

DOI: 10.5846/stxb201812262817

姚帅臣, 闵庆文, 焦雯珺, 何思源, 刘某承, 刘显洋, 张碧天, 李文华. 面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建与应用. 生态学报, 2019, 39(22): - .

Yao S C, Min Q W, Jiao W J, He S Y, Liu M C, Liu X Y, Zhang B T, Li W H. Establishment and application of an ecological monitoring indicator system in national parks oriented to management objectives. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(22): - .

面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建与应用

姚帅臣^{1,2}, 闵庆文^{2,3}, 焦雯珺^{2,*}, 何思源², 刘某承², 刘显洋^{2,3}, 张碧天^{2,3}, 李文华^{1,2}

1 中国人民大学环境学院, 北京 100872

2 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 国家公园具有生态系统保护、自然资源可持续利用等管理目标, 这些管理目标的实现需要大量监测数据和信息的支持。对国家公园开展生态监测有助于了解国家公园内生态系统的动态变化并揭示管理活动的影响, 从而为管理决策的规划和实施提供有用信息。为推动我国国家公园生态监测体系的建立, 本文提出了面向管理目标的国家公园生态监测指标构建方法。该方法由确定国家公园生态监测目标、识别国家公园管理目标、识别国家公园关键生态过程、确定需要监测的生态过程并制定初始监测指标清单、确定最终监测指标清单 5 个部分组成。该方法在三江源国家公园进行了应用。三江源国家公园的管理目标包括生态系统保育、维持江河径流量持续稳定等 13 项, 在区域、景观、生态系统和种群尺度上共识别出 16 个关键生态过程。通过匹配三江源国家公园的关键生态过程与管理目标, 本文构建了一个由两级共 93 个指标组成的三江源国家公园生态监测指标体系, 为三江源国家公园生态监测体系的构建奠定了基础。

关键词: 国家公园; 生态监测; 管理目标; 指标体系; 三江源国家公园

Establishment and application of an ecological monitoring indicator system in national parks oriented to management objectives

YAO Shuaichen^{1,2}, MIN Qingwen^{2,3}, JIAO Wenjun^{2,*}, HE Siyuan², LIU Moucheng², LIU Xianyang^{2,3}, ZHANG Bitian^{2,3}, LI Wenhua^{1,2}

1 School of Environment and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China

2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The national parks have management objectives such as ecosystem conservation and sustainable use of natural resources. The realization of these management objectives requires support of a large amount of data and information. Ecological monitoring can help to understand the dynamic change of ecosystems within the national parks and to reveal the impact of management activities, thus providing useful information for the planning and the implementation of management decisions. Since the national park system concept was put forward in 2013, construction of pilot national parks has been gradually carried out in China. Although some of them have achieved monitoring results to some extent by integrating various resources, the pilot national parks still lack in ecological monitoring that can meet management needs in China. To promote

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0506404)

收稿日期: 2018-12-26; 网络出版日期: 2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiaowj@igsrr.ac.cn

the establishment of an ecological monitoring system in national parks of China, we proposed a methodology of constructing an ecological monitoring indicator system in the national parks oriented to management objectives. This methodology consists of five procedures: 1) to determine the objectives of ecological monitoring in the national parks. 2) to identify the management objectives of the national parks. 3) to identify key ecological processes in the national parks. 4) to identify the ecological processes that need to be monitored and develop a list of initial monitoring indicators. 5) to determine a list of final monitoring indicators. This methodology was applied in Three-River-Source National Park where management objectives were identified such as ecosystem conservation, maintain sustainable and steady river runoff and key ecological processes were identified at levels of the region, landscape, ecosystem, and population. By matching key ecological processes and management objectives, an ecological monitoring indicator system was established in Three-River-Source National Park, which consists of 93 indicators at two levels. This methodology and its application has laid a foundation for the establishment of an ecological monitoring system in Three-River-Source National Park.

Key Words: national park; ecological monitoring; management objectives; indicator system; Three-River-Source National Park

生态监测是以生态学原理为理论基础,运用相应的监测方法和手段,对生态环境中的各个要素、不同尺度生态系统的环境质量状况、生态系统结构与功能进行连续观测和评价的综合技术^[1]。生态监测是一个动态的连续观察与测定过程,着眼于人类活动造成的生态破坏和影响的综合评价,监测的对象、过程和方法复杂多样,因此具有长期性、综合性、复杂性、系统性等特点^[2]。目前,生态监测的理论与方法在重要湿地^[3-5]、自然保护区^[6-8]、国家公园^[9-12]等领域得到了广泛应用,在维护和改善区域生态环境质量、合理开发和利用自然资源等方面起到重要作用。

生态监测对于国家公园的管理至关重要。国家公园诸多管理目标的实现,如物种的保护管理、科学研究、可持续利用等^[13-16],都需要大量监测数据和信息作为支持。生态监测在国家公园管理中所起到的作用可归纳为三个方面:第一,识别国家公园内生态系统的动态变化和威胁因素,为生态系统的保护与管理提供必要的数据和信息^[9,12,17],促进国家公园的科学高效管理;第二,了解国家公园内自然资源状况,为国家公园的自然资源保护和可持续利用提供有效信息^[10,18];第三,揭示管理活动影响,为管理决策的规划和实施提供有用信息^[19-21]。

