•研究报告• 生态系统原真性和完整性专题

生态系统原真性概念及评价方法：以长白山地区为例

江南^{1,2}, 徐卫华^{1*}, 赵娟娟³, 肖焱¹

1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 西南大学园艺园林学院, 重庆 400715

摘要: 我国建立国家公园的主要目的是保护自然生态系统的原真性、完整性, 然而原真性的概念尚不明确, 评估方法亟待建立。本文尝试厘清原真性的概念, 讨论其在保护实践中的价值, 探究生态系统原真性的评价方法, 以期提升国家公园体制建设和自然保护地规划管理的科学性; 并以长白山地区为例, 基于森林清查数据, 从植被角度选取起源方式、优势树种、林龄和单位蓄积4项指标构建森林生态系统原真性评价指标体系, 建立权重系数、原真性值计算公式和等级划分标准。评价结果显示, 研究区域森林生态系统原真性值为0.69, 和龙市、安图县、抚松县、临江市和长白朝鲜族自治县分别为0.70、0.71、0.67、0.60和0.63。原真性从高到低5个等级的面积之比为9:44:33:11:3, 原真性高与极高的森林面积比例占53%, 空间分布呈现以长白山主峰为中心向东、北、西逐渐降低的趋势。建议基于对区域生态系统原生状态的全面了解, 加强不同尺度、组成要素的原真性指标体系及评价方法研究。

关键词: 原真性; 森林生态系统; 长白山; 国家公园

江南, 徐卫华, 赵娟娟, 肖焱 (2021) 生态系统原真性概念及评价方法: 以长白山地区为例. 生物多样性, 29, 1288–1294. doi: 10.17520/biods.2020490.
Jiang N, Xu WH, Zhao JJ, Xiao Y (2021) Concept and assessment method of ecosystem authenticity: The case of Changbai Mountains area. Biodiversity Science, 29, 1288–1294. doi: 10.17520/biods.2020490.

Concept and assessment method of ecosystem authenticity: The case of Changbai Mountains area

Nan Jiang^{1,2}, Weihua Xu^{1*}, Juanjuan Zhao³, Yi Xiao¹

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715

ABSTRACT

Aims: National parks have recently been listed as protected areas in China's official documents to protect the authenticity and integrity of natural ecosystems. However, it is unclear how ecosystem authenticity is defined, let alone how to protect it. In this paper, we tried to define the concept of ecosystem authenticity, discuss its significance to conservation, and explore the assessment method to provide a scientific guide for the management and planning of protected areas.

Method: The study area is located in the center of Changbai Mountains where the most typical and well-preserved temperate mountain forest develops in Eastern Eurasia. We evaluated the forest ecosystems authenticity from the perspective of vegetation using forest inventory data of Jilin Province. Four indicators—forest origin, dominant tree, age of stand, unit stock volume—were selected to construct the authenticity assessment index system for forest ecosystems. At the same time, we established the weight coefficient, authenticity value calculation formula and grading standard.

Results: The forest ecosystem authenticity value of the whole study area was 0.69. The ecosystem authenticity values

收稿日期: 2020-12-31; 接受日期: 2021-06-25

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA23080104)和国家林草局-中国科学院国家公园研究院研究专项

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: xuweihua@rcees.ac.cn

for Helong City, Antu County, Fusong County, Linjiang City and Korean Autonomous County of Changbai were 0.70, 0.71, 0.67, 0.60 and 0.63, respectively. Ecosystem authenticity is divided into five levels with an area ratio of 9 : 44 : 33 : 11 : 3 in order of authenticity from highest to lowest, indicating 53% are in very high and high levels. In general, the highest level of authenticity for the forest was in the main peak of Changbai Mountains, and gradually decreased going north, west, and south.

