



•论坛• 生态系统原真性和完整性专题

国家公园生态系统完整性的内涵及评价框架：以东北虎豹国家公园为例

蒋亚芳¹, 田静¹, 赵晶博², 唐小平^{1*}

1. 国家林业和草原局调查规划设计院/国家公园研究院, 北京 100714; 2. 吉林省林业调查规划院, 长春 130022

摘要：保护自然生态系统的完整性是我国建立国家公园的主要目标之一，《国家公园设立规范》(GB/T 39737-2021)已将生态系统完整性作为国家公园的准入条件生态重要性的认定指标之一，但目前对国家公园生态系统完整性的内涵还没有统一定义，并缺乏具体的评价体系。本文在国内外相关研究的基础上，结合我国国家公园体制试点成果及第一批国家公园设立实践，提出了国家公园生态系统完整性的基本内涵及评价指标体系，以期为今后设立国家公园时划定边界范围或评估国家公园管理成效提供理论依据。作者提出，应从生态系统结构和过程完整性、功能完整性、空间格局完整性3个维度对我国国家公园生态系统完整性进行综合评价。以东北虎豹国家公园为例，体制试点以来，东北虎(*Panthera tigris altaica*)和东北豹(*P. pardus orientalis*)等顶级食肉动物的食物链相对完整，虎、豹野生种群从俄罗斯进入、定居、繁衍、扩散的路径清晰，种群稳定增长、栖息地质量持续改善，生物多样性日益丰富，国家公园正式设立范围划定时充分考虑了生态系统完整性保护，生态系统完整性评级为优秀，为国家公园可持续发展奠定了良好基础。

关键词：国家公园；生态系统完整性；东北虎豹国家公园；生物多样性；完整性评价

蒋亚芳, 田静, 赵晶博, 唐小平 (2021) 国家公园生态系统完整性的内涵及评价框架：以东北虎豹国家公园为例. 生物多样性, 29, 1279–1287. doi: 10.17520/biods.2021319.

Jiang YF, Tian J, Zhao JB, Tang XP (2021) The connotation and assessment framework of national park ecosystem integrity: A case study of the Amur Tiger and Leopard National Park. Biodiversity Science, 29, 1279–1287. doi: 10.17520/biods.2021319.

The connotation and assessment framework of national park ecosystem integrity: A case study of the Amur Tiger and Leopard National Park

Yafang Jiang¹, Jing Tian¹, Jingbo Zhao², Xiaoping Tang^{1*}

1 Academy of Forest Inventory and Planning/ National Park Research Institute, National Forest and Grassland Administration, Beijing 100714

2 Jilin Provincial Institute of Forest Inventory and Planning, Changchun 130022

ABSTRACT

Background: Ecosystem integrity is one of the management goals of China's national parks, and ecosystem integrity is also one of the criteria when planning the national park territory. However, the interpretation of the term "ecosystem integrity" as well as a standard assessment framework has not yet reached a consensus.

Aims: This paper aims to put forward a comprehensive interpretation of the term "ecosystem integrity" based on previous literature. We also present a succinct and efficient framework to assess the ecosystem integrity of China's national parks. We suggest that structure and process integrity, functional integrity, and spatial pattern integrity should be considered when assessing the ecosystem integrity of a national park. We then applied the framework to evaluate the ecosystem integrity of the Amur Tiger and Leopard National Park in China.

Results and Discussions: Results indicate that since the establishment of the national park system pilot, there are complete food chains with the Amur tiger and Amur leopard as top carnivores within the national park pilot territory. Also, a great amount of Amur tiger and Amur leopard have returned and resettled back to China from Russia. Population sizes of both Amur tiger and Amur leopard, their habitat quality, and their regional biodiversity have steadily

收稿日期: 2021-08-15; 接受日期: 2021-10-20

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: tang8043@126.com

increased over the past years.

Conclusion: It is concluded that the boundary of the Amur Tiger and Leopard National Park is reasonably proposed due to the high regional ecosystem integrity, which lies a solid foundation for the sustainable development of the national park.

Key words: national park; ecosystem integrity; Amur Tiger and Leopard National Park; biodiversity; integrity assessment

中国的国家公园是保持自然生态系统的完整性和原真性, 保护大面积具有国家代表性的自然生态系统, 实现自然资源科学保护和合理利用的区域, 在自然保护地体系中居主体地位。《国家公园设立规范》(GB/T 39737-2021)将生态系统完整性作为设立国家公园的认定指标之一。《国家公园考核评价规范》(GB/T 39739-2020)也将生态系统完整性作为国家公园重要的管理目标之一。如何根据不同区域的自然生态特征, 准确评价自然生态系统的完整性, 不仅是科学划定国家公园边界范围的需要, 也是考核评估国家公园保护管理成效的关键点。

目前, 针对生态系统完整性这一概念还缺乏系统的内涵界定以及评价方法, 尤其是尚未结合《国家公园设立规范》中的准入条件, 研究提出生态系统完整性概念在国家公园建设和管理中的运用方法。本文旨在基于国际有益做法, 结合我国国家公园建设的实际, 提出国家公园生态系统完整性的内涵和评价框架, 并运用此框架对东北虎豹国家公园的生态系统完整性进行分析评估。

生态系统完整性(ecosystem integrity)最早在加拿大被提出, 作为科学评价指标用于系统指导国家公园生态系统管理和修复。加拿大国家公园行动计划(Parks Canada Act)将其定义为: 一个生态系统的物理环境、原生物种的组成和丰度、生物群落、物质和能量变化速率和生态过程由所处区域的自然特征决定并随之发展演变(Woodley, 2010)。生态系统完整性高的一个重要特征是原生物种为本土优势种, 理想状态下, 国家公园应对原生物种实现百分之百的保护(Woodley, 2010)。加拿大国家公园管理局构建了国家公园生态完整性观测体系并对各个国家公园的生态系统完整性进行长期监测评估(Fraser et al, 2009)。该体系从环境胁迫、生态系统过程和生物多样性3个方面, 使用了栖息地破碎化程度(环境胁迫)、演替和退化(生态系统过程)、生产力(生态系统过程)、物种丰度(生物多样性)4个指标

