水田	山水湖	水林田	水林湖	林田湖	山水林田	山水林湖	水林田湖	山水林田湖
M <sub>1</sub>	0.737	0.745	0.686	0.801	0.619	0.675	0.736	0.696	0.751	0.568	0.700	0.766	0.804	0.711	0.673	0.533	0.737	0.707	0.697	0.722
M <sub>2</sub>	0.711	0.774	0.756	0.777	0.593	0.571	0.683	0.644	0.750	0.661	0.587	0.573	0.659	0.703	0.638	0.656	0.679	0.658	0.535	0.562
M <sub>3</sub>	0.717	0.661	0.827	0.762	0.773	0.810	0.846	0.694	0.647	0.773	0.814	0.856	0.879	0.809	0.785	0.709	0.822	0.802	0.791	0.804
M <sub>4</sub>	0.683	0.702	0.680	0.751	0.728	0.773	0.727	0.684	0.728	0.706	0.725	0.783	0.724	0.720	0.727	0.799	0.704	0.696	0.691	0.734
M <sub>5</sub>	0.580	0.725	0.647	0.696	0.648	0.489	0.593	0.713	0.779	0.674	0.613	0.525	0.570	0.528	0.651	0.707	0.536	0.595	0.573	0.696
W <sub>1</sub>	0.758	0.767	0.678	0.793	0.739	0.628	0.783	0.653	0.780	0.687	0.668	0.652	0.702	0.740	0.699	0.630	0.736	0.674	0.685	0.668
W <sub>2</sub>	0.622	0.639	0.647	0.625	0.743	0.747	0.642	0.755	0.661	0.668	0.726	0.731	0.656	0.839	0.754	0.762	0.825	0.757	0.853	0.857
W <sub>3</sub>	0.741	0.740	0.784	0.753	0.736	0.763	0.716	0.745	0.751	0.735	0.726	0.744	0.717	0.777	0.745	0.750	0.723	0.755	0.698	0.639
W <sub>4</sub>	0.640	0.667	0.605	0.693	0.691	0.739	0.663	0.674	0.682	0.595	0.731	0.764	0.659	0.668	0.734	0.708	0.662	0.775	0.617	0.603
W <sub>5</sub>	0.785	0.718	0.656	0.686	0.806	0.655	0.720	0.616	0.694	0.622	0.831	0.699	0.767	0.747	0.783	0.708	0.775	0.820	0.827	0.848
F <sub>1</sub>	0.774	0.765	0.791	0.823	0.696	0.822	0.690	0.777	0.825	0.766	0.672	0.769	0.670	0.725	0.678	0.703	0.678	0.689	0.633	0.663
F <sub>2</sub>	0.781	0.752	0.820	0.793	0.669	0.642	0.754	0.713	0.818	0.726	0.666	0.649	0.733	0.552	0.636	0.671	0.541	0.617	0.637	0.674
F <sub>3</sub>	0.798	0.740	0.701	0.661	0.731	0.731	0.714	0.668	0.600	0.649	0.728	0.705	0.650	0.639	0.630	0.696	0.639	0.578	0.641	0.629
F <sub>4</sub>	0.671	0.728	0.728	0.783	0.740	0.703	0.732	0.750	0.714	0.712	0.698	0.743	0.741	0.677	0.717	0.713	0.745	0.778	0.698	0.674
F <sub>5</sub>	0.595	0.578	0.715	0.576	0.716	0.619	0.743	0.696	0.662	0.693	0.757	0.602	0.779	0.728	0.766	0.686	0.727	0.762	0.653	0.643
C <sub>1</sub>	0.589	0.586	0.554	0.631	0.658	0.737	0.623	0.628	0.608	0.520	0.721	0.780	0.654	0.674	0.740	0.698	0.683	0.830	0.621	0.616
C <sub>2</sub>	0.745	0.821	0.811	0.833	0.741	0.714	0.716	0.739	0.839	0.838	0.697	0.672	0.714	0.607	0.729	0.713	0.578	0.692	0.625	0.598
C <sub>3</sub>	0.814	0.735	0.826	0.770	0.806	0.849	0.808	0.792	0.755	0.708	0.811	0.788	0.760	0.752	0.739	0.637	0.715	0.693	0.642	0.601
C <sub>4</sub>	0.686	0.753	0.717	0.716	0.604	0.721	0.683	0.715	0.724	0.696	0.632	0.714	0.688	0.650	0.631	0.625	0.671	0.654	0.675	0.697
C <sub>5</sub>	0.783	0.756	0.835	0.805	0.777	0.734	0.750	0.764	0.781	0.768	0.744	0.725	0.724	0.719	0.735	0.783	0.699	0.702	0.694	0.705
L <sub>1</sub>	0.789	0.787	0.729	0.843	0.741	0.680	0.819	0.712	0.755	0.786	0.728	0.643	0.787	0.647	0.698	0.665	0.622	0.717	0.662	0.710
L <sub>2</sub>	0.752	0.790	0.754	0.766	0.806	0.660	0.786	0.653	0.707	0.723	0.772	0.666	0.756	0.709	0.760	0.784	0.692	0.750	0.668	0.706
L <sub>3</sub>	0.757	0.671	0.695	0.698	0.739	0.798	0.726	0.649	0.713	0.735	0.691	0.796	0.685	0.737	0.588	0.759	0.666	0.574	0.593	0.536
L <sub>4</sub>	0.750	0.633	0.663	0.691	0.689	0.725	0.738	0.604	0.628	0.671	0.708	0.734	0.763	0.686	0.718	0.639	0.711	0.737	0.719	0.747
L <sub>5</sub>	0.623	0.678	0.642	0.652	0.565	0.637	0.642	0.646	0.719	0.625	0.587	0.657	0.665	0.594	0.615	0.581	0.643	0.662	0.682	0.745