Conclusion: Ecosystem authenticity refers to the degree that an ecosystem from a particular region maintains its native state after various natural and human disturbances. It is convenient and generalizable to evaluate the authenticity of the forest ecosystem by using forest inventory data from the perspective of vegetation. Further research should give attention to the authenticity index system and the assessment method of different scales and components based on a comprehensive understanding of the primitive status of the ecosystem.

Key words: authenticity; forest ecosystem; Changbai Mountains; national park

社会经济的高速发展带来了严重的生态环境问题,如生物多样性锐减、生态系统及功能退化、环境污染严重等。如何保护好人类赖以生存的自然生态环境,为子孙后代留下宝贵的自然遗产成为一项严峻挑战。构建以国家公园为主体的自然保护地体系是新时期我国提出的应对这一挑战的重大决定(欧阳志云等, 2018)。建立国家公园的主要目的是保护自然生态系统的原真性、完整性,各个国家公园体制试点区在编制试点方案、进行总体规划与功能区划时,也以生态系统原真性和完整性为主要指标(何思源和苏杨, 2019)。然而,原真性这一概念却相对模糊,保护意义不甚明确,如何判断生态系统的原真性更是缺乏科学的理论依据以及统一的标准,这无疑会影响到国家公园及其他类型自然保护地的建设实践。因此,明确原真性的概念及其在保护实践中的价值,探究生态系统原真性的评价方法具有十分重要的意义。

1 原真性概念

“原真性”译自英文“authenticity”,本义表示真的而非假的、原本的而非复制的、忠实的而非虚伪的。从汉语语义上看,“原”意为最初、开始,“真”表示与客观事实相符合。自20世纪60年代开始,原真性作为一个术语被引入文化遗产保护领域,用于评估、保护和监控历史文化遗产,强调信息来源真实可靠、旅游体验逼真还原、拥有历史烙印和空间个性。发展至今,原真性已扩展到自然与人工环境、艺术与创作、社会与传播等领域(阮仪三和林林, 2003; Steiner & Reisinger, 2006)。

随着国家公园体制的形成,保护自然生态系统的原真性作为目标之一备受关注,此处的原真性与

文化遗产的原真性虽然一脉相承,但含义有所不同。事实上,原真性的生态学含义在恢复生态学领域已经有所讨论,存在历史原真性(historical authenticity)与自然原真性(natural authenticity)两种解释。历史原真性是指生态系统在历史发展过程中始终保持原始的、不受干扰的状态,与之相近的概念还有植被的自然度或天然性程度(naturalness),即现实植被与它们的天然状态之间的距离或相似性,关注森林受到人类干扰的程度,认为人类干扰程度越高,自然度越低,而人类破坏程度越小,则自然度越高(Sprugel, 1991; 李迈和等, 2002; Tveit et al, 2006)。自然原真性是指生态系统在各种干扰作用下生物与环境之间建立了相互协调的关系,在能量流动和物质循环方面运行良好,在种间的相互作用方面达到动态平衡,在承受当地环境正常压力事件(如周期性火灾或季节性洪水)方面能够自我恢复等(Clewell, 2000; 何思源和苏杨, 2019),这与生态系统健康(马克明等, 2001)的内涵非常相似。这两种解释恰好与“原”和“真”的词义对应,前者强调生态系统未经干扰的原初状态,后者强调生态系统演化的真实过程。

为区别于其他生态学名词并服务于自然保护目标,本研究认为生态系统的原真性应指特定区域内生态系统在各种自然和人为干扰下保持原生状态的程度。需要注意的是,虽然定义中包含人类干扰特征,但我们认为生态系统的原真性并不完全处于人类干扰的对立面。自然保护理念正由纯自然的保护向人与自然和谐共生的综合保护转变,其间适度的人类活动也应被视为生态系统的真实存在部分。以森林生态系统为例,现代林业依据生态学原理,创造出诸如“近自然林业”的森林管理方式,人

