

国家级自然保护区生态预警指标 体系构建与生态安全评价 ——以江西鄱阳湖国家级自然保护区为例

何雄伟 盛方富¹

(江西省社会科学院 生态文明与乡村振兴研究中心, 江西 南昌 330077)

【摘要】: 国家级自然保护区作为我国推进生态文明建设、建设美丽中国的重要载体, 构建其生态预警指标体系和研究分析其生态安全状况, 具有非常重要的现实意义。在借鉴已有研究成果的基础上, 运用“状态—压力—响应—免疫 (SPRI)”理论框架模型, 设置生态环境状况、生态安全压力、生态系统响应、生态风险免疫等分项指标, 构建了生态安全评价与预警指标体系, 并以鄱阳湖国家级自然保护区 2013—2017 年的数据作为研究样本, 对鄱阳湖国家级自然保护区生态安全进行实证分析。研究结论能够比较系统地反映鄱阳湖国家级自然保护区生态安全的基本情况及其演变态势, 并为国家级自然保护区的生态安全评价与预警提供借鉴。

【关键词】: 国家级自然保护区 生态预警 生态安全评价 鄱阳湖

【中图分类号】: X826; F205 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)12-190-06

党的十九大报告中关于生态文明建设的重要论述和部署, 为新时代推动生态文明建设提供了根本遵循和行动指南。生态安全是人类生存与发展的最基本、最普惠的安全需求, 是加快生态文明体制改革、建设美丽中国的基础性优先任务。而生态安全具有系统性和动态性, 如何构建一个结构相对合理、既能较为准确反映生态安全状况又能及时预警可能的生态安全变化态势的评价与预警指标体系, 显得尤为重要和关键。各级各类自然保护区是生态安全建设的重要载体, 特别是国家级自然保护区建设更是担负着维护全国生态安全的核心作用。因此, 对国家级自然保护区维护的生态安全予以评价并进行合理预警, 具有现实意义。

1 文献综述

当前, 国内外关于自然保护区和生态安全评价方面的研究较为丰富, 世界保护区数据库 (WDPA) 对我国 567 个保护区的边界、面积、等级、建立时间以及保护情况等建立了数据库^[1], 世界自然基金会编制了“自然保护区管理快速评估和优先性确定方法”^[2]。世界银行和世界自然基金会联合构建的“管理有效性跟踪工具”方法是目前世界上大部分国家的自然保护区使用的评估方法^[3]。

国内比较常用的评估方法主要有两类, 一类是由原国家林业局和中国科学院等联合起草并于 2008 年发布实施的《自然保护区有效管理评价技术规范》中提出的评估方法^[4]; 另一类是由全国森林可持续经营与森林认证标准委员会审定通过并于 2012 年

作者简介: 何雄伟, 硕士, 副研究员, 研究方向为生态经济。E-mail:heshenghua529@163.com

基金项目: 国家社会科学基金青年项目“我国区域生态红线的管控体系构建和保障制度研究”(15CJY015); 国家社会科学基金项目“绿色长江经济带生态环保一体化与政策协调机制研究”(16BJL072); 国家社会科学基金青年项目“农业农村优先发展视阈下工商资本参与乡村振兴的政策机制研究”(19CJY033)

年底发布的《中国森林认证森林生态环境服务自然保护区》中的评估方法^[5]。关于生态安全方面的研究,美国生态学家奥尔多·利奥波德在对土地功能评价中首次引入了“土地健康”的概念^[6]。

正式提出并明确“环境安全”内涵与外延的是世界环境与发展委员会(WCED),该组织于1987年将“生态环境恶化”的内容引入了环境安全的分析框架和范畴中,并在其中提出和明确了什么是“环境安全”^[7]。1989年,经济合作与发展组织(OECD)首次提出了PSR概念模型,即“压力—状态—响应”模型^[8]。生态预警方面的研究,国内学者通过实证分析方法,将相关的理论和方法应用到不同的生态领域,如湿地^[9]、城市^[10]等,有的学者在此基础上,将生态预警理论和方法进一步拓展到生态脆弱型或敏感型地区^[11]、产业结构生态效应^[12]、生态退化^[13]等。