对生态系统完整性进行综合评估。

美国国家公园管理局将生态系统完整性定义为: 以特定区域自然条件下的生态系统为参照, 能维持具有相同物种组成、丰度和结构的生态系统运转的能力(Unnasch et al, 2018)。该定义还强调, 生态系统完整性高的自然生态系统应在遭遇天然、人为胁迫时具备抵抗力和恢复力。美国国家公园管理局提出了生态系统完整性评估体系(The Ecological Integrity Assessment Framework, EIAF), 被认为是目前生态系统完整性最成熟的评估方法(代云川等, 2019)。EIAF要求管理者根据国家公园内森林、湿地、草原等多种生态系统的典型特征, 仔细筛选最具代表性的监测指标, 在不同尺度下独立构建针对不同生态系统的评估标准。例如, 在景观层面, 通常可选择景观发展指数、土地破碎化程度等指标, 通过远程评价法(remote assessment)利用地理信息系统和遥感技术对生态系统完整性进行大尺度评估; 而在中小尺度范围内, 通常可选取植被组成、动物种群密度、物种栖息地连通性等指标, 通过快速评价法(rapid assessment)利用实地选点考察和调研等方式对生态指标进行评价, 并对大尺度的遥感数据进行校正, 或者利用密集评价法(intensive assessment)对指标进行更为详细的实地测量, 进一步提高生态系统完整性的评估精度(Unnasch et al, 2018; 代云川等, 2019)。

生态系统的自组织能力也被看作生态系统完整性的重要组成部分。它代表在外界的干扰影响下生态系统通过自身的组织调节能力主动应变, 通过与外界进行物质、能量和信息的交换, 降低自身的熵含量, 使破坏得到修复, 并维持系统平衡与稳定的能力(黄宝荣等, 2006)。自组织能力是完整性的核心, 拥有自组织能力的系统通过接受能量流而有能力在实时发生的过程之上构建其结构和梯度, 所以完整性评估不聚焦于单一物种或参数, 而是关注过程和结构(唐小平等, 2020)。我国学者同样认为针对

不同的生态系统应选择最能反映其典型特征的评价指标(张明阳等, 2005), 例如, 进行生物完整性评价时, 水生生态系统可选择鱼类群落生物完整性指数, 陆域生态系统则应选择鸟类群落指数作为评价指标。在以物种为主要保护对象时, 可适当增加食物链和栖息地相关的评价指标(刘晓娜等, 2021)。

虽然不同国家、不同学者对于生态系统完整性的解析角度不同, 但总体上均围绕生态系统结构、过程、功能等方面展开分析, 并在实践中结合生态系统的特征和保护管理目标等进行调整(魏钰和雷光春, 2019)。完整性体现生态系统维持自然状态稳定性的程度(黄宝荣等, 2006), 总体来看, 国内外学者对生态系统完整性的定义包含生态系统的结构、过程和功能完整, 以及对环境胁迫的恢复力和抵抗力等方面。

1 国家公园生态系统完整性内涵及评价框架

生态系统完整性建立在生物完整性和生态健康相关概念的基础之上, 是生态系统物理、化学和生物完整性之和(张明阳等, 2005)。生态系统完整性可以从生物群落、优势种、生态干扰、自组织过程、自然属性等不同尺度或角度进行定义(代云川等, 2019)。但对于我国国家公园而言, 生态系统完整性还具有更深层的内涵。2017年中共中央办公厅、国务院办公厅发布的《建立国家公园体制总体方案》提出, “建立国家公园的目的是保护自然生态系统的原真性、完整性, 始终突出自然生态系统的严格保护、整体保护、系统保护, 把最应该保护的地方保护起来”, 要求使“交叉重叠、多头管理的碎片化问题得到有效解决, 国家重要自然生态系统原真性、完整性得到有效保护, 形成自然生态系统保护的新体制新模式”。由此可见, 对于国家公园而言, 生态系统完整性不仅意味着自然生态系统的结构和生态过程能够长久维持生态功能, 而且要打破行政边界的碎片割裂, 在大尺度范围内实施“山水林田湖草沙冰”的一体化保护和系统治理。因此, 对于生态系统完整性的讨论应是系统性的, 而不仅仅停留在单一层面, 国家公园的生态系统完整性可以定义为: 生态系统包含主要生物群落类型和物理环境要素, 生物多样性丰富, 能维持伞护种、旗舰种等种群生存繁衍, 且具有多种代表性的大面积自然生态系统。国家公园的生态系统完整性内涵可从3个

维度理解:

(1)生态系统结构和过程完整性。一个结构完整的生态系统由生产者、消费者、分解者及物理环境四部分构成, 生态系统结构的完整性是讨论生态系统完整性的基础。生态系统过程是在一定区域内生物与生物、生物与环境间的物质和能量流动, 以及种群繁衍、群落演替等, 主要包括初级生产(有机质合成)、营养物质循环、物质与能量流的调节等过程。拥有顶级食肉动物的完整食物链是一个生态系统健康的标志, 既能说明生态系统中生产者、消费者、分解者的完整存在, 也能说明生态系统中的物理环境能完整、有效支撑种群的生存和繁衍等(图1), 因此, 食物链的完整性可作为生态系统结构和过程完整的认定指标之一。从群落层面看, 植物和动物的动态变化及对环境胁迫的响应表现为不同的群落类型随地理环境分布的变化而变化, 如秦岭太白山南北坡植被垂直带谱的完整性; 也可展示食物资源和栖息地不同演替阶段的完整变化, 如动物种群的迁徙及其对于栖息地的重新选择, 生态系统结构和过程完整性高的国家公园包含顶级食肉动物存在的完整食物链及栖息地, 且栖息地的连通性高, 包含迁徙、洄游动物的主要通道、越冬(夏)或繁殖地。