类的干扰有可能反而令原真性提高(Wehenkel et al, 2009)。原真性应更多反映处于某一干扰水平下生态系统自身的状态属性。

保护生态系统原真性的现实意义在于将一定区域范围内的人类干扰控制在合理水平,使生态系统在自然变化范围内保持良性循环,保留与自然区域相适应的属性特征(代云川等, 2019),从而遏制生态系统的退化趋势。研究原真性的目的是了解生态系统历史演变状况和预测生态系统发展方向,为进一步分析区域干扰状况、识别生态退化威胁提供更多的依据和评价方法。

目前,关于如何评价生态系统原真性的研究相对较少。杨锐(2018)在国家公园设立标准中提出荒野度和自然度两项指标,从人类活动干扰、物种组成、演替状态评价原真性,也有学者建议从自然生境面积比例、景观原貌保持状况(杜傲等, 2020)或以生物量^①确定生态系统原真性水平,但在实践中应用不多。如果严格依照前述生态系统原真性概念,则需比较当前生态系统与其原生状态的相似程度,这需要先解决以下2个问题:首先,如何确定生态系统的原生状态?借鉴植被自然度评价(Anderson, 1991; 吴银莲等, 2010),一种方式是找一个几乎未受干扰而仍处于天然状况的区域进行比较,另一种方式是假定消除所有干扰,把群落全部演替系列完成时的状态作为参照。其次,若进行全面的比较,需衡量生物地理群落中植物、动物、微生物、土壤等的组成和结构等多方面的特征,对于区域尺度而言增加了生态监测成本和数据分析难度,故通常根据不同生态系统类型按数据获取的便利性、指标的代表性和统计特性选取关键指标(黄宝荣等, 2006)。

本研究以长白山地区为研究对象,从植被角度探讨森林生态系统的原真性,探索建立生态系统原真性的评价方法,同时也为将来长白山地区国家公园的规划建设和自然保护地的优化整合提供依据。

2 方法

2.1 研究区域概况

长白山是中国东北的天然生态屏障,拥有欧亚大陆东部最典型、保存最完好的温带山地森林生态系统。和全球同纬度其他地区的森林相比,本区森林以建群种独特、物种多样性丰富及含有较多的亚热带成分而著称(郝占庆等, 2008)。研究区域位于长

白山核心区,主要包括长白山主峰、靛峰岭、老岭、鸭绿江水系河谷、图们江水系河谷、头道松花江水系河谷和二道松花江水系河谷,行政区域包括安图县、抚松县、长白朝鲜族自治县、和龙市和临江市,涵盖长白山保护开发区管理委员会范围。区域总面积24,200 km²,其中森林生态系统有21,456 km²,占研究区域总面积的88.7%,属于受季风影响的温带大陆性山地气候,自山底至山顶具有明显的垂直气候变化带谱特征,东北红豆杉(*Taxus cuspidata*)、长白松(*Pinus sylvestris* var. *sylvestrifomis*)、人参(*Panax ginseng*)、中华秋沙鸭(*Mergus squamatus*)、梅花鹿(*Cervus nippon*)、紫貂(*Martes zibellina*)、原麝(*Moschus moschiferus*)等国家重点保护野生动植物曾在区域内广泛分布。但由于特殊的历史和社会原因,该区域内的森林遭到长期林业采伐、农耕、采集松子等各种人为干扰,加上风灾、火灾、生物胁迫等自然干扰的影响,原始森林逐年锐减,地带性顶极群落阔叶红松林留存较少,取而代之的是大量的次生林和人工林(陈高等, 2005; 王绍先等, 2020),部分珍稀野生动植物种群数量急剧下降。为减少人类活动的干扰,区内建有自然保护地37处^②,总面积5,388 km²,其中长白山国家级自然保护区面积最大,达1,966 km²。

2.2 评价方法

2.2.1 评价指标及权重

本研究使用吉林省2018年林地变更调查更新后的林地资源数据作为森林生态系统原真性评价的基础数据,从森林起源、演替阶段、生长状况3个方面入手,遵循评价指标选取的可获得性、代表性和可量化原则,选择起源方式、优势树种、林龄、单位蓄积4项指标构建评价指标体系。其中,以起源方式反映森林来源,以优势树种和林龄反映演替阶段,以单位蓄积反映生长状况。