通过梳理已有研究文献不难发现,自然保护区方面的研究主要集中于管理、体制、政策、法规等方面,虽有评估方面的实证分析,但也主要聚焦于对管理有效性的评估;生态安全评价与预警方面的研究范围相对比较宽泛,但用于自然保护区方面的研究相对还比较欠缺。因此,本文在借鉴国内外学者研究的基础上,建立了一套适宜自然保护区特征的生态安全评价与预警指标体系,以推动我国自然保护区的高质量发展。

2 指标体系框架构建

根据上面的文献梳理,借鉴相关理论,本文拟构建国家级自然保护区生态安全评价与预警理论模型,并确立了指标选取过程中所需遵循的基本原则:一是所选指标要具有相关性与代表性;二是基础数据要具有可获性与可靠性;三是指标数据要具有可比性与可接受性;四是选取的指标要具有前瞻性和导向性。

综合比较和分析现有评价指标体系之后,本研究以“状态—压力—响应—免疫(state-pressure-respond-immunity, SPRI)”模型来构建自然保护区生态安全评价与预警指标体系。SPRI模型将自然保护区的生态安全评价与预警分解为生态环境状况、生态安全压力、生态系统响应、生态风险免疫四个维度。“生态环境状况”主要是描述生态系统生态安全的一个基本现状,侧重于反映自然保护区拥有的生态禀赋资源与生态环境现状,这是生态安全的基底;“生态安全压力”主要是反映自然保护区受人类生产、生活等各类活动带来的负面影响等,这些负面影响的存在和累积给生态安全带来了压力,侧重于反映自然保护区生态安全遭受威胁的各类影响因素;“生态系统响应”主要是反映面对生态系统安全受到威胁之时,人类采取了怎样的行动和举措来消除和减轻生态系统遭受的安全胁迫,侧重于反映人类对自然保护区保护与修复所采取的系列举措;“生态风险免疫”主要是结果性的反应,即通过人类适时有效的响应,生态系统拥有的抵御外部负面影响的能力和自我调节与修复的能力,侧重于反映自然保护区拥有的抵御未来各类可能影响生态安全的能力(详见图1)。

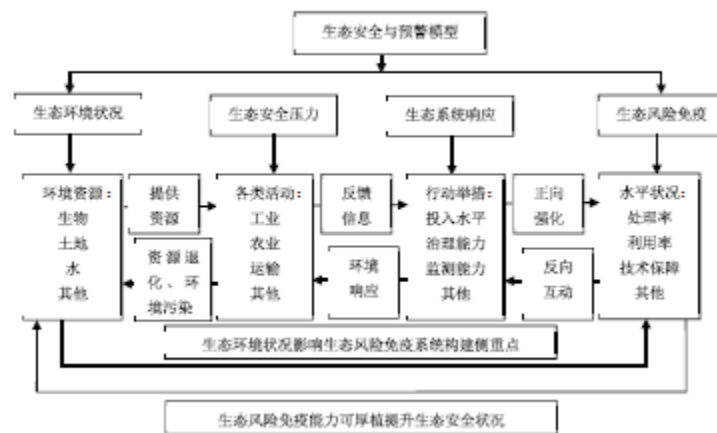


图 1 “状态—压力—响应—免疫 (SPRI)” 理论框架模型

3 生态预警指标体系构建与生态安全评价——以江西鄱阳湖国家级自然保护区为例

鄱阳湖作为我国最大的淡水湖，在世界湖泊体系中具有重要地位。近年来，随着鄱阳湖滨湖地区社会和人口的发展，人类活动比较密集，鄱阳湖保护区的生态系统各方面都承受着逐渐增加的生态压力，本节以江西鄱阳湖国家级自然保护区(以下简称“鄱阳湖保护区”)作为案例，利用前面提出的生态安全评价与预警理论模型，结合鄱阳湖保护区的功能定位设置相应的指标体系并进行实证分析。