(2)生态系统功能完整性。国家公园生态系统功能主要包括气候调节、水源涵养、控制有害生物等调节类功能, 及养分循环、初级生产、固碳释氧、保护生物多样性等支持类功能。生态系统一般具有多功能性, 例如森林生态系统可同时提供水源涵养、固碳释氧和保护生物多样性等多种生态功能(侯盟等, 2020)。研究表明, 生物多样性和生态系统多功能性呈正相关, 生物多样性越丰富, 生态系统多功能性越高(Hector & Bagchi, 2007; 邓冉等, 2021)。保护国家公园生态系统完整性, 就是要着力维持生态功能, 提高生态产品供给能力, 因此, 可将生物多样性的指标, 作为国家公园生态系统功能完整性/多功能性的评价指标之一(Woodley, 2010)。

(3)生态系统空间格局完整性。国家公园是统筹“山水林田湖草沙冰”, 实施生态系统完整性保护最重要的途径。生态系统根据基质条件可分为陆地生态系统和水域生态系统。陆地生态系统主要包括森林、草地、灌丛等; 水域生态系统主要包括海洋、淡水、湿地等。“山水林田湖草沙冰”生命共同体是将森林、草原、湿地、河湖、荒漠、田园、冰川等

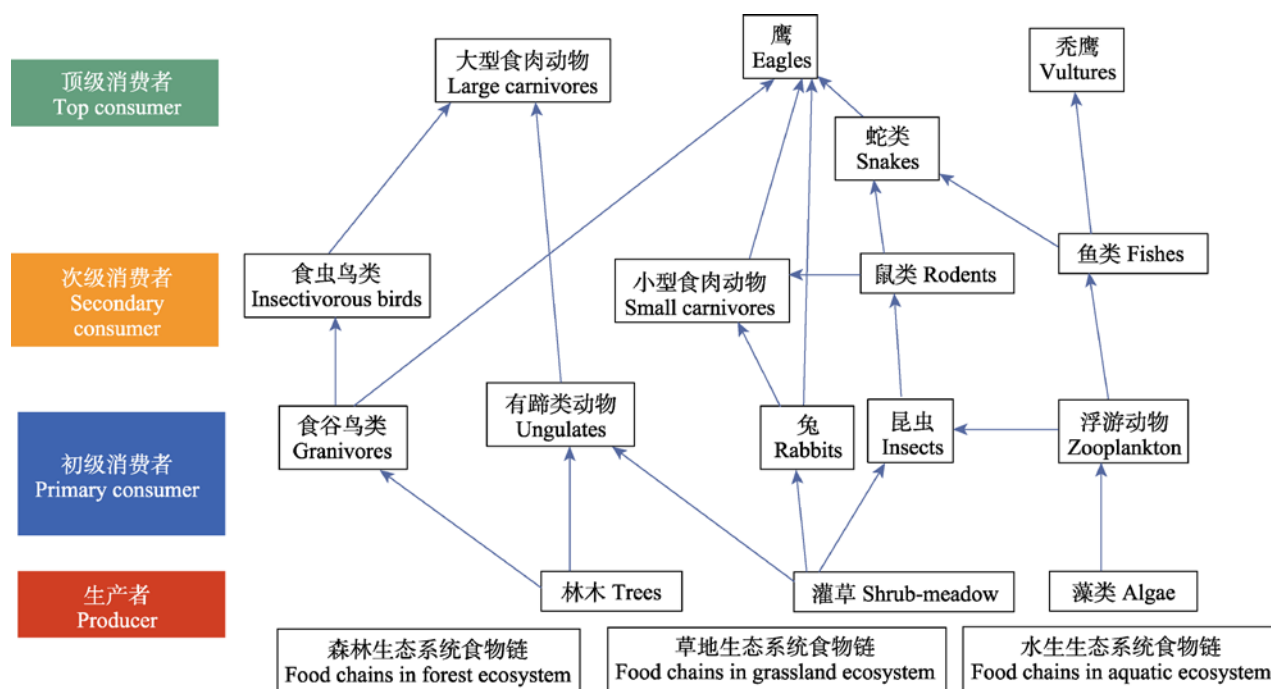


图1 森林、草地和水生生态系统食物链(食物网)示意图

Fig. 1 Illustration of food chains (the food web) in forest, grassland and aquatic ecosystems

生态系统看作一个有机联系的整体, 实现在生态系统层面的整体保护管理与修复。国家公园范围内自然资源本底条件多样, 通常包含一个或多个区域内的典型生态系统。在大尺度层面, 健康生态系统中植被类型越多样, 食物网结构越复杂, 其生态系统的稳定性越高, 且对于环境胁迫的抵抗力和恢复力增强(李鑫和田卫, 2012), 国家公园生态系统的完整性相应增高。此外, 服务国家生态安全战略是遴选国家公园的原则之一, 因此, 将生态区位的重要性, 即是否位于“两屏三带”为主体的国家生态安全战略格局范围或是否位于全国重点生态功能区, 作为考量国家公园生态系统空间格局完整性的指标之一。