注:表 4 中指标具体含义见表 1。

山要素及其各指标因素是影响广西山水林田湖耦合协调发展的次要驱动因素,其灰色关联度排序第二,具体指标为沟壑密度,其灰色关联度为 0.804。山要素中的喀斯特地貌占比、石漠化面积、沟壑密度、矿山占用破坏土地规模和矿山环境恢复治理投资这些指标因素总体反映了山要素的自然状态与人类影响状况。广西区内山地面积约  $1.47 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,丘陵面积约  $3.43 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,台地面积约为  $2.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其中喀斯特地貌占比为 37.8%,沟壑密度约  $0.17 \text{ km/km}^2$ 。沟壑密度的大小,与区域降水和径流特征、地形坡度、植被覆盖、土地利用、水土流失等有关,对水要素、林要素、田要素和湖要素的形成与发展影响较大。一方面区内流域面积约  $2.37 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,常年径流量约  $2.39 \times 10^{11} \text{ m}^3$ ,河流是水资源的重要表现形式,也是水力资源的重要体现,对山体沟壑的形成具有直接作用。另外,区内地下水资源量约为  $4.41 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ,是地表水资源量的 24.1%,地下水对山体沟壑的冲刷侵蚀具有重要影响。广西西北部地形地貌以喀斯特最

为主,峰林、峰丛较典型,沟壑密度大,石漠化严重。东南沿海地形地貌以山地丘陵为主,低丘缓坡较典型,坡地覆盖率高。区内矿产资源种类多、储量大,铝、锡等有色金属最为典型,矿山数量众多,矿产资源的开发利用对山要素的基本形态影响较大。因此在生态文明建设大背景下,广西应以矿山生态修复与治理为核心抓手,坚持在发展中尊重自然、在发展中顺应自然、在发展中保护自然的原则,科学推进石漠化、荒漠化、水土流失、退耕还林等综合治理,维护山水林田湖生命共同体的稳定发展。

### 3 讨论

“山水林田湖”生命共同体是新时期生态文明中一个重要的哲学命题,是涉及自然科学和社会科学的复杂系统,体现了人与自然和谐共处的重要方式,也是指导生态建设的重要理念,已成为政界和学术界研究的热点话题,并且列入国家“十四五”时期经济社会发展的重要目标之一,这对构建生态文明体系、促进



经济社会发展全面绿色转型具有重大意义。但目前而言,对“山水林田湖”的理论研究滞后于实践。本文基于地域特征的要素典型性与差异性,提出了以水要素为核心“山水林田湖+”性质的生命共同体概念范畴,并对生命共同体的内涵、外延与框架进行了探析,在整合PSR和DPSIRM模型基础上,提出的“基于4C指数”的山水林田湖生命共同体耦合评价模式具有一定的理论超前性,但也存在以下不足:

从评价单元来看,以省域整体作为研究单元,还不是最完美的。“山水林田湖”生命共同体既是社会科学的研究话题,又是自科科学的探索对象。一方面从社会科学研究视角看,评价单元可具体到市或县一级,这样更具体,能更好地系统阐述生命共同体内的联系性和逻辑性。另一方面从自然科学研究视角看,以“源、流、汇”最为完整的流域是理想的研究单元。

从评价指标来看,“山水林田湖”不同要素的指标选取的完整性尚不完善。可从自然资源要素综合观测<sup>[34]</sup>、质量管理<sup>[35]</sup>和法制化建设等方面进行完善。如山系统可增加喀斯特石灰岩出露面积、坡改梯规模等指标,水系统可增加降水量、产水模数、产水系数等反映水资源丰度、承载力和潜力指标<sup>[36]</sup>,林系统可增加人工林、天然林面积比例等反映林要素数量和质量等指标,田系统可增加高标准基本农田建设规模、旱改水建设规模等指标,湖系统可增加湿地规模、洪水灾害等指标。总体评价指标体系。