3.1 评价预警指标体系的确定

本研究在构建评价预警指标体系的过程中，紧紧围绕鄱阳湖保护区的功能与定位来选取指标，构建了目标层、准则层、指标层三层指标来综合体现评价预警功能，如表 1 所示。

表 1 鄱阳湖保护区生态安全评价与预警指标体系

目标层	准则层	指标层	单位	属性
鄱阳湖保护区生态安全评价与预警指标体系	生态环境状况	鄱阳湖 I ~ III类水质点位比例	%	+
		洲滩植物种类	种	+
		鱼类物种数	种	+
		苦草植株平均密度	株/平方米	+
		越冬水鸟最高数量	只	+
	生态安全压力	万元 GDP 能耗	吨标准煤/万元	-
		万元 GDP 水耗	立方米/万元	-
		废污水排放量	万吨	-
		农用化肥与农药施用强度	吨/公顷	-
		城市人口密度	人/平方千米	-
	生态系统响应	节能环保投入强度	%	+
		水利、环境和公共设施管理业固定资产投资	亿元	+
		工业废水处理设施处理能力	万吨/日	+
		工业废气治理设施处理能力	万立方米/时	+
		城市生活垃圾无害化处理能力	吨/日	+
		鄱阳湖管理局财政拨入事业费	万元	+
	生态风险免疫	人均 GDP	元	+

		污水处理率	%	+
		水利、环境和公共设施管理业从业人员	万人	+
		鄱阳湖管理局专业技术人员数	人	+
		有效灌溉率	%	+
		一般工业固体废物综合利用率	%	+

3.1.1 生态环境状况

鄱阳湖 I ~ III 类水质点位比例：该指标是反映鄱阳湖保护区生态环境现状的重要指标，也是体现鄱阳湖保护区生态安全状况的直观指标。因此，这里使用鄱阳湖 I ~ III 类水质点位比例作为表征鄱阳湖保护区生态安全状况的一个指标。

洲滩植物种类：洲滩湿地植被是陆地和水生生态系统的生态过渡带，对维持鄱阳湖生态系统健康具有重要意义，具有非常重要的生态系统服务功能。此处使用数据以大湖池、常湖池和沙湖每年春季和秋季两次调查中的最大值为准。

鱼类物种数：作为长江中下游的通江洪泛湖泊，鄱阳湖是我国重要的淡水渔业资源产区。此处使用的数据以大湖池和沙湖沿岸带进行的拖网调查数据为准。

苦草植株平均密度：苦草植株的平均密度情况，对了解鄱阳湖水生植物的群落特征，评价越冬水鸟的栖息环境等具有重要参考意义。这里使用的数据是对大湖池、沙湖、梅西湖、常湖池 4 个湖的监测数据。

越冬水鸟最高数量：越冬水鸟数量的变化情况，能够比较好地反映鄱阳湖湿地资源、越冬候鸟的保护管理情况。这里使用的数据是对鄱阳湖保护区大湖池、常湖池、朱市湖、沙湖、蚌湖、大汉湖、象湖、中湖池、梅西湖 9 个湖的越冬水鸟监测最高数据为准。

3.1.2 生态安全压力

万元 GDP 能耗：该指标主要是用以反映一个地区在经济发展的过程中对能源的消耗情况，即能源消耗总量和地区生产总值的比值，如果一个地区经济发展过程中对能源使用的依赖程度较高，则从侧面反映了人类活动对生态安全的影响较大。该指标为负指标，值越大也表明鄱阳湖保护区所在区域经济社会发展对能源的消耗越高，进而对生态安全构成较大压力。

万元 GDP 水耗：该指标主要是用以反映一个地区在经济发展的过程中对水资源的消耗情况，即总水耗和地区生产总值的比值，如果一个地区经济发展过程中对水使用的依赖程度较高，则从侧面反映了人类活动对生态安全的影响较大。该指标为负指标，值越大也表明鄱阳湖保护区所在区域经济社会发展对水的消耗越高，进而对生态安全构成较大压力。

废污水排放量：该指标表示的是报告期内鄱阳湖保护区所在区域在经济社会发展过程中向外界所排放的废污水总量。作为负指标，该指标越大表明鄱阳湖保护区水资源受污染的程度就可能越深，生态越不安全。