自 2013 年首次提出建立国家公园体制以来,我国的国家公园体制试点建设逐步开展,三江源等十个国家公园体制试点方案陆续获批。2017 年,中办国办印发《建立国家公园体制总体方案》,明确指出“完善监测指标体系和技术体系,定期对国家公园开展监测^[22]。”然而,我国目前的国家公园试点多由各类型自然保护地整合设立,现行监测工作多源于科研项目监测或由资源环境的调查与研究替代。尽管一些国家公园试点通过整合各方面监测资源取得了一些成效,为深入开展生态监测工作奠定了基础,但是从整体上看,我国国家公园的生态监测工作尚处于初级阶段,与国家公园的管理需求还存在较大差距。

为实现我国国家公园的有效管理,建立科学完整的国家公园生态监测体系势在必行。然而,建立一套满足国家公园管理需求的生态监测体系面临着诸多方面的挑战,如监测指标的复杂性。国家公园中生态系统的复杂性、多样性以及区域的差异性,决定了其监测指标体系的多样复杂。为此,本文提出了面向管理目标的国家公园生态监测指标体系的构建方法,并在三江源国家公园进行了应用,以期为我国国家公园的生态监测体系构建提供科学支撑。

1 理论研究

在生态监测指标的选取上,学者们多是基于不同的生态系统类型和特征进行考虑。基于生态系统类型的监测指标多是在环境监测指标的基础上增加生物相关指标所得,而基于生态系统特征的监测指标则主要考虑

生态系统的状态指标和压力指标^[23]。Tierney 等^[24]认为可以基于生态系统的生态完整性监测生态系统状态及变化趋势。Mueller 等^[25]认为可以采用生态系统方法选取监测指标,同时考虑来自不同营养级别的若干个指标组。学者们所提出的各种生态监测指标选取原则和方法都有着各自的考量和科学性,但较少考虑到管理目标和管理成效。

国家公园生态监测是国家公园管理工作的一部分,也是国家公园管理工作的数据和信息支撑。因此,国家公园生态监测指标的识别和选取必然要与国家公园的管理目标相匹配,以更好的服务于管理工作。同时,生态监测指标的选取应当能够从不同的尺度反映出生态系统的变化和管理活动的影响^[26]。基于以上考虑,本文提出了面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建方法(图 1)。

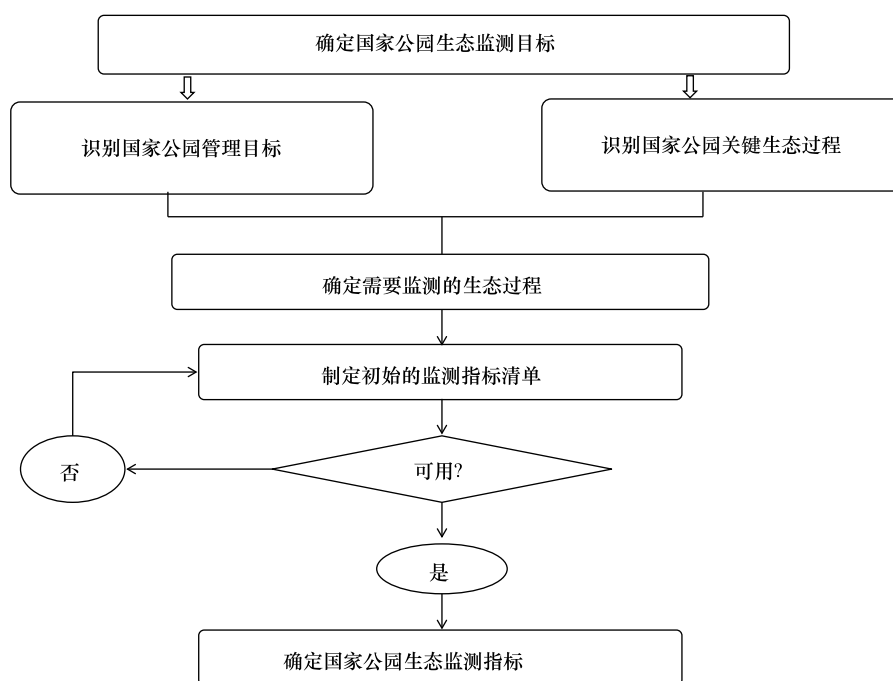


图 1 面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建方法

Fig.1 Method of establishing an ecological monitoring indicator system of national parks oriented to management objectives

该方法由五个部分组成,分别是:1)确定国家公园生态监测目标;2)识别国家公园管理目标;3)识别国家公园关键生态过程;4)确定需要监测的生态过程并制定初始监测指标清单;5)确定最终监测指标清单。

1.1 确定国家公园生态监测目标

任何的监测都应当有明确的目标,仅仅为了获取数据本身的监测往往是低效的。因此,构建国家公园生态监测指标体系的第一步,就是要明确国家公园生态监测的必要性和进行生态监测的目标。尽管不同国家公园的监测目标可能存在差异,然而总体而言,国家公园的生态监测目标在于识别国家公园内生态系统的动态变化和揭示管理活动的影响。