从植被角度评价森林生态系统的原真性与评价植被的自然度从某种程度上讲具有一致性,后者已经积累了大量研究。综合文献资料,一般认为演替阶段在评价中应占重要地位(Winter et al, 2010; 赵中华, 2009);再结合专家意见,得到了长白山地区森林生态系统原真性评价指标体系中各指标的

① 杨青 (2020) 全国生态系统重要性评价及空间特征研究. 硕士学位论文, 贵州师范大学, 贵阳。

② 来源于吉林省林业和草原局提供的自然保护地矢量数据。

权重(表1)。

2.2.2 数据量化

根据原真性内涵, 以长白山地区地带性顶极群落为参照, 定性地构建森林生态系统原真性等级划分标准, 从I到V级自然植被类型原真性逐渐降低。I: 演替至顶极, 基本处于原始状态; II: 处于演替中后期, 地带性顶极树种明显可见, 复层结构; III: 处于演替中期或前期, 以过渡树种为主, 复层结构; IV: 处于演替前期, 以阳性先锋树种为主, 单层结构; 复层结构的人工林; V: 单层结构的人工经济林。

按“最接近原生状态特征赋值为1, 距离原生状态特征越远赋值越小”原则, 对起源方式、优势树种和林龄3项定性指标的不同属性特征进行量化赋值(表2)。

蓄积量按 $x = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min})$ 进行数据标准化处理, 至此4个指标值的变化范围均为0–1。

2.2.3 原真性值计算

森林小班和区域原真性值的计算公式如下:

$$SAU = \sum_{i=1}^n f_i \times W_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

$$TAU = \sum_{m=1}^k SAU_m \times A_m / \sum_{m=1}^k A_m \quad (m=1, 2, \dots, k) \quad (2)$$

其中, SAU 为各森林小班的原真性值, f_i 为森林生态系统原真性评价指标 i 的量化值, W_i 为指标 i 的权重值, n 为指标个数, TAU 为区域森林原真性值, SAU_m 为森林小班 m 的原真性值, A_m 为森林小班 m 的面积, k 为森林小班数量。

森林小班原真性值 $SAU \geq 0.9$ 时为天然顶极种组的全部成过熟林以及近熟林中单位蓄积极高的林地, 原真性极高; $SAU < 0.35$ 时为人工经济林的全部幼龄林以及中龄林中单位蓄积极低的林地, 原真

性低。依据森林生态系统原真性等级定性划分标准, $0.7 \leq SAU < 0.9$ 表示原真性高, $0.5 \leq SAU < 0.7$ 表示原真性中等, $0.35 \leq SAU < 0.5$ 表示原真性较低。

3 结果

评价结果显示, 长白山地区森林生态系统原真性值为0.69, 森林原真性极高、高、中等、较低、低的面积之比为9:44:33:11:3。原真性等级为高和极高的森林全是天然林, 主要由针叶混交林、阔叶混交林、红松(*Pinus koraiensis*)林、云冷杉(*Picea*、*Abies*)林、针阔混交林构成, 其中针叶混交林在原真性极高的森林中面积比重占到70%以上; 原真性中等的森林中, 93%为天然林, 7%为人工林, 主要的植被类型是天然阔叶混交林、天然栎林(*Quercus*)、天然白桦(*Betula platyphylla*)林、天然针阔混交林、人工落叶松(*Larix*)林、人工针叶混交林; 原真性等级低与较低的植被类型主要是栎林、白桦林和落叶松林(图1)。不同植被类型原真性等级差异较大。针阔混交林作为长白山地区海拔1,100 m以下的地带性植被群落, 其中原真性极高的森林占15%, 原真性高的森林占80%, 但由于受到过度干扰, 针阔混交林在研究区域内的分布面积已大幅减少, 在长白山地区所有原真性高和极高等级的森林中仅占6%; 亚高山地带性植被云冷杉、红松及其混交林中43%的森林原真性极高, 51%的森林原真性高, 整体原真性水平高于其他植被类型; 阔叶混交林在研究区域内分布最广, 面积最大, 原真性几乎全为高和中等级, 占比分别为55%和38%。