农用化肥与农药施用强度：即农用化肥与农药施用量和农作物播种面积的比值，这里使用鄱阳湖保护区所在区域农用化肥与农药施用强度来反映水生态安全情况。作为负指标，该指标越大表明鄱阳湖保护区水体受污染的程度就可能越深，生态越不安全。

城市人口密度：该指标是指某一区域内单位土地面积所容纳的城市人口数量，即城市人口总数和土地总面积的比值，反映的是单位土地面积上所承载的人口数量。该指标是逆指标，即城市人口密度越大，对鄱阳湖保护区生态系统的干扰就越强。

3.1.3 生态系统响应

节能环保投入强度：即节能环保投入和地区生产总值的比值。该指标数值越大，说明鄱阳湖保护区所在地区对环境保护所做的努力越大，这是针对生态安全威胁政府部门的直接响应。

水利、环境和公共设施管理业固定资产投资：该指标主要体现的是针对水利、环境和公共设施管理领域中短板和弱项所进行的固定资产投资，对夯实鄱阳湖保护区生态安全具有基础性作用，同时也是对鄱阳湖保护区生态安全威胁响应采取的项目举措。

工业废水处理设施处理能力：该指标主要反映鄱阳湖保护区所在区域在推进工业化发展过程中，为防范可能出现的工业废水排放破坏生态安全情况的发生，主动作为的行动响应。该指标越大，则表明鄱阳湖保护区所在地区对环境保护所做的努力越大，这是针对生态安全威胁所做的积极响应。

工业废气治理设施处理能力：该指标主要是指鄱阳湖保护区为尽可能降低工业发展给生态安全带来的潜在或直接威胁，而强化工业废气治理设施的处理。同上，该指标越大，则表明鄱阳湖保护区所在地区对环境保护所做的努力越大，这是针对生态安全威胁所做的积极响应。

城市生活垃圾无害化处理能力：该指标是指为减少城市生活垃圾对生态安全的影响，而主动强化这方面的能力建设。该指标为正指标，其值越大，说明城市生活垃圾无害化处理的能力越高，则鄱阳湖保护区抵御生态安全风险具有较强的源头支撑。

鄱阳湖管理局财政拨款入事业费：该指标是政府为提升生态保护的科学性和长效性，而在鄱阳湖保护区保护与管理方面加大投入的相应举措。同上，该指标越大，表明鄱阳湖保护区所在地区对环境保护所做的努力越大。

3.1.4 生态风险免疫

人均 GDP：该指标是反映一个地区经济社会发展水平的重要指标，之所以选择这个指标是因为该指标越大，表明该地区越具有绿色发展的内在驱动力，进而必然促使当地生态安全的外在免疫功能具有坚实保障。该指标越大，则表明鄱阳湖保护区抵御生态安全风险的外在驱动力越大。

污水处理率：即污水处理厂实际处理的污水量和废污水排放量的比值，鄱阳湖“一湖清水”的成色如何直接关乎鄱阳湖保护区的成效，这与鄱阳湖所涉及地区的污水处理率密切相关。因此，该指标越大，则表明鄱阳湖保护区抵御生态安全风险具有较强的源头保证。

水利、环境和公共设施管理业从业人员：该指标反映的是鄱阳湖保护区所在区域从事生态保护的人员数量情况，一般而言，从事生态保护领域的人员越多，表明地方对鄱阳湖保护区的重视程度越高。因此，该指标越大，则表明鄱阳湖保护区抵御生态安全风险具有充足的人员保障。

鄱阳湖管理局专业技术人员数：厚植鄱阳湖保护区生态安全基础和优势，需要具有一定数量的专业技术人才支撑。因此，该指标越大，则表明鄱阳湖保护区抵御生态安全风险具有充足的专业技术支撑。