1.2 识别国家公园管理目标

国家公园管理目标的识别一方面可依赖国家公园法规条例、管理计划、规划方案等文件中的介绍,另一方面也需要在国家公园开展更深入的研究从而获得更加清晰的认识。由于生态系统类型及区域地理特征差异显著,不同国家公园的管理目标存在差异。开展实地调研、访谈相关管理和科研人员等,有助于在文件的基础上识别出国家公园更加具体的管理目标。

1.3 识别国家公园关键生态过程

对关键生态过程的识别是国家公园生态监测指标体系构建中重要的环节之一。生态系统是基于结构和

功能的不同层级结构的复合体,层级的关系反映在不同的时间和空间尺度上^[27,28]。通过分层的方法来描述一个区域的生态功能,就可以将生态过程归纳到它们所发生的尺度内。识别国家公园中关键的生态过程就可以采用这种分层的方法。

本文认为可以分四个层级识别国家公园中关键的生态过程。这四个层级分别是区域、景观、生态系统和种群(表1)。一般而言,在区域层面,生态过程主要以非生物成分为主,通常是气候变化、地质和地貌形态特征变化以及长期发生的人类进程^[29,30];在景观层面,生物成分与非生物成分一起发挥重要作用,生态过程主要是水文、土地利用及其动态(土地利用变化、破碎化、连通性等)以及人为过程等^[9,31];在生态系统层面,生态过程主要以生物成分为主,如生产力、演替、养分循环、干扰等^[25,32,33];在种群层面,生态过程主要是物种之间的相互作用和种群动态,如入侵、出生率与死亡率、迁入和迁出等^[26,34,35]。

表1 国家公园内各层级主要的生态过程

Table 1 Major ecological processes at each level within national parks

层级 Level	时间尺度 Temporal scale	空间尺度 Spatial scale	主要生态过程 Major ecological processes
区域 Region	数百或数千年	数百平方千米或更大	气候变化、地质和地貌形态特征变化、长期发生的人类进程等
景观 Landscape	数十至数百年	数十至数百平方千米	水文、土地利用及其动态(土地利用变化、破碎化、连通性等)、人为过程等
生态系统 Ecosystem	几年到几十年	数平方米到数十平方千米	生产力、演替、养分循环、干扰等
种群 Population	—	—	物种之间的相互作用和种群动态(入侵、出生率与死亡率、迁入与迁出等)

并非所有的生物学特征和生态过程都能得到监测,因此从每个相应的层级内识别出关键的生态过程对于监测内容的确定至关重要。关键生态过程的识别有赖于现有研究成果与深度访谈和实地调研工作的结合。本文认为,首先应对已有研究成果和访谈调研所获数据进行整理分析,形成四个层级的生态过程清单,然后经由管理人员和研究人員组成的专家小组的探讨论证,最终将达成共识的生态过程作为关键的生态过程。

1.4 确定需要监测的生态过程并制定初始监测指标清单

在识别国家公园管理目标和关键生态过程后,可以建立国家公园管理目标与关键生态过程的相关性分析矩阵。通过分析管理目标与关键生态过程的相关性,确定出需要监测的生态过程以及这些生态过程发生的时间尺度和空间尺度。在此基础上,通过文献查阅和专家咨询等方法,为这些需要监测的生态过程列出初始监测指标清单。

1.5 确定最终监测指标清单

在确定最终监测指标清单之前,需要对初始监测指标进行可行性分析,剔除可行性较低的监测指标。可行性分析主要考虑现有监测基础的可用性、与其他机构合作的可能性等方面。对于那些自身进行监测较为困难或成本较高的指标,可以通过合作的方式由其他机构完成。对于那些监测成本高但是被认为重要的指标,可以通过降低监测频率等方式来纳入监测指标体系。

在确定最终监测指标清单之后,需要对监测指标进行分级,使不同层级的指标适用于不同的监测基础和阶段,以增强监测指标的可行性、提高监测效率。本文认为,综合考虑指标的灵活性、时效性以及対现有手段和方法的适应性,可以将国家公园生态监测指标分为三级。

一级是基本的监测指标体系,这一级别主要关注当前的技术和可用资源。一级监测指标是为立即使用而设计的,包括现有监测项目中的可用指标。

二级是完整的监测指标体系,这一级别能够覆盖足够的细节。二级监测指标包含一级监测指标,并增加更完整的指标参数,还包括基于监测站点的监测指标或未在第一级进行的生态过程指标。

三级是最高级别的监测指标体系。三级监测指标除包括所有二级的监测指标外,还包括二级监测指标中

未考虑的辅助指标以及针对特殊目标的专题性监测指标、需要复杂实验设计的监测指标等。

2 应用研究

2.1 研究区概况

三江源国家公园位于地球“第三极”青藏高原腹地,于 2016 年获批成为我国第一个国家公园体制试点。三江源国家公园区域总面积 12.31 万 km²,由长江源、黄河源和澜沧江源三个园区组成,涉及治多、曲麻莱、玛多、杂多四县和可可西里自然保护区管辖区域,共 12 个乡镇、53 个行政村。