从研究结果看,生命共同体综合水平总体呈微增态势,而各自然要素间的耦合协调度却呈微降趋势。一方面,广西“山、水、林、田、湖”等自然资源和环境资本条件优越且存量高,森林、水、自然保护区、矿产等自然资源总量大且原生态程度高。“十二五”以来,特别是习近平总书记提出“山水林田湖是一个生命共同体”的科学论断后,基于自然资本增值的绿色发展得到重视<sup>[37]</sup>,经济产出增长过程中消耗更少的自然资源产品并反哺生态系统,山水林田湖各要素治理的绿色经济价值总体成效显著。另一方面,“山、水、林、田、湖”等自然资源与人类系统融合后通过价值实现,成为社会经济系统的有机组成部分。然而,过去乃至当前阶段,各要素分而治之、割裂保护的实施路径不利于各系统的耦合协调发展。此外,政府部门虽然基于生命共同体的压力和状态做出了关键性生态修复响应,但忽视了从社会科学视角评价生态修复投入与产出的协同状况,这也是影响生命共同体融合发展的重要因素。因此,山水林田湖生命共同体具有两面性,即为它既是自然科学的探索对象,又是社会科学的研究话题。同时,它不仅具有自然资源属性,还具

有自然资源属性,同时又具有自然资本属性。尊重、维护、统筹、协调生命共同体的“两向三资”属性,是确保各系统耦合协调发展的关键所在。广西应从3个维度开展山水林田湖生命共同体的系统治理,一是通过自然资源要素综合监测和权籍登记,在摸清家底、确定权籍的基础上,将“山、水、林、田、湖”等各自然资源转化为自然资产,建立要素全覆盖的资产化管理模式,实现生命共同体各要素间的小融合。二是通过有效的国土空间规划,创建各类自然资源的资产开发、利用、保护、治理的综合方案,包括国土空间生态修复,实现“山、水、林、田、湖”等各自然资产间的中度融合。三是通过构建基于自然的解决方案,政府各职能部门围绕山水林田湖组建成政务共同体,将资产带来的各种利益转化为自然资本和社会经济资本,创建国民财富,增进人民福祉,实现天、地、人和谐共生的大融合<sup>[37]</sup>。

## 4 结论

(1) 山水林田湖生命共同体的内涵是一个宏观的泛指概念,具有较强的开放性,可依据各地区自然资源要素的典型性进行叠加重组,形成以水要素为核心的“山水林田湖+”性质的生命共同体范畴,且各要素间并非是等额权重关系,而是略有主次。

(2) 广西山水林田湖生命共同体各系统的发展水平特征具体表现为:水系统、湖系统和林系统向好发展势头显著,田系统后续发展呈疲软之势,山系统提质改造潜力最大。

(3) 广西山水林田湖生命共同体的总体耦合协调度虽然为良好状态,但各系统之间的耦合协调状况相对偏低,耦合状态差别较大,最典型的表现是水系统与其他系统的耦合协调度逐渐提高,田系统与其他系统的耦合协调度逐渐下降。

(4) 广西山水林田湖生命共同体耦合协调发展的主要驱动因素是水要素和山要素,灰色关联度分别为0.723,0.703,具体指标因子是水土流失治理和沟壑密度。水要素是山水林田湖生命共同体各要素耦合关联的核心,水土流失治理是关键因素。

### [参考文献]

- [1] Sagoff M. Ethics, ecology, and the environment: Integrating science and law [J]. Tennessee Law Review, 1988,56:77-171.
- [2] Angelo M J. Harnessing the power of science in environmental law: Why we should, why we don't, and how we can [J]. Texas Law Review, 2007,86:1527.
- [3] Birat J P. The environment and materials, from the