有效灌溉率：即有效灌溉面积和农作物播种面积的比值，该指标反映的是鄱阳湖保护区所涉及地区从事农业生产时集约节

约用水的能力，这体现的是人与水和谐共生的重要举措。因此，该指标越大，则表明鄱阳湖保护区抵御生态安全风险具有较强的现实保障。

一般工业固体废物综合利用率：该指标反映的是鄱阳湖保护区所涉及地区为减少工业发展对生态环境造成影响威胁的努力。该指标为正指标，其值越大，说明工业固体废弃物利用率越高，则表明鄱阳湖保护区抵御生态安全风险具有较强的源头支撑。

3.2 评价方法

评价方法最核心的是权重的确定，这里为避免主观赋权法与客观赋权法的短处，取各自的长处并进行综合赋权。主观赋权中通过使用层次分析法(使用 AHP 软件)来确定，客观赋权则通过使用因子分析法(使用 SPSS 软件)来确定，然后对主客观分析方法分别计算得出的权重进行标准化处理，并采取算术平均的方法来计算综合权重。考虑到客观赋权过程中存在导致综合权重为负数的情况，为便于观察比较，这里将权重结果予以正向并标准归一化处理。

3.3 数据来源与结果分析

3.3.1 数据来源

鄱阳湖保护区作为国际重要湿地，以九江市永修县吴城镇为中心，位于赣江、修河的交汇处，地跨南昌、九江二市的永修、庐山、新建三县(市、区)。但为考虑数据收集的便利和研究的一致性以及对方便，本研究采用九江市数据。

为体现数据的公正客观性，本文所使用的数据均来源于公开的权威数据，其中生态环境状况中除“鄱阳湖 I~III类水质点位比例”来源于《江西省环境状况公报》外，其余数据均来源于《江西鄱阳湖国家级自然保护区自然资源监测报告》和江西鄱阳湖国家级自然保护区管理局(以下简称“鄱阳湖管理局”)；其他指标数据来源于《江西统计年鉴》(2014—2018 年)、《九江统计年鉴》(2014—2018 年)，以及 2013—2017 年《九江市国民经济和社会发展统计公报》、2013—2018 年《江西省环境统计公报》。

说明：因“耕地面积”数据缺失，这里使用“农作物播种面积”来计算“农用化肥与农药施用强度”“有效灌溉率”。

3.3.2 结果分析

表 2 反映了 2013—2017 年鄱阳湖保护区生态安全与预警值的变化趋势情况。从表中可以看出，鄱阳湖保护区生态安全综合指标与各分项指标的变化趋势存在明显的不一致性，鄱阳湖保护区生态安全的总体水平、生态风险免疫呈现“N”型走势，生态系统响应呈现“U”型走势，生态环境状况呈持续下行并逐渐收敛的“L”型走势，生态安全压力则呈上升走势。

(1) 总体水平评价。

表 2 2013—2017 年鄱阳湖保护区生态安全预警值

年份	生态环境状况	生态安全压力	生态系统响应	生态风险免疫	总体水平值
2013	0.2947	0.0191	0.1041	0.1412	0.5591
2014	0.2665	0.0884	0.0639	0.1522	0.5709
2015	0.1063	0.1512	0.0616	0.1690	0.4881

2016	0.0819	0.2077	0.0671	0.0374	0.3942
2017	0.0709	0.2459	0.1725	0.1816	0.6710

从图 2 总体水平来看, 2013—2017 年鄱阳湖保护区生态安全预警总体水平呈“N”型走势, 表明鄱阳湖保护区的生态安全总体水平呈现曲折性的提升, 从总体水平得分值来看, 这反映近几年鄱阳湖保护区生态安全整体状况在不断优化与提升, 表明鄱阳湖保护区的生态系统安全指数不断提高。在样本期的 2014—2016 年中, 鄱阳湖保护区生态安全预警总体水平呈逐年下降趋势, 表明当前鄱阳湖保护区生态安全预警总体水平的基础还不牢固, 生态安全形势仍面临压力, 需要重点关注。