三江源国家公园以山原和高山峡谷地貌为主,平均海拔 4500m 以上。园内生态系统类型多样,集草地、湿地、森林、河流、湖泊等于一体。气候特征为冷热两季、雨热同期、冬长夏短。土壤类型多样,以高山草甸土为主,冻土面积较大。植被类型以高寒草原、高寒草甸、高寒荒漠草原和高山流石坡植被为主,少量镶嵌分布有高寒垫状植被和温性植被。当地居民以藏族为主,社会发育程度低,经济欠发达、结构单一,主体产业为传统畜牧业。

2.2 数据收集

研究数据主要通过资料收集、文献查阅、深度访谈、专家咨询和实地调研等方式获得。2018 年 8 月 18 日—29 日,在三江源国家公园开展为期 12 天的实地调研,调研线路自西宁经兴海、玛多、玉树至杂多,横跨整个三江源地区,并对草地鼠害监测、藏野驴种群动态、隆宝滩保护区黑颈鹤栖息地、昂塞雪豹监测进行了重点调研。调研期间,与三江源国家公园管理局及下辖三个园区管委会、基层管理监测站点的管理人员围绕国家公园管理和监测开展座谈活动 6 次、深度访谈 20 余人次,重点了解三江源国家公园的管理活动、监测现状与科研进展等;在玛多县玛查里镇、玉树市结古镇、玉树市隆宝镇、杂多县昂塞乡和杂多县萨呼腾镇针对农牧民开展生态功能认知问卷调查 80 余份。调研前、中、后期,就国家公园生态监测问题咨询生态、旅游、林业、气象、管理等不同研究领域专家 60 余人次。

2.3 结果分析

2.3.1 三江源国家公园生态监测目标确定

结合三江源国家公园的自身定位和实地调研与深度访谈的数据分析,三江源国家公园生态监测的目标主要有两个:一是记录三江源国家公园内生态系统的动态变化及其影响因素;二是揭示管理行动或规划方案实施后三江源国家公园所发生的变化。

2.3.2 三江源国家公园管理目标识别

将《三江源国家公园条例》《三江源国家公园总体规划》等相关法规条例和规划方案中反映出的管理目标进行分析整合,结合对三江源国家公园管理人员的访谈结果和实地调研所获得的信息,最终确定三江源国家公园的管理目标可分为 5 大类共 13 个(表 2)。

表 2 三江源国家公园管理目标

Table 2 Management objectives of the Three-River-Source National Park

分类 Category	管理目标 Management objectives
生态系统保育 Ecosystem conservation	高寒湿地、草地、湖泊、荒漠、雪山冰川等生态系统的保育
水土资源保护 Water and soil conservation	维持江河径流量持续稳定;保护水质;水土流失强度减弱;沙化土地的保护修复;保护区内固态水源;提高水源涵养功能
生物多样性保护 Biodiversity conservation	生物多样性丰富;野生动植物种群增加;保护珍稀野生动物物种和种群恢复
栖息地保护 Habitat protection	保持野生动物迁徙通道的完整性;保护野生动物栖息地的完整
景观保护 Landscape maintenance	保护原始景观的自然原真性

2.3.3 三江源国家公园关键生态过程识别

通过梳理相关文献中关于三江源国家公园生态过程的研究成果,结合对当地管理和科研人员的访谈结果

以及实地调研收集的数据资料,列出三江源国家公园的生态过程清单,经咨询相关专家最后确定出三江源国家公园的关键生态过程(表3)。

表3 三江源国家公园关键生态过程

Table 3 Key ecological processes in the Three-River-Source National Park

层级 Level	关键生态过程 Key ecological processes	确定方法 Methods
区域 Region	气候变化、水土流失、荒漠化、水文调节	文献查阅、实地调研、专家咨询
景观 Landscape	小气候调节、地表径流、土地利用变化、栖息地破碎化、景观同质化	文献查阅、实地调研、专家咨询
生态系统 Ecosystem	生态演替、物种丰富和多样、生态系统生产力、污染	文献查阅、实地调研、专家咨询
种群 Population	栖息地减少、外来物种入侵、种群数量变化	文献查阅、实地调研、专家咨询

在区域尺度上,独特的地质地貌使得三江源国家公园内的各类型生态系统对气候变化比较敏感,因此气候变化对于三江源国家公园的影响极为重要^[36-38]。由于气候变化和长期的人类活动,水土流失和荒漠化在逐渐改变着三江源的地质地貌特征^[39],因此水土流失和荒漠化也是三江源生态监测不可忽略的生态过程。同时,三江源地区作为“中华水塔”,其水文调节功能发挥着重要作用^[40,41]。从某种程度上来说,国家公园内部影响这些过程的可能性为零,但如果要解释园内生态系统的动态,对这些生态过程的监测便至关重要。

在景观尺度上,三江源国家公园内河流湖泊遍布,地表径流和湖泊水位在很大程度上影响着三江源国家公园的景观格局^[42,43]。此外,区域小气候也控制着不同生态环境和多样化区域的空间分布^[44]。由于三江源国家公园内大量人口和社区存在,在这一尺度下土地利用的变化显得尤为重要^[45,46],特别是城镇扩张和园内牧业的发展。从广泛分布的牧业到交通和基础设施建设,都在一定程度上改变着三江源国家公园的景观格局^[47]。土地利用变化还伴随着景观同质化和栖息地破碎化,同时减少了栖息地连通性^[48]。