建立科学的生态系统完整性评价体系是国家公园管理过程中的重要基础工作, 按照生态系统系统完整性内涵的3个维度, 即生态系统结构和过程、生态系统功能和生态系统空间格局的完整性, 分别选取相应的评价指标构建国家公园生态系统完整性综合评价框架, 作为国家公园范围区划及长期管理的依据, 可根据评价结果, 反馈国家公园的保护管理成效, 并及时调整保护管理策略。结合文献资料及国家公园相关试点区的实践经验, 本文选取食物链完整性及伞护种、旗舰种栖息地完整性(包括维

持稳定种群的栖息地规模和连通性)来评价生态系统结构和过程完整性; 以生物多样性来评价生态系统功能完整性; 根据代表性生态系统的数量和生态区位重要程度来评估生态系统空间格局完整性。鉴于国家公园的主要目的是保护具有国家代表性的大面积自然生态系统, 故对生态系统空间格局完整性评价赋予相对较高的权重。评价体系中各评价指标所占权重见表1。

为分析不同国家公园或国家公园不同时期生态系统完整性的相对水平, 参考美国国家公园生态系统完整性评价体系, 根据各指标划分标准, 构建国家公园生态系统完整性评价打分系统(表2)及评价等级(表3)。管理者可根据评价目的选取特定指标和尺度进行分级评价, 例如, 划定国家公园范围时可选取定性测量指标在大尺度上(可运用远程评价法)进行评价, 将特定区域内具备完整食物链、包含旗舰种及其栖息地和植被多样性高的区域纳入国家公园范围内; 进行国家公园监测和评估时, 可增加量化指标评价, 如指示物种种群数量、物种丰度及景观破碎化指数等, 在小尺度上(如使用密集评价法)对国家公园的保护管理成效进行评估, 及时指导调整保护管理措施。

2 东北虎豹国家公园生态系统完整性

东北虎豹国家公园是2016年由中央全面深化改革领导小组批复的国家公园体制试点区,并于2021年9月正式设立,其核心价值为保护野生东北虎(*Panthera tigris altaica*)、东北豹(*P. pardus orientalis*)种群及其栖息地和温带针阔叶混交林森

林生态系统。东北虎豹国家公园的保护管理目标包括两个方面: (1)恢复东北虎、东北豹定居种群并稳定繁衍; (2)修复并维持森林生态系统的完整性。体制试点以来,共修复培育野生东北虎、东北豹适宜栖息地约400 ha,连通野生动物扩散通道3条;同时,国家林业和草原局东北虎豹监测与研究 centers 在东北虎豹国家公园内建成覆盖超过5,000 km²的“天地

表1 国家公园生态系统完整性评价框架

Table 1 The assessment framework of national park's ecosystem integrity

| 一级指标 Level-1 index | 二级指标 Level-2 index | 权重 Weight |
|--|--|-----------|
| 1. 生态系统结构和过程 Ecosystem structure and processes | 食物链(网)完整性 Food chain (web) integrity | 0.15 |
| | 伞护种、旗舰种栖息地完整性 Habitat integrity of umbrella and flagship species | 0.15 |
| 2. 生态系统功能 Ecosystem functions | 生物多样性保护 Conservation of biodiversity | 0.3 |
| 3. 生态系统空间格局 Ecosystem spatial patterns | 代表性生态系统 Typical ecosystems | 0.2 |
| | 生态区位重要性 Importance of regional ecological value | 0.2 |

表2 国家公园生态系统完整性评价打分系统*

Table 2 The scoring system of ecosystem integrity assessment of national parks*

| 指标 Index | 等级划分规则 Ranking rules | | |
|--|---|---|--|
| | 优秀 Excellent (Score: 1) | 良好 Good (Score: 0.6) | 一般 Fair (Score: 0.3) |
| 1. 生态系统结构和过程 Ecosystem structure and processes | | | |
| 食物链(网)完整性 Food chain (web) integrity | 具有至少一条包含顶级食肉动物的完整食物链, 各类生态系统间构成复杂食物网; 生态系统结构极稳定 At least one complete food chain with top carnivore, complex food web among various ecosystems; ecosystem structure highly stabilized | 缺少包含顶级食肉动物的完整食物链, 但各类生态系统间构成食物网复杂; 生态系统结构较稳定 No complete food chain with top carnivore, but there is a complex food web among various ecosystems; ecosystem structure fairly stabilized | 缺少包含顶级食肉动物的完整食物链, 且各生态系统间仅构成简单的食物网; 生态系统结构稳定性一般 No complete food chain with top carnivore, with very simple food web among ecosystems; ecosystem structure not stabilized |
| 伞护种、旗舰种栖息地完整性 Habitat integrity of umbrella and flagship species | 90%–100%的自然栖息地; 连通性极高 90%–100% natural habitat; extremely high connectivity | 60%–90%的自然栖息地; 连通性较高 60%–90% natural habitat; relatively high connectivity | 20%–60%的自然栖息地; 连通性低 20%–60% natural habitat; low connectivity |
| 2. 生态系统功能 Ecosystem functions | | | |
| 生物多样性 Conservation of biodiversity | 物种多样性/丰富度在参考值范围内; 指示物种未消失 Species diversity/richness within the reference standards; indicator species present | 物种多样性/丰富度接近参考值; 人类活动对原生种构成威胁; 一些指示物种消失 Species diversity/richness near the reference standards; human activities pose a threat to native species; some indicator species absent | 物种多样性/丰富度远低于参考值; 很多指示物种消失 Species diversity/richness are far lower than the reference standards; many indicator species absent |
| 3. 生态系统空间格局 Ecosystem spatial patterns | | | |
| 代表性生态系统 Typical ecosystems | 80%以上为区域代表性生态系统 Over 80% area covered with regional typical ecosystems | 50%–80%为区域代表性生态系统 50%–80% area covered with regional typical ecosystems | 不足50%为区域代表性生态系统 Less than 50% area covered with regional typical ecosystems |
| 生态区位重要性 Importance of regional ecological value | 同时位于国家“两屏三带”生态安全战略区和国家重点生态功能区, 生态区位极重要 Located in both National ecological security strategic area and National key ecological functional area, the importance of regional ecological value is extremely high | 位于国家“两屏三带”生态安全战略区或国家重点生态功能区中的一个, 生态区位较重要 Located in either National ecological security strategic area or National key ecological functional area, the importance of regional ecological value is fairly high | 不位于国家“两屏三带”生态安全战略区或国家重点生态功能区, 生态区位不重要 Located in neither National ecological security strategic area nor National key ecological functional area, the importance of regional ecological value is low |

*伞护种、旗舰种栖息地完整性和生物多样性指标的等级划分规则参考代云川等(2019)

Cited Dai et al (2019) for ranking rules of habitat integrity of umbrella and flagship species and conservation of biodiversity indices.