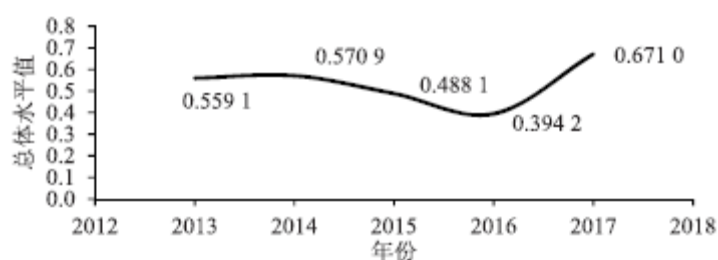


图 2 2013—2017 年鄱阳湖保护区生态安全总体水平值

本文设置了鄱阳湖保护区生态安全预警评判标准(表 3), 通过五个等级来度量鄱阳湖保护区的生态安全状况和形势, 根据评判标准, 计算得到的总体水平值越高, 则说明生态安全状况越好; 相反, 生态安全状况越差。根据表 3 的评判标准, 水平值越大, 生态安全状况越好, 因此, 2013—2017 年鄱阳湖保护区生态安全状况的预警情况依次为: 轻警—轻警—轻警—中警—良好。

表 3 鄱阳湖保护区生态安全预警评判标准

总体水平值	生态安全等级	生态预警状态
$0.0 \leq U < 0.2$	I	重警
$0.2 \leq U < 0.4$	II	中警
$0.4 \leq U < 0.6$	III	轻警
$0.6 \leq U < 0.8$	IV	良好
$0.8 \leq U < 1.0$	V	理想

(2) 分项指标评价。

2013—2017 年鄱阳湖保护区的生态环境状况持续下行, 呈逐渐收敛的“L”型走势(详见图 3), 这可从关乎鄱阳湖保护区生态多样性等指标的表现中得到佐证。同时, 生态环境状况水平下行的态势呈逐年收敛状, 如 2014 年较 2013 年下降的幅度为 0.0282, 而 2017 年较 2016 年下降的幅度为 0.0110。

2013—2017年鄱阳湖保护区生态安全压力呈上升走势(详见图3),表明鄱阳湖保护区生态安全压力持续变小(因生态安全压力指标均为负向指标,在处理的过程中进行了正向化处理,因此,生态安全压力水平值越大则表明生态安全压力越小)。这从关乎鄱阳湖保护区生态安全压力的具体指标得到验证和支撑。

2013—2017年鄱阳湖保护区生态系统响应呈“U”型走势(详见图3),表明在应对鄱阳湖保护区保护与管理的过程中,响应的举措力度呈现波折起伏性的不断强化,环保投入和与环保相关的固定资产投资是地方政府应对生态安全压力变化的有效举措之一。

2013—2017年鄱阳湖保护区生态风险免疫呈“N”型走势(详见图3),表明鄱阳湖保护区的生态风险免疫能力从整体和整个趋势来看是在提升的,剔除2016年,自2013年开始的历年得分值依次为0.1412、0.1522、0.1690、0.1816。2016年,与鄱阳湖保护区生态风险免疫相关的两个比较重要的指标污水处理率和鄱阳湖管理局专业技术人员数是5年中最小的,并且这两个指标相比选取的其他指标的重要性相对更大些,相应赋予的权重也就更大,因为鄱阳湖“一湖清水”的保持和维护与“污水处理率”水平密切相关。

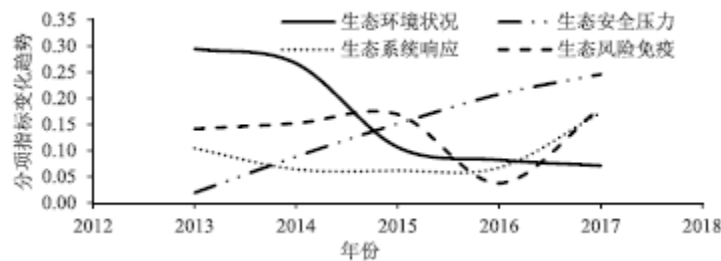


图3 2013—2017年鄱阳湖保护区生态安全分项指标变化趋势

4 结论

鄱阳湖国家级自然保护区生态安全评价与预警体系的探索构建,将为国家级自然保护区的生态安全评价与预警提供借鉴。根据分析可得出如下几点结论:

一是构建生态预警与生态安全评价指标体系,是评估国家级自然保护区生态安全现状的重要路径,是查找薄弱环节、补齐短板漏洞的重要手段,对优化提升国家级自然保护区的现有保护举措和保护方式具有参考作用。以鄱阳湖保护区为例,通过构建“状态—压力—响应—免疫(SPRI)”理论模型,并在此基础上根据鄱阳湖国家级自然保护区的实际设置了生态环境状况、生态安全压力、生态系统响应、生态风险免疫等相关指标,能够比较系统地反映鄱阳湖国家级自然保护区生态安全的基本情况及演变态势,这同样适用于对其他国家级自然保护区的生态安全评价。

二是生态安全评价与预警是一项系统工程,需强化系统观念在国家级自然保护区治理中的运用,构建的评价指标体系中需根据实际涵盖自然、社会、经济等子系统。以鄱阳湖保护区为例,水是鄱阳湖保护区的生命力所在,“一湖清水”的水质状况是衡量鄱阳湖保护区乃至整个鄱阳湖生态安全状况的核心指标,而水流动不居的特征必然要求鄱阳湖保护区生态安全建设必须采取全流域系统理念,为此在构建评价指标体系时不仅仅局限于水环境等单一维度的评价,而是包括草、鸟、经济活动等多维度的评价。国家级自然保护区往往是涵盖山水林田湖草的自然生态系统,在构建类似评价指标体系时 also 需从多维度、多角度予以衡量。

三是将安全统筹于发展之中是长效提升国家级自然保护区生态安全水平的战略路径。党的十九届五中全会将统筹发展和安

全提到更加重要的位置，这为加大力度提升国家级自然保护区的生态安全能力和水平提供重要的政策机遇，特别是新冠肺炎疫情的全球大流行，更加需要从总体国家安全观的高度来看待国家级自然保护区的建设与治理，并且将国家级自然保护区建设同当地经济社会发展统筹起来一体推进，以形成生态文明建设与经济社会高质量发展相得益彰的良性局面，进而为人与自然和谐共生提供坚实保障。

参考文献:

- [1]任慧.我国国家级自然保护区数量特征研究[D].武汉:湖北大学,2012.
- [2]桑尼,尤继勇,齐沛森.国内自然保护区现状及自然保护区管理评估方法综述[J].四川林勘设计,2019(2):45-48.
- [3]冯斌,李迪强,张于光,等.基于METT的自然保护区管理有效性分析[J].西部林业科学,2017(6):15-19,25.
- [4]国家林业局.自然保护区有效管理评价技术规范:LY/T1726—2008[S].北京:中国标准出版社,2008.
- [5]国家林业局.中国森林认证森林生态环境服务自然保护区:LY/T2239—2013[S].北京:商务印书馆,2013.
- [6]杨希越,张明,刘友兆,等.基于模糊物元分析法的耕地健康评价[J].经济研究导刊,2015(17):40-43.
- [7]邓楠.资源型城市生态安全预警体系构建及实证研究[D].西安:西安理工大学,2018.
- [8]苏凯,张军以,苏维词,等.基于PSR模型的石漠化风险评价指标研究[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2011(1):71-75.
- [9]高家骥,李雪铭,张峰,等.南四湖湖泊湿地生态环境预警研究[J].地理科学,2016(8):1219-1226.
- [10]李杨帆,林静玉,孙翔.城市区域生态风险预警方法及其在景观生态安全格局调控中的应用[J].地理研究,2017(3):485-494.
- [11]王治和,黄坤,张强.基于可拓云模型的区域生态安全预警模型及应用——以祁连山冰川与水源涵养生态功能区张掖段为例[J].安全与环境学报,2017(2):768-774.
- [12]赵雪雁.产业结构生态预警研究——以甘肃省为例[J].干旱区地理,2007(1):128-134.
- [13]刘冉芝,石惠春,李鲁华.甘肃省生态安全预警研究[J].中国农学通报,2018(24):110-116.