在生态系统的尺度上,高寒草甸、高寒草地和湿地是三江源国家公园的关键生态系统。对于高寒生态系统而言,生态系统生产力至关重要^[49,50]。生态演替也是该尺度上关键的生态过程,演替的不同阶段使得生态系统的结构和功能产生差异,而生态系统的变化影响着物种的丰富性和多样性^[46]。此外,人类活动对生态系统的干扰以及生产生活所产生的废弃物对于三江源自然环境的污染是最重要的人为过程^[51]。

在种群尺度上,三江源国家公园内的多数物种的生境条件都相对脆弱,比较容易受到外界干扰,对物种栖息地的监测有利于识别干扰的影响^[48,52,53]。外来入侵物种所施加的竞争压力也会影响三江源国家公园内一些物种的生存^[54]。此外,对三江源国家公园特有物种以及一些濒临灭绝物种的种群动态变化监测也是十分必要的。

2.3.4 三江源国家公园需要监测的生态过程的确定

通过文献调研和专家咨询的方法对三江源国家公园管理目标和关键生态过程进行相关性分析,确定出三江源国家公园需要监测的生态过程及其时间和空间尺度(表4)。

从表4中可以看出,三江源国家公园所有的管理目标都与识别出的关键生态过程存在直接或间接的关系。例如,水土流失强度减弱与区域尺度的水土流失存在直接关系,与区域尺度的水文调节和景观尺度的水流量存在间接的关系。这在一定程度上也说明,识别出的这些关键生态过程与三江源国家公园的管理目标具有很高的匹配度。从表4中也可以看出,有些关键生态过程(如气候变化)与三江源国家公园的管理目标没有直接关系。然而,这并不意味着对这些关键生态过程的监测对于管理目标没有意义。如前文所述,如果要解释不能归因于管理行为的生态系统动态变化,对这些关键生态过程的监测便十分重要。因此,本文识别出的三江源国家公园关键生态过程都是需要被监测的生态过程。

确定出需要监测的生态过程后,根据监测要求和监测方法的差异,对监测内容作进一步的梳理与凝练,共归为类型、面积、气象和小气候、水文水质、土壤、大气与声环境、植被与群落、野生动物、外来物种、栖息地、景观格局、人类活动12项监测内容(表5)。围绕这些监测内容,通过文献查阅和专家咨询的方法,制定初始的

监测指标清单。

表 4 三江源国家公园管理目标与不同尺度关键生态过程之间的相关性

Table 4 Correlation between management objectives and key ecological processes at different levels in the Three-River-Source National Park

管理目标 Management objectives	关键生态过程 Key ecological process															
	区域 Region				景观 Landscape				生态系统 Ecosystem				种群 Population			
	气候 变化	水土 流失	荒漠 化	水文 调节	小气 候调 节	地表 径流	土地 利用 变化	景观 同质 化	栖息 地破 碎化	生态 演替	物种 的丰 富和 多样	生态 系统 生产 力	污 染	栖息 地减 少	外来 物种 入侵	种群 数量 变化
1.生态系统保育(高寒湿地、草地、湖泊等) Ecosystem conservation (i.e. alpine wetland, grassland, lake)		*			*		*		*	*		★		*		*
2.江河径流量持续稳定 River runoff continuously steady	*	*		*		★										
3.保护水质 Protection of water quality				★		*							★			
4.水土流失强度减弱 Soil erosion intensity weakened	*	★		*		*										
5.沙化土地的保护修复 Protection and restoration of desertified land			★				*									
6.保护区固态水源 Protection of solid water source	*	*		*												
7.生物多样性丰富 Rich biodiversity			*		*				★	★	★					★
8.野生动植物种群增加 Increase in wildlife population										★	★	*	*	★		
9.保护珍稀野生动物物种和种群恢复 Rare wildlife species protection and population restoration							★	*	★		★			*	*	★
10.保持野生动物迁徙通道的完整性 Integrity of wildlife migration pathway maintained							*	★	★					*		
11.保护野生动物栖息地的完整 Protection of integral wildlife habitat		*					★	★	★				*	★		
12.提高水源涵养功能 Improvement of water conservation function	*	*		*	*											
13.保护原始景观的自然原真性 Authenticity of original landscape maintained		*					★		★					★		

(★ =直接关系; * =间接或弱关系)

2.3.5 三江源国家公园生态监测指标确定

对初始监测指标进行可行性分析,剔除一些可行性较低的监测指标,确定最终的监测指标清单,并对最终确定的生态监测指标进行分级。基于实地调研与深度访谈结果以及专家咨询意见,权衡监测成本、灵活性、时效性及对现有手段和现有知识的适应性等方面,同时考虑到三江源国家公园处于试点阶段,生态监测体系有一个逐步完善的过程,本文将三江源国家公园生态监测指标分为两级(表5)。

从表5中可以看出,三江源生态监测指标体系由两级共93个指标构成,其中一级指标37个、二级指标56个。一级指标最大程度利用了三江源国家公园现有监测资源,其特点为可立即使用。一级指标由基础指标和现有监测能够实现的指标构成,基础指标包括生态系统类型、野生动植物物种等,现有监测能够实现的指标包括年降水量、土地覆盖变化等。二级指标是较为完整的监测指标体系,能够覆盖三江源国家公园的更多细节。例如,在野生动物监测方面,二级指标增加了种群结构、繁殖习性、食物丰富度等指标,以便管理者对园内野生动物有更加的跟踪与调查。