表3 国家公园生态系统完整性评价等级

Table 3 The rank of ecosystem integrity assessment of national parks

| 生态系统完整性等级 Ecosystem integrity level | 生态系统完整性得分 Ecosystem integrity score | 生态系统完整性状况 Ecosystem integrity condition |
|--|--|---|
| 优秀 Excellent | > 0.8 | 生态系统的结构和过程都在自然扰动范围内变化, 生态系统功能极强, 连通性极好, 生态区位极为重要; 生态系统完整性极高 Changes of ecosystem structure and process are within the natural disturbance range, excellent ecosystem functions, extremely high connectivity, extremely important ecological niche; extremely high ecosystem integrity |
| 良好 Good | 0.6–0.8 | 生态系统的组成结构和过程都在自然扰动范围内变化, 生态功能稳定, 连通性良好, 生态区位较为重要; 生态系统完整性高 Changes of ecosystem structure and process are within the natural disturbance range, stabilized ecosystem functions, good connectivity, important ecological niche; high ecosystem integrity |
| 中等 Fair | 0.4–0.6 | 生态系统的组成结构和过程都在自然扰动范围内变化, 生态功能部分受损, 连通性一般, 生态区位重要性一般; 生态系统完整性需提高 Changes of ecosystem structure and process are within the natural disturbance range, part of ecosystem functions are damaged, fair connectivity, less important ecological niche; ecosystem integrity need to be improved |
| 较差 Poor | < 0.4 | 生态系统的组成结构和过程的变化超出自然扰动范围, 生态功能受损严重, 破碎化程度高, 生态区位不重要; 生态系统完整性低 Changes of ecosystem structure and process are beyond the natural disturbance range, part of ecosystem functions are seriously damaged, low connectivity, not important ecological niche; ecosystem integrity low |

空一体化监测系统”, 远程实时监测东北虎、东北豹和其他濒危物种的野外生存状况, 为国家公园生态系统完整性的评价提供依据。根据主要保护对象特征及保护管理目标, 采用本文提出的生态系统完整性评价框架, 以2019年林地变更数据及东北虎豹国家公园“天地空一体化”监测数据为基础, 对东北虎豹国家公园生态系统完整性进行初步评价, 以确定范围划定的合理性并为今后的管理成效评价提供基准数据。

2.1 生态系统结构和过程完整性评价

在东北森林生态系统食物链中, 存在以红松(*Pinus koraiensis*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)等为代表的生产者和以有蹄类动物为代表的初级消费者(图1)。东北虎、东北豹均是大型食肉猫科动物, 处于森林生态系统中食物链的顶端, 是森林生态系统健康及食物链完整的标志。有蹄类动物为东北虎、东北豹的主要猎物, 例如野猪(*Sus scrofa*)、狍(*Capreolus pygargus*)、梅花鹿(*Cervus nippon*)、马鹿(*C. elaphus*)等(孙海义, 2015; 赵国静等, 2019)。而有蹄类动物的主要食物是存在于林下灌草层的植物叶、茎、根以及掉落的松子橡实。研究表明, 森林放牧是影响东北虎、东北豹种群数量的主要原因之一。森林放牧会使灌草层生物量下降29%–70%(Wang et al, 2018), 导致有蹄类动物(如梅花鹿)的栖息地质量降低, 从而间接影响顶级消费者东北虎、东北豹的栖息地质量和种群数量。总体来看, 东北

虎豹国家公园范围内有蹄类动物种群结构和规模保持健康状态, 为野生东北虎、东北豹种群发展壮大奠定了基础, 生态系统结构和过程完整性中的食物链完整指标评级为优秀。

东北虎豹国家公园覆盖了3个东北虎豹的优先保护区域: 珲春、长白山和老爷岭(Wang et al, 2016), 囊括了东北虎、东北豹偏爱的针阔混交林及阔叶混交林等森林类型。东北地区温带针阔混交林为东北虎、东北豹及其主要猎物野猪偏爱的栖息地(赵国静, 2019)。温带针阔混交林主要位于小兴安岭和长白山地区, 以红松和紫椴(*Tilia amurensis*)为优势种, 一半以上的面积位于东北虎豹国家公园范围内(陈智, 2019)。由于红松针阔混交林在中国东北的分布比较有限, 东北虎也会利用阔叶混交林。由图2a可见, 东北虎豹国家公园范围内包含了大面积的阔叶混交林, 为东北虎的生存提供了良好的物质基础。

此外, 由于东北虎、东北豹的捕食量大, 且有蹄类猎物分布密度较低(基本为2.5只/km²), 其对于生存空间的需求较大, 每只成年雄性东北虎的家域需求为500 km²左右(孙海义, 2015), 需划定大面积完整、适宜的森林栖息地以满足东北虎、东北豹的捕食、繁衍和迁徙活动等的需求。因此, 栖息地的完整性是维持东北虎、东北豹种群数量及促进种群扩散的基础。东北虎豹国家公园范围内主要包含老爷岭南部和老爷岭两条迁徙扩散廊道, 是东北虎、东北豹从俄罗斯向中国东北迁徙的重要通道。自体