长白山地区森林生态系统原真性等级空间分布不均, 以长白山主峰为中心向南、向北、向西呈现逐渐降低的趋势(图2)。研究区域东北部的生态系统原真性水平高于西部, 和龙市、安图县、抚松县、

表1 森林生态系统原真性评价指标权重

Table 1 Weight of evaluation index for authenticity of forest ecosystem

内容 Content	指标 Index	说明 Introduction	权重 Weight
森林起源 Forest origin	起源方式 Mode of origin	森林的主要生成方式 The main ways of forest formation	0.3
演替阶段 Succession stage	优势树种 Dominant tree	森林小班内蓄积量占比最大的树种 The tree with the largest volume in forest sub-compartment	0.3
	龄组 Age group	根据优势树种平均年龄划分 Classification by mean age of dominant tree	0.3
生长状况 Growth status	单位蓄积 Unit stock volume	单位面积活立木材积总量 Total volume of living standing trees per unit area	0.1

指标说明详见国家林业局2003年4月发布的《森林资源规划设计调查主要技术规定》。

For more information on the indicators, see *Main Technical Regulations for Forest Resource Planning and Design Survey* issued by State Forestry Administration in April 2003.

图1 长白山地区森林生态系统不同原真性等级主要植被类型面积比例。Mn: 针叶混交林; Mb: 阔叶混交林; Md: 针阔混交林; N1: 红松林; N2: 云冷杉林; N3: 落叶松林; B1: 椴树林; B2: 栎林; B3: 白桦林; B4: 杨树林; OT: 其他。

Fig. 1 Proportion of major vegetation types with different authenticity levels of forest ecosystem in the Changbai Mountains. Mn, Coniferous mixed forest; Mb, Broad-leaved mixed forest; Md, Coniferous and broad-leaved mixed forest; N1, The forest with *Pinus koraiensis* as dominant tree; N2, The forest with *Picea* spp. and *Abies* spp. as dominant tree; N3, The forest with *Larix* spp. as dominant tree; B1, The forest with *Tilia* spp. as dominant tree; B2, The forest with *Quercus* spp. as dominant tree; B3, The forest with *Betula platyphylla* as dominant tree; B4, The forest with *Populus* spp. as dominant tree; OT: Others.

图2 长白山地区森林生态系统原真性值空间分布图。a: 和龙市; b: 安图县; c: 抚松县; d: 临江市; e: 长白朝鲜族自治县。

Fig. 2 Spatial distribution of the authenticity value of forest ecosystem in the Changbai Mountains. a, Helong City; b, Antu County; c, Fusong County; d, Linjiang City; e, Korean Autonomous County of Changbai.

临江市和长白朝鲜族自治县的森林原真性值依次为0.70、0.71、0.67、0.60和0.63。原真性极高的森林主要分布在海拔1,100 m之上,大部分位于长白山国家级自然保护区、延边仙峰国家森林公园、甑峰岭自然保护区、露水河国家森林公园内,受到严格保护,尤其是长白山国家级自然保护区内原真性极高

的森林广布且集中,对长白山地区森林生态系统保护的贡献最大。原真性高的森林主要分布在和龙市与安图县交界的甑峰岭区域、长白山主峰东北坡和南坡、抚松县北部。原真性低的森林星散分布在研究区域西侧、鸭绿江和图们江水系河谷,大多处于森林生态系统与其他类型生态系统的过渡地带(图2)。

表2 原真性评价指标属性及定量赋值**Table 2 Attribute and quantitative assignment of evaluation index for authenticity**