表 5 三江源国家公园生态监测指标体系

Table 5 Ecological Monitoring Indicator System of Three-River-Source National Park

内容 Content	指标 Indicator	
	层级 1 Level 1	层级 2 Level 2
类型 Type	生态系统类型	
面积 Area	各类型面积	边界
气象及小气候	月均温	最高温
Meteorology and microclimate	相对湿度	最低温
	年降水量	最大降水量
		蒸发量
		风速
		极端天气
		日照时间
	水文水质 Hydrology and water quality	水位、潜水埋深
	地表水深	氨氮
	水速	总硬度
	盐度	总磷
	水温	总氮
	溶氧	挥发性酚类
	pH	矿化度
	透明度	高锰酸盐指数
土壤 Soil	主要土壤类型及其分布	土壤有机质含量
	土壤温度	全氮
	土壤含水量	全磷
	土壤酸碱度	全钾属
		全盐量
		重金属
大气与声环境	总悬浮颗粒物	二氧化碳
Atmosphere and acoustic environment	可吸入颗粒物	一氧化碳
	氮氧化物	负离子含量
	二氧化硫	甲烷
	噪音	氟化物
植被及其群落	植被类型及其分布	盖度
Vegetation and its community	植物种类(物种数)	生物量
	濒危物种、特有种	物候
		多样性
		有害入侵物种
		人类干扰活动类型和强度
	野生动物 Wild animals	野生动物种类
	种群数量	繁殖习性
	种群分布	种群动态
	珍稀濒危物种及其种群数量、分布	食物丰富度
		栖息地基本状况
		受威胁因素和强度
外来物种 Invasive species	外来物种种类	外来物种分布
		危害
栖息地 Habitat	栖息地类型	生境覆盖率
	栖息地面积	生境多样性
		生境斑块数量

续表		
内容 Content	指标 Indicator	
	层级 1 Level 1	层级 2 Level 2
景观格局 Landscape	土地覆盖类型 土地覆盖变化	生境斑块面积
		土地覆盖丰富性
		土地覆盖多样性
		土地覆盖均匀度
		斑块数量
人类活动 Human activity	人口 土地所有权 污染物排放量	斑块间平均距离
		牧民数量
		牛羊数量
		游客流量
		污染物种类和浓度
		矿区面积
		非法活动

3 结论与讨论

为实现我国国家公园的有效管理、推动我国国家公园生态监测体系的建立,本文提出了面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建方法。该方法由确定国家公园生态监测目标、识别国家公园管理目标、识别国家公园关键生态过程、确定需要监测的生态过程并制定初始监测指标清单、确定最终监测指标清单 5 个部分组成。本文将该方法在三江源国家公园进行了应用,构建出由两级共 93 个指标组成的三江源国家公园生态监测指标体系,为三江源国家公园生态监测体系的构建奠定了基础。

本文提出的面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建方法最大的特点是将关键生态过程与国家公园管理目标相匹配,进而识别出需要监测的生态过程并最终确定生态监测指标。因此,构建出的指标体系能够最大程度地服务国家公园的管理目标,基于该指标体系的生态监测也能够最大程度地促进国家公园的有效管理。面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建方法还提出了基于灵活性、时效性、适应性等原则的指标分级策略。指标分级策略充分考虑了现有基础和可用资源,极大地增强了生态监测指标体系的可行性以及生态监测的效率,有利于我国国家公园生态监测工作的落地实施。面向管理目标的国家公园生态监测指标体系构建方法并不局限于一套具体的监测指标,而是为我国国家公园生态监测指标体系的构建提供理论方法。其在三江源国家公园的应用表明,任何一个国家公园都可以依据自身管理定位与生态资源特点来构建适合自己的生态监测指标体系。

尽管本文从生态过程的角度构建国家公园生态监测指标体系,但由于国家公园生态监测的复杂性,研究依然存在待完善之处。首先,本文对管理目标与关键生态过程的相关性分析属定性分析,未来可利用定量分析方法增强这种相关性分析的科学性及其对监测指标选取的指导作用。其次,本文虽然也考虑了人类活动影响如污染物排放,但是对影响因素特别是人为胁迫因素的考虑尚不全面,未来应尝试将更多的影响因素纳入进来。再者,本文尚未考虑国家公园内不同功能分区之间监测指标的差异,这也是未来需要进一步完善的。最后,国家公园生态监测体系的建立不仅包括监测指标体系的构建,还包括监测基线的确定、监测技术的运用、监测方案的制定等多个方面,这也是未来的研究方向。

致谢:感谢中国科学院西北高原生物研究所、三江源国家公园管理局等单位对本文实地调研的支持与协助;本文在调研和撰写过程中还得到诸多科研和管理人员以及多位老师和同学的帮助,在此一并感谢。

参考文献 (References):