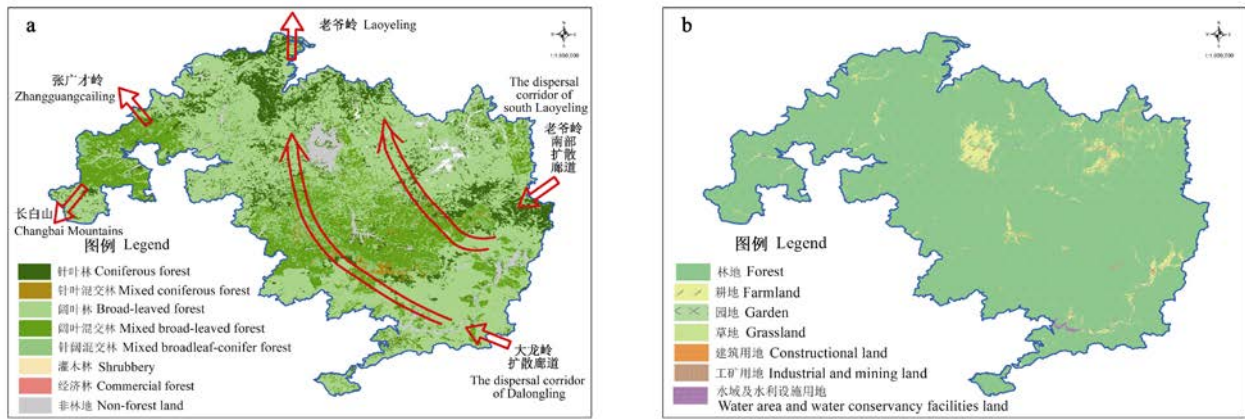


图2 东北虎豹国家公园森林生态系统/植被类型多样性(a)与土地利用现状图(b)

Fig. 2 The diversity of ecosystem/vegetation type (a) and the land use map (b) of the Amur Tiger and Leopard National Park

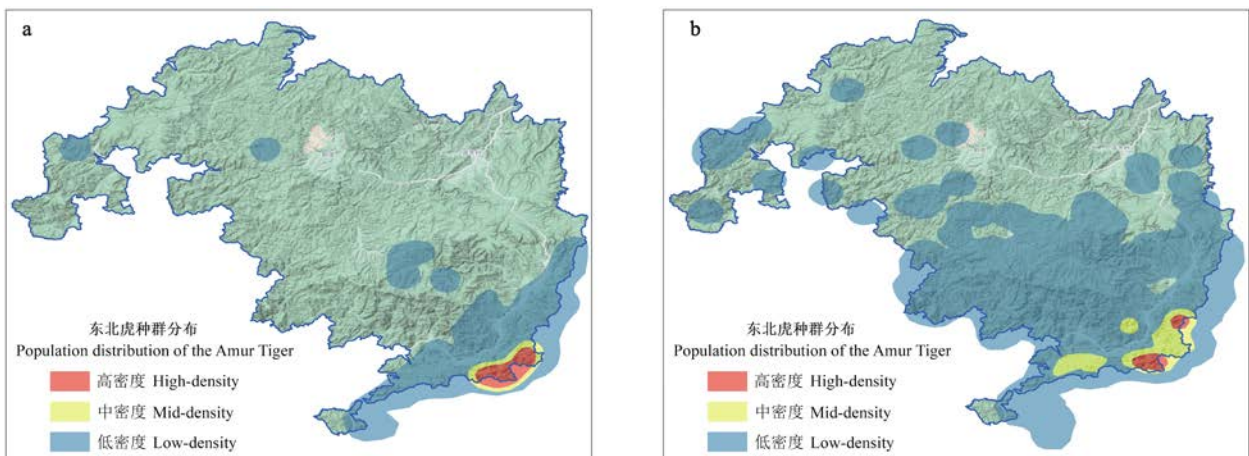


图3 东北虎豹国家公园内2018–2019年东北虎种群分布(a)和2021年1月1日东北虎种群分布(b)

Fig. 3 The diagram of Amur Tiger distribution in the Amur Tiger and Leopard National Park during 2018–2019 (a) and January 1, 2021 (b)

制试点以来, 通过对铁丝网的拆除和居民的生态搬迁, 老爷岭南、大龙岭两条迁徙扩散廊道上的人为干扰进一步减少, 有利于东北虎、东北豹从俄罗斯向中国东北境内的锥形扩散活动。同时, 管理者加强了区域内红松、栎树等近自然林的培育, 成功连通了老爷岭北部、张广才岭和长白山3个迁徙扩散通道(图2a), 使国家公园内适宜东北虎、东北豹的栖息地面积比例达90%以上, 且连通性较好, 促进了东北虎、东北豹向潜在分布区进一步扩散, 因此, 栖息地完整性较高, 评级为良好。

2.2 生态系统功能完整性评价

东北虎豹国家公园以森林生态系统为主体, 森林覆盖率为93.3% (图2b), 面积广阔, 基本涵盖了长白山地森林生态系统类型, 保持着较为原始的状态,

其中天然林占森林面积的93.4%。国家公园范围内生物多样性丰富, 分布有陆生野生脊椎动物约27目78科355种。国家一级保护野生动物12种, 包括东北虎、东北豹、紫貂(*Martes zibellina*)、原麝(*Moschus moschiferus*)等。国家二级保护野生动物46种, 包括黑熊(*Ursus thibetanus*)、猞猁(*Lynx lynx*)、马鹿、赤狐(*Vulpes vulpes*)、雪兔(*Lepus timidus*)等; 种子植物约102科896种, 其中国家一级保护野生植物东北红豆杉(*Taxus cuspidata*), 国家二级保护野生植物13种, 包括长白松(*Pinus sylvestris* var. *sylvestriiformis*)、红松、紫椴、水曲柳(*Fraxinus mandschurica*)等。但同属长白山针阔混交林生态地理区的长白山地区拥有野生植物2,639种和野生动物1,586种(蔺琛等, 2018), 从物种多样性和生物量来说均高于东北虎