指标 Index	属性 Attribute	赋值 Value
起源方式 Mode of origin	天然更新 Natural regeneration	1.0
	飞播造林 Aerial seeding	0.6
	人工造林 Artificial afforestation	0.2
优势树种 Dominant tree species	顶级种组 Climax species group	1.0
	过渡种组 Developing species group	0.6
	先锋种组 Pioneer species group	0.4
	经济树种 Benefit-oriented species	0.2
龄组 Age group	成过熟林 Mature forest	1.0
	近熟林 Near mature forest	0.8
	中龄林 Middle forest	0.4
	幼龄林 Young forest	0.2

根据长白山地区生物群落演替的基本特点(郝占庆等, 2008; 范秀华, 2018), 将白桦、春榆、山杨等阳性树种划分为先锋种组, 红松、云杉属、冷杉属植物划分为顶级种组, 其他树种划分为过渡种组, 经济树种单列。

According to the basic characteristics of community succession in Changbai Mountains (Hao et al. 2008; Fan, 2018), *Betula platyphylla*, *Ulmus davidiana* var. *japonica*, *Populus davidiana* and other heliophilous species were divided into pioneer species group; *Pinus koraiensis*, *Picea* spp. and *Abies* spp. were divided into top species group; Other species, except benefit-oriented tree, are grouped into developing species groups.

4 讨论

长白山地区森林生态系统的原真性空间差异较大, 这与该区域长期的森林保护与开发活动密切相关。长白山自然保护区成立于1960年, 得益于长期有效的管护, 在长白山主峰干扰类型主要为自然干扰, 除峰顶因火山灰沉积和气候严寒呈裸地状态, 以及局部地区受风灾影响退化为草甸外(王绍先等, 2020), 保护区内森林总体保持高原真性水平。保护区周边大部分林区属于吉林森工集团, 过去是我国重要的木材生产基地, 遭受长期采伐, 原始林逆向演替为次生林或彻底破坏后重新造林成为人工林(郝占庆等, 2008; 于琳倩等, 2014), 原真性水平普遍低于保护区内。东西部的原真性等级分布反映了不同林业局所辖林场的原真性水平存在较大差异, 这可能与经营时间与采伐方式有关, 成立于1946年的临江林业局所辖林场森林原真性水平明显低于1971年成立的白河林业局所辖林场。评价结果与实际相符, 可以较准确地反映长白山地区森林生态系统原真性水平。

本研究选用长白山地区森林资源清查数据作为原真性评价的基础数据, 用定性描述和定量表达

相结合的方式构建森林生态系统原真性的评价指标体系, 计算森林生态系统原真性值并进行空间定量分析。从评价结果来看, 准确度相对较高, 区域间具有可比性。将森林生态系统原真性评价与森林资源清查相结合, 实现了数据共享和成本节约, 适用于区域尺度样地调查困难时对森林生态系统原真性进行快速评价。选用优势树种和林龄反映演替阶段具有研究基础。林龄被认为是划分森林演替阶段最直接简单的方法(Saldarriaga et al, 1988), 乔木层中的优势树种作为森林生态系统的重要组成部分, 可区分不同森林群落, 两者结合可较好地反映群落演替状态。单位蓄积反映了森林生产力, 在植被自然度评价上常用于指示森林的活力水平、层次结构等(喻庆国, 2007; 赵中华, 2009), 在森林生态系统原真性评价中仍具有适用性。