- [1] Kremen C, Merenlender A M, Murphy D D. Ecological monitoring: a vital need for integrated conservation and development programs in the tropics. *Conservation Biology*, 1994, 8(2): 388-397.
- [2] 罗泽娇, 程胜高. 我国生态监测的研究进展. *环境保护*, 2003, (3): 41-44.
- [3] 关蕾, 刘平, 雷光春. 国际重要湿地生态特征描述及其监测指标研究. *中南林业调查规划*, 2011, 30(2): 1-9.
- [4] 张明祥, 张建军. 中国国际重要湿地监测的指标与方法. *湿地科学*, 2007, 5(1): 1-6.
- [5] Thakur J K, Srivastava P K, Singh S K, Vekerdy Z. Ecological monitoring of wetlands in semi-arid region of Konya closed Basin, Turkey. *Regional Environmental Change*, 2012, 12(1): 133-144.
- [6] Liu X H, Wu P F, Songer M, Cai Q, He X B, Zhu Y, Shao X M. Monitoring wildlife abundance and diversity with infra-red camera traps in Guanyinshan Nature Reserve of Shaanxi Province, China. *Ecological Indicators*, 2013, 33: 121-128.
- [7] Beever E A, Woodward A. Design of ecoregional monitoring in conservation areas of high-latitude ecosystems under contemporary climate change. *Biological Conservation*, 2011, 144(5): 1258-1269.
- [8] Sanka M, Paterson E. Basal soil monitoring scheme in the protected areas of the Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1995, 34(2): 167-174.
- [9] Fraser R H, Olthof I, Pouliot D. Monitoring land cover change and ecological integrity in Canada's national parks. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(7): 1397-1409.
- [10] Fancy S G, Gross J E, Carter S L. Monitoring the condition of natural resources in US national parks. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 151(1/4): 161-174.
- [11] Osawa T. Monitoring records of plant species in the Hakone region of Fuji-Hakone-Izu National Park, Japan, 2001-2010. *Ecological Research*, 2013, 28(4): 541-541.
- [12] Anderson N E, Bessell P R, Mubanga J, Thomas R, Eisler M C, Fèvre E M, Welburn S C. Ecological monitoring and health research in Luambe National Park, Zambia: generation of baseline data layers. *EcoHealth*, 2016, 13(3): 511-524.
- [13] Choi I Y, An J S, Na S H, Lee J, Choi S W. Monitoring of herbivore's feeding activity in three different elevations of Mt. Jirisan National Park, a Korea long-term ecological research site. *Entomological Research*, 2011, 41(6): 287-287.
- [14] Mauer B A, Williams T Y. An Analysis of Potential Sensitive Plant Species for Long-Term Monitoring in Glacier National Park. Laramie, Wyoming, USA: University of Wyoming, 1991.
- [15] Choi S W, An J S. What we know and do not know about moth diversity from seven-year-monitoring in Mt. Jirisan National Park, South Korea. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 2013, 16(4): 401-409.
- [16] Judge S W, Hess S C, Faford J K, Pacheco D, Leopold C R. Monitoring eradication of European mouflon sheep from the Kahuku Unit of Hawai'i Volcanoes National Park. *Pacific Science*, 2017, 71(4): 425-436.
- [17] Théau J, Trotter S, Graillon P. Optimization of an ecological integrity monitoring program for protected areas: case study for a network of national parks. *PLoS One*, 2018, 13(9): e0202902.
- [18] Vos P, Meelis E, Keurs W J T. A framework for the design of ecological monitoring programs as a tool for environmental and nature management. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2000, 61(3): 317-344.
- [19] Davis G E. National park stewardship and 'vital signs' monitoring: a case study from Channel Islands National Park, California. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2005, 15(1): 71-89.
- [20] Rodhouse T J, Sergeant C J, Schweiger E W. Ecological monitoring and evidence-based decision-making in America's National Parks: highlights of the Special Feature. *Ecosphere*, 2016, 7(11): e01608.
- [21] Brown E K, McKenna S A, Beavers S C, Clark T, Gawel M, Raikow D F. Informing coral reef management decisions at four U. S. National Parks in the Pacific using long-term monitoring data. *Ecosphere*, 2016, 7(10): e01463.
- [22] 中共中央办公厅, 国务院办公厅. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《建立国家公园体制总体方案》. (2017-09-26) [2019-03-22]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/26/content_5227713.htm.
- [23] 胡俊, 沈强, 陈明秀, 池仕运, 胡菊香. 生态监测指标选择的探讨. *中国环境监测*, 2014, 30(4): 166-170.
- [24] Tierney G L, Faber-Langendoen D, Mitchell B R, Shriver W G, Gibbs J P. Monitoring and evaluating the ecological integrity of forest ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(6): 308-316.
- [25] Mueller M, Geist J. Conceptual guidelines for the implementation of the ecosystem approach in biodiversity monitoring. *Ecosphere*, 2016, 7(5): e01305.