表4 东北虎豹国家公园生态系统完整性评价表

Table 4 Ecosystem integrity scoring diagram of the Amur Tiger and Leopard National Park

| 指标 Index | 权重 Weight | 赋值 Score | 总分 Total score | 完整性评级 Integrity level |
|--|--------------|-------------|-------------------|--------------------------|
| 食物链(网)完整性 Food chain (web) integrity | 0.15 | 1 | | |
| 伞护种、旗舰种栖息地完整性 Habitat integrity of umbrella and flagship species | 0.15 | 0.7 | | |
| 生物多样性保护 Conservation of biodiversity | 0.3 | 0.7 | 0.81 | 优秀 Excellent |
| 代表性生态系统 Typical ecosystems | 0.2 | 0.7 | | |
| 生态区位重要性 Importance of ecological niche | 0.2 | 1 | | |

豹国家公园，因此以生物多样性指标评价生态功能完整性，东北虎豹国家公园评级为良好。

2.3 生态系统空间格局完整性评价

东北虎豹国家公园位于长白山针阔混交林生态地理区，园内70%左右的面积属于该生态地理区的代表性生态系统，包括温性针叶林、落叶阔叶林或森林沼泽湿地，代表性生态系统评级为良好；国家公园所处区域位于“两屏三带”中的“东北森林带”，又位于“国家重点生态功能区”中的“长白山森林生态功能区”，对保障东北平原生态安全发挥着重要作用，因此生态区位极为重要，评级为优秀。


总体来说，东北虎豹国家公园森林质量高，猎物资源充足，生物多样性丰富，拥有充足的迁徙活动空间，能够维持东北虎、东北豹等物种生存繁衍。自2012年起，超过50只东北虎和超过40只东北豹在中国境内被发现，野外监测网络还曾多次拍摄到东北虎、东北豹的猎物梅花鹿的影像(Wang et al, 2016)。体制试点以来，东北虎豹国家公园内虎豹幼崽至少新增23只，且东北虎的分布范围向西北部地区扩大了3–4倍左右(图3)，以此为依据，将试点区西北部、张广才岭扩散廊道所示方向(图2a)的东北虎、东北豹潜在适宜栖息地纳入到正式设立的东北虎豹国家公园，使国家公园的范围得到优化，生态系统完整性进一步提升。综合上述分析，根据表2中的打分标准，计算出东北虎豹国家公园得分为0.81，属于优秀等级(表4)，表明生态系统完整性高。

3 小结

生态重要性是我国国家公园准入条件之一，生态系统完整性的保护是我国国家公园的核心目标。目前，我国国家公园管理中尚缺乏统一的生态系统完整性评价体系，借鉴美国和加拿大的评价框架时，要考虑国家公园理念及管理目标的差异性，避免简

单套用造成的评价结果与管理目标的偏差。本文在借鉴国际经验的基础上，尝试结合《国家公园设立规范》准入条件的相关评定指标，提出了国家公园生态系统完整性的内涵，并初步构建了评价体系，为我国国家公园的范围划定和管理决策提供理论依据和初步方法。本文提出，国家公园生态系统的完整性主要包括结构和过程完整、功能完整、空间格局完整3个维度，国家公园的边界划定应突破行政区划界限，从上述3个维度选取相应指标进行综合评价，确保国家公园自然生态系统完整性目标的达成，并实现“山水林田湖草沙冰”的一体化保护和系统治理。我国国家公园尚在起步阶段，随着首批国家公园的正式设立和建设推进，应逐步建立并完善国家公园生态系统完整性的指标库，形成科学完整的“山水林田湖草沙冰”一体化评价体系，未来各国家公园可结合各自特色和保护目标选择适宜指标进行评价，既能体现我国国家公园的共同理念，也能突出各个国家公园的特色。

ORCID

田静  <https://orcid.org/0000-0001-9053-1953>

参考文献

- Chen Z (2019) Spatiotemporal variation of productivity and carbon use efficiency of forests in Northeast China from 2000 to 2015. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 30, 1625–1632. (in Chinese with English abstract) [陈智 (2019) 2000–2015年中国东北森林生产力和碳素利用率的时空变异. *应用生态学报*, 30, 1625–1632.]
- Dai YC, Xue YD, Zhang YY, Li DQ (2019) Summary comments on assessment methods of ecosystem integrity for national parks. *Biodiversity Science*, 27, 104–113. (in Chinese with English abstract) [代云川, 薛亚东, 张云毅, 李迪强 (2019) 国家公园生态系统完整性评价研究进展. *生物多样性*, 27, 104–113.]
- Deng R, Shao HY, Huang BR, Zhang CL, Zhou ZR, Fan J