然而, 仅依靠森林清查数据在指标选取上受限较大, 就森林生态系统而言, 动物、土壤等组成部分也需要重点关注。今后应以样地调查的生态系统原真性评价为基础, 加强不同类型组成要素的自然属性、指标体系及评价方法研究, 提高评价结果的可靠性。另外, 对生态系统原生状态特征的充分了解是评价原真性的前提, 若是评价工作倾向于以各项指标的最优值为标准就偏离了原真性内涵。随着研究区域尺度扩大, 生态系统的原生状态可能出现复杂混合特征, 如何确定参照对象有待进一步讨论。本研究从生态系统自身的状态属性出发, 反映的是所有自然和人为干扰对生态系统影响后的状态, 因未区分干扰类型, 无法为识别区域生态风险提供更多信息。对生态系统原真性的进一步研究应加强对评价区域生态系统原生状态的全面了解, 建议从生态系统内部结构过程功能和承受压力(过度干扰)来源两方面入手, 同时应用遥感等技术手段, 构建适用于较大研究区域的定量评价指标体系, 使原真性评价具有准确性的同时, 在更大尺度上更具有操作性和实用性。

ORCID

江南 <https://orcid.org/0000-0002-2074-9575>

徐卫华 <https://orcid.org/0000-0001-7622-7365>

参考文献

Anderson JE (1991) A conceptual framework for evaluating and quantifying naturalness. *Conservation Biology*, 5,

347–352.