- standpoints of ethics, social sciences, law and politics [J]. *Matériaux & Techniques*, 2019, 107(1): 102.
- [4] Golam Rasul, Bikash Sharma. The nexus approach to water-energy-food security: an option for adaptation to climate change [J]. *Climate Policy*, 2016, 16(6): 682-702.
- [5] Siegwald L, Jong C D. Anthropogenic impacts on water quality in a small, forested mountain catchment: A case study of the Seebächle, black forest, Southern Germany [J]. *Sustainability*, 2020, 12(21): 9022.
- [6] 王志芳, 高世昌, 苗利梅, 等. 国土空间生态保护修复范式研究[J]. *中国土地科学*, 2020, 34(3): 1-8.
- [7] 吴钢, 赵萌, 王辰星. 山水林田湖草生态保护修复的理论支撑体系研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(23): 8685-8691.
- [8] 彭建, 吕丹娜, 张甜, 等. 山水林田湖草生态保护修复的系统性认知[J]. *生态学报*, 2019, 39(23): 8755-8762.
- [9] 王波, 王夏晖, 张笑千. “山水林田湖草生命共同体”的内涵、特征与实践路径: 以承德市为例[J]. *环境保护*, 2018, 46(7): 60-63.
- [10] 罗明, 于逸逸, 周妍, 等. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略[J]. *生态学报*, 2019, 39(23): 8692-8701.
- [11] 叶艳妹, 林耀奔, 刘书畅, 等. 山水林田湖草生态修复工程的社会—生态系统(SES)分析框架及应用: 以浙江省钱塘江源头区域为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(23): 8846-8856.
- [12] 张翼, 王波. 石川河富平(城区段)山水林田湖草综合整治效益评价[J]. *西部大开发(土地开发工程研究)*, 2019, 4(7): 19-24.
- [13] 王夏晖, 何军, 饶胜, 等. 山水林田湖草生态保护修复思路与实践[J]. *环境保护*, 2018, 46(3): 17-20.
- [14] 张海燕, 樊江文, 黄麟, 等. 中国自然资源综合区划理论研究与技术看案[J]. *资源科学*, 2020, 42(10): 1870-1882.
- [15] 李红举, 宇振荣, 梁军, 等. 统一山水林田湖草生态保护修复标准体系研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(23): 8771-8779.
- [16] 吕思思, 苏维词, 赵卫权, 等. 山水林田湖草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.
- [17] 王晓峰, 勒斯木初, 张明明. “两屏三带”生态系统格局变化及其影响因素[J]. *生态学杂志*, 2019, 38(7): 2138-2148.
- [18] Asokan V A, Yarime M, Onuki M. Bridging practices, institutions, and landscapes through a scale-based approach for research and practice: A case study of a business association in south india [J]. *Ecological Economics*, 2019, 160: 240-250.
- [19] 许胜晴, 胡德胜. 基于生命共同体理念的自然资源法治建设: 关联的视角[J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29(12): 2335-2344.
- [20] 魏莉华, 马琳. 心怀法治梦想推进法治进程: 自然资源法治建设与与时俱进的发展历程[J]. *国土资源*, 2019(10): 13-19.
- [21] 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.
- [22] 李达净, 张时煌, 刘兵, 等. “山水林田湖草一人”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, 93.
- [23] 张仕超, 周仪琪, 李英杰, 等. 基于 DPSIRM 模型的全域综合整治前后山水林田湖草村健康评价[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 37(5): 45-58.
- [24] 曾春芬, 周仪琪, 段振东, 等. 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[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 37(4): 57-67.
- [25] 杨吉. 基于县域尺度的三峡库区(重庆段)山水林田湖生命共同体健康研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2017.
- [26] 陈晶, 余振国, 孙晓玲, 等. 基于山水林田湖草统筹视角的矿山生态损害及生态修复指标研究[J]. *环境保护*, 2020, 48(12): 58-63.
- [27] 吴昱璟. 山西省区域物流发展水平及对策研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [28] 张筱娟, 徐维祥, 刘程军. 粤港澳“经济—土地—人口—社会”城镇化耦合协调时空分异及其影响机制研究[J]. *经济问题探索*, 2019, 447(10): 54-64.
- [29] 廖重斌. 环境与经济协调发展的定量评判及其分类体系: 以珠江三角洲城市群为例[J]. *热带地理*, 1999, 19(2): 171-177.
- [30] 张中秋, 胡宝清. 区域土地利用结构与能耗碳排放关联测度方法与应用: 以南宁市为例[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(9): 207-211.
- [31] 张迅, 吕华权. 基于 DEM 的宁明县地形因子分析[J]. *测绘与空间地理信息*, 2014, 37(12): 157-158, 162.
- [32] 唐庆, 羊秀娟, 王娜娜. 基于 DEM 的重庆市水土流失地形因子分析[J]. *安徽农学通报*, 2018, 24(16): 115-116, 120.
- [33] 周文龙, 赵卫权, 杨家芳, 等. 基于 DEM 的贵州沟壑特征及其空间分异规律研究[J]. *绿色科技*, 2015(10): 16-20.
- [34] 张贺, 王绍强, 王梁, 等. 自然资源要素综合观测指标体系探讨[J]. *资源科学*, 2020, 42(10): 1883-1899.
- [35] 刘玖芬, 高阳, 冯欣, 等. 自然资源要素综合观测质量管理体系构建[J]. *资源科学*, 2020, 42(10): 1944-1952.
- [36] 苏维词, 杨吉. 山水林(草)田湖草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[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(5): 209-217.
- [37] 郑艳, 庄贵阳. 山水林田湖草系统治理: 理论内涵与实践路径探析[J]. *城市与环境研究*, 2020(4): 12-27.