- (2021) Remote assessment on ecosystem integrity of the Qinghai-Tibet Plateau and research on National Parks Group construction sequence. *Acta Ecologica Sinica*, 41, 847–860. (in Chinese with English abstract) [邓冉, 邵怀勇, 黄宝荣, 张从林, 周中仁, 樊杰 (2021) 青藏高原生态系统完整性远程评价与国家公园群建设时序研究. *生态学报*, 41, 847–860.]
- Fraser RH, Olthof I, Pouliot D (2009) Monitoring land cover change and ecological integrity in Canada's national parks. *Remote Sensing of Environment*, 113, 1397–1409.
- GB/T 39737-2021 (2021) Specification for National Park Establishment. Standards Press of China, Beijing. (in Chinese) [GB/T 39737-2021 (2021) 国家公园设立规范. 中国标准出版社, 北京.]
- GB/T 39739-2020 (2020) Specification for Assessment of the National Park. Standards Press of China, Beijing. (in Chinese) [GB/T 39739-2020 (2020) 国家公园考核评价规范. 中国标准出版社, 北京.]
- Hector A, Bagchi R (2007) Biodiversity and ecosystem multifunctionality. *Nature*, 448, 188–190.
- Hou M, Tang XP, Huang GL, Li RQ (2020) Identification of the priority conservation areas of national park: A case study of Lishui City, Zhejiang Province, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 31, 2332–2340. (in Chinese with English abstract) [侯盟, 唐小平, 黄桂林, 李仁强 (2020) 国家公园优先保护区域识别——以浙江丽水为例. *应用生态学报*, 31, 2332–2340.]
- Huang BR, Ouyang ZY, Zheng H, Wang XK, Miao H (2006) Connotation of ecological integrity and its assessment methods: A review. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17, 2196–2202. (in Chinese with English abstract) [黄宝荣, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿 (2006) 生态系统完整性内涵及评价方法研究综述. *应用生态学报*, 17, 2196–2202.]
- Li X, Tian W (2012) Dynamic evaluation of ecological integrity based on landscape pattern index. *Journal of Graduate University of Chinese Academy of Sciences*, 29, 780–785. (in Chinese with English abstract) [李鑫, 田卫 (2012) 基于景观格局指数的生态完整性动态评价. *中国科学院研究生院学报*, 29, 780–785.]
- Lin C, Gong MH, Liu Y, Pan X, Piao ZY (2018) Spatial heterogeneity of biodiversity value based on dominant species: Changbaishan Ecological Function Zone as a case study. *Acta Ecologica Sinica*, 38, 4677–4683. (in Chinese with English abstract) [蔺琛, 龚明昊, 刘洋, 潘旭, 朴正言 (2018) 基于优势种的生物多样性保护价值空间异质性研究——以长白山生态功能区为例. *生态学报*, 38, 4677–4683.]
- Liu XN, Liu CL, Zhang CL, Wei Y, Huang BR (2021) Ecosystem integrity and authenticity assessment framework in the Qinghai-Tibet Plateau National Park Cluster. *Acta Ecologica Sinica*, 41, 833–846. (in Chinese with English abstract) [刘晓娜, 刘春兰, 张从林, 魏钰, 黄宝荣 (2021) 青藏高原国家公园群生态系统完整性与真实性评估框架. *生态学报*, 41, 833–846.]
- Sun HY (2015) China's Amur Tiger Conservation Research. Northeast Forestry University Press, Harbin. (in Chinese) [孙海义 (2015) 中国东北虎保护研究. 东北林业大学出版社, 哈尔滨.]
- Tang XP, Jiang YF, Zhao ZC, Liang BK, Ma W (2020) Study on standards for establishing national parks in China. *Forest Resources Management*, (2), 1–8, 24. (in Chinese with English abstract) [唐小平, 蒋亚芳, 赵智聪, 梁兵宽, 马炜 (2020) 我国国家公园设立标准研究. *林业资源管理*, (2), 1–8, 24.]
- Unnasch RS, Braun DP, Comer PJ, Eckert GE (2018) The Ecological Integrity Assessment Framework: A Framework for Assessing the Ecological Integrity of Biological and Ecological Resources of the National Park System. Report to National Park Service.
- Wang TM, Andrew Royle J, Smith JLD, Zou L, Lü X, Li T, Yang HT, Li ZL, Feng RN, Bian YJ, Feng LM, Ge JP (2018) Living on the edge: Opportunities for Amur tiger recovery in China. *Biological Conservation*, 217, 269–279.
- Wang TM, Feng LM, Mou P, Wu JG, Smith JLD, Xiao WH, Yang HT, Dou HL, Zhao XD, Cheng YC, Zhou B, Wu HY, Zhang L, Tian Y, Guo QX, Kou XJ, Han XM, Miquelle DG, Oliver CD, Xu RM, Ge JP (2016) Amur tigers and leopards returning to China: Direct evidence and a landscape conservation plan. *Landscape Ecology*, 31, 491–503.
- Wei Y, Lei GC (2019) From biocenosis to ecosystem: The theory trend of conserving ecosystem integrity in national parks. *Journal of Natural Resources*, 34, 1820–1832. (in Chinese with English abstract) [魏钰, 雷光春 (2019) 从生物群落到生态系统综合保护: 国家公园生态系统完整性保护的演变. *自然资源学报*, 34, 1820–1832.]
- Woodley S (2010) Ecological Integrity and Canada's National Parks. *The George Wright Forum*, 27(2), 151–160.
- Zhang MY, Wang KL, He P (2005) Advances in assessment of ecosystem integrity. *Tropical Geography*, 25, 10–13, 18. (in Chinese with English abstract) [张明阳, 王克林, 何萍 (2005) 生态系统完整性评价研究进展. *热带地理*, 25, 10–13, 18.]
- Zhao GJ, Gong YN, Yang HT, Xie B, Wang TM, Ge JP, Feng LM (2019) Study on habitat use and activity rhythms of wild boar in eastern region of Northeast Tiger and Leopard National Park. *Acta Theriologica Sinica*, 39, 431–441. (in Chinese with English abstract) [赵国静, 宫一男, 杨海涛, 谢冰, 王天明, 葛剑平, 冯利民 (2019) 东北虎豹国家公园东部的野猪生境利用和活动节律初步研究. *兽类学报*, 39, 431–441.]

(责任编辑: 马克平 责任编辑: 周玉荣)