- Chen G, Deng HB, Dai LM, Wu G (2005) Health assessment on forest ecosystem by using integrated composite index (ICI). *Acta Ecologica Sinica*, 25, 1725–1733. (in Chinese with English abstract) [陈高, 邓红兵, 代力民, 吴钢 (2005) 综合构成指数在森林生态系统健康评估中的应用. *生态学报*, 25, 1725–1733.]
- Clewell AF (2000) Restoring for natural authenticity. *Ecological Restoration*, 18, 216–217.
- 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.]
- Du A, Cui T, Song TY, Ouyang ZY (2020) International experiences of national park selection criteria and the inspirations to China. *Acta Ecologica Sinica*, 40, 7231–7237. (in Chinese with English abstract) [杜傲, 崔彤, 宋天宇, 欧阳志云 (2020) 国家公园遴选标准的国际经验及对我国的启示. *生态学报*, 40, 7231–7237.]
- Fan XH (2018) The Assembly and Development Mechanisms of Typical Natural Forest Community in Changbai Mountains. PhD dissertation, Beijing Forestry University, Beijing. (in Chinese with English abstract) [范秀华 (2018) 长白山典型天然林群落形成与演变机制研究. 博士学位论文, 北京林业大学, 北京.]
- Hao ZQ, Li BH, Zhang J, Wang XG, Ye J, Yao XL (2008) Broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) mixed forest plot in Changbaishan (CBS) of China: Community composition and structure. *Journal of Plant Ecology*, 32, 238–250. (in Chinese with English abstract) [郝占庆, 李步杭, 张健, 王绪高, 叶吉, 姚晓琳 (2008) 长白山阔叶红松林样地(CBS): 群落组成与结构. *植物生态学报*, 32, 238–250.]
- He SY, Su Y (2019) Authenticity, integrity, connectivity and coordination-conceptual analysis and practical significance for the establishment of the national park system. *Environmental Protection*, 47(Z1), 2834. (in Chinese) [何思源, 苏杨 (2019) 原真性、完整性、连通性、协调性概念在中国国家公园建设中的体现. *环境保护*, 47(Z1), 28–34.]
- 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 MH, Kruchi N, Yang J (2002) Hemeroby: A method to assess the naturalness of vegetation. *Progress in Geography*, 21, 450–458. (in Chinese with English abstract) [李迈和, Norbert Kruchi, 杨健 (2002) 生态干扰度: 一种评价植被天然性程度的方法. *地理科学进展*, 21, 450–458.]
- Ma KM, Kong HM, Guan WB, Fu BJ (2001) Ecosystem health assessment: Methods and directions. *Acta Ecologica Sinica*, 21, 2106–2116. (in Chinese with English abstract) [马克明, 孔红梅, 关文彬, 傅伯杰 (2001) 生态系统健康评价: 方法与方向. *生态学报*, 21, 2106–2116.]
- Ouyang ZY, Xu WH, Du A, Lei GC, Zhu CQ, Chen S (2018) Research on Overall Spatial Planning for China's National Park System. China Environment Publishing Group, Beijing. (in Chinese) [欧阳志云, 徐卫华, 杜傲, 雷光春, 朱春全, 陈尚 (2018) 中国国家公园总体空间布局研究. 中国环境出版集团, 北京.]
- Ruan YS, Lin L (2003) Authenticity in relation to the conservation of cultural heritage. *Journal of Tongji University (Social Science Section)*, 14(2), 1–5. (in Chinese with English abstract) [阮仪三, 林林 (2003) 文化遗产保护的原真性原则. *同济大学学报(社会科学版)*, 14(2), 1–5.]
- Saldarriaga JG, West DC, Tharp ML, Uhl C (1988) Long-term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. *The Journal of Ecology*, 76, 938.
- Sprugel DG (1991) Disturbance, equilibrium and environmental variability: What is 'Natural' vegetation in a changing environment? *Biological Conservation*, 58, 1–18.
- Steiner CJ, Reisinger Y (2006) Understanding existential authenticity. *Annals of Tourism Research*, 33, 299–318.
- Tveit M, Ode Å, Fry G (2006) Key concepts in a framework for analysing visual landscape character. *Landscape Research*, 31, 229–255.
- Wang SX, Xu JW, Meng QF (2020) Forest Ecosystem Evaluation of Changbai Mountain National Nature Reserve in Jilin Province. China Forestry Publishing House, Beijing. (in Chinese) [王绍先, 许嘉巍, 孟庆繁 (2020) 吉林省长白山国家级自然保护区森林生态系统评价. 中国林业出版社, 北京.]
- Wehenkel C, Corral-Rivas JJ, Castellanos-Bocaz HA, Pinedo-Alvarez A (2009) Is there a positive relationship between naturalness and genetic diversity in forest tree communities? *Investigación Agraria: Sistemasy Recursos Forestales*, 18, 20–27.
- Winter S, Fischer HS, Fischer A (2010) Relative quantitative reference approach for naturalness assessments of forests. *Forest Ecology & Management*, 259, 1624–1632.
- Wu YL, Li JZ, Yang YP, Zhou ZX (2010) Research advances in assessment of forest naturalness. *Chinese Journal of Ecology*, 29, 2065–2071. (in Chinese with English abstract) [吴银莲, 李景中, 杨玉萍, 周志翔 (2010) 森林自然度评价研究进展. *生态学杂志*, 29, 2065–2071.]
- Yang R (2018) Study on setting standards for national parks in China. *Forestry Construction*, 36(5), 103–112. (in Chinese) [杨锐 (2018) 中国国家公园设立标准研究. *林业建设*, 36(5), 103–112.]
- Yu LQ, Li JW, Zhao XH, Ma L, Wu S, Bai XQ (2014) Ecologically critical areas of broad-leaved Korean pine mixed forest in Changbai Mountains, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 25, 1251–1258. (in Chinese with English abstract) [于琳倩, 李景文, 赵秀海, 马琳, 吴尚, 白雪琪 (2014) 长白山阔叶红松林生态保护关键区的确定. *应用生态学报*, 25, 1250–1258.]
- Yu QG (2007) Temporal and Spatial Differentiation of Forest Landscape in Relation to Naturalness. PhD dissertation, Beijing Forestry University, Beijing. (in Chinese with English abstract) [喻庆国 (2007) 基于自然度的森林景观时空分异研究. 博士学位论文, 北京林业大学, 北京.]
- Zhao ZH (2009) Evaluating Forest Naturalness Based on Stand State Characteristics. PhD dissertation, Chinese Academy of Forestry, Beijing. (in Chinese with English abstract) [赵中华 (2009) 基于林分状态特征的森林自然度评价研究. 博士学位论文, 中国林业科学研究院, 北京.]

(责任编辑: 薛达元 责任编辑: 黄祥忠)