- [26] Mezquida J A A, De Fernández J V L, Yangtias M A M. A framework for designing ecological monitoring programs for protected areas: a case study of the Galachos del Ebro nature reserve (Spain). *Environmental Management*, 2005, 35(1): 20-33.
- [27] Klijn F, De Haes H A U. A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification. *Landscape Ecology*, 1994, 9(2): 89-104.
- [28] O'Neill R V, Gardner R H, Turner M G. A hierarchical neutral model for landscape analysis. *Landscape Ecology*, 1992, 7(1): 55-61.
- [29] López I, Pardo M. Socioeconomic indicators for the evaluation and monitoring of climate change in national parks: an analysis of the Sierra de Guadarrama National Park (Spain). *Environments*, 2018, 5(2): 25.
- [30] Sergeant C J, Moynahan B J, Johnson W F. Practical advice for implementing long-term ecosystem monitoring. *Journal of Applied Ecology*, 2012, 49(5): 969-973.
- [31] Stalmans M, Balkwill K, Witkowski E T F, Rogers K H. A landscape ecological approach to address scaling problems in conservation management and monitoring. *Environmental Management*, 2001, 28(3): 389-401.
- [32] Parrish J D, Braun D P, Unnasch R S. Are we conserving what we say we are? Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*, 2003, 53(9): 851-860.
- [33] 孙永光, 赵冬至, 郭文永, 高阳, 苏岫, 卫宝泉. 红树林生态系统遥感监测研究进展. *生态学报*, 2013, 33(15): 4523-4538.
- [34] 吴军, 高逖, 徐海根, 崔鹏, 陈炼, 丁晖. 两栖动物监测方法和国外监测计划研究. *生态与农村环境学报*, 2013, 29(6): 784-788.
- [35] 张常智, 张明海, 姜广顺. 中国野生东北虎数量监测方法有效性评估. *生态学报*, 2012, 32(19): 5943-5952.
- [36] 李林, 朱西德, 周陆生, 汪青春. 三江源地区气候变化及其对生态环境的影响. *气象*, 2004, 30(8): 18-22.
- [37] 白晓兰, 魏加华, 解宏伟. 三江源区干湿变化特征及其影响. *生态学报*, 2017, 37(24): 8397-8410.
- [38] 张士锋, 华东, 孟秀敬, 张永勇. 三江源气候变化及其对径流的驱动分析. *地理学报*, 2011, 66(1): 13-24.
- [39] 蒋冲, 高艳妮, 李芬, 王德旺, 张林波, 李岱青. 1956—2010 年三江源区水土流失状况演变. *环境科学研究*, 2017, 30(1): 20-29.
- [40] 代军臣, 王根绪, 宋春林, 黄克威, 朱美壮. 三江源区径流退水过程演变规律. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(6): 1342-1350.
- [41] 潘韬, 吴绍洪, 戴尔阜, 刘玉洁. 基于 InVEST 模型的三江源区生态系统水源供给服务时空变化. *应用生态学报*, 2013, 24(1): 183-189.
- [42] 贾慧聪, 曹春香, 马广仁, 鲍达明, 武晓波, 徐敏, 赵坚, 田蓉. 青海省三江源地区湿地生态系统健康评价. *湿地科学*, 2011, 9(3): 209-217.
- [43] 蒋冲, 李芬, 高艳妮, 王德旺, 张林波, 郭杨. 1956—2012 年三江源区河流流量变化及成因. *环境科学研究*, 2017, 30(1): 30-39.
- [44] 刘凯, 李希来, 金立群, 孙华方. 三江源区 7 种类型湿地的植物特征与湿地分类关键因子研究. *湿地科学*, 2017, 15(3): 416-424.
- [45] 许茜, 李奇, 陈懂懂, 罗彩云, 赵新全, 赵亮. 近 40 a 三江源地区土地利用变化动态分析及预测. *干旱区研究*, 2018, 35(3): 695-704.
- [46] 徐新良, 刘纪远, 邵全琴, 樊江文. 30 年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化. *地理研究*, 2008, 27(4): 829-838.
- [47] 李辉霞, 刘国华, 傅伯杰. 基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究. *生态学报*, 2011, 31(19): 5495-5504.
- [48] 张洪峰, 胡罕, 苏丽娜, 车利锋, 封托, 刘艳, 李涤非, 吴晓民. 青海三江源自然保护区马麝栖息地适宜性评价. *西北农业学报*, 2017, 26(8): 1141-1147.
- [49] 王军邦, 刘纪远, 邵全琴, 刘荣高, 樊江文, 陈卓奇. 基于遥感-过程耦合模型的 1988—2004 年青海三江源区净初级生产力模拟. *植物生态学报*, 2009, 33(2): 254-269.
- [50] 张雅娴, 樊江文, 曹巍, 张海燕. 2006—2013 年三江源草地产草量的时空动态变化及其对降水的响应. *草业学报*, 2017, 26(10): 10-19.
- [51] 景晖, 徐建龙, 顾延生. 三江源区草场生态恶化原因新解. *生态环境学报*, 2006, 15(5): 1042-1045.
- [52] 于海玲, 樊江文, 李愈哲, 史文娇. 高原鼯鼠干扰对三江源区高寒草甸群落特征的影响. *应用生态学报*, 2018, 29(6): 1902-1910.
- [53] 刘伟, 张毓, 王溪, 赵建中, 许庆民, 周立. 植物生长季节不同栖息地高原鼠兔的食物选择. *兽类学报*, 2008, 28(4): 358-366.
- [54] 关弘弢, 简生龙. 青海三江源区渔业生态保护现状及对策研究. *中国水产*, 2018, (2): 46-48.