

DOI: 10.5846/stxb201805301196

徐欢, 李美丽, 梁海斌, 李宗善, 伍星. 退化森林生态系统评价指标体系研究进展. 生态学报, 2018, 38(24): - .  
Xu H, Li M L, Liang H B, Li Z S, Wu X. Review of the evaluation index system for degraded forest ecosystems. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(24): - .

## 退化森林生态系统评价指标体系研究进展

徐 欢<sup>1,2</sup>, 李美丽<sup>1,3</sup>, 梁海斌<sup>1,2</sup>, 李宗善<sup>1</sup>, 伍 星<sup>1,\*</sup>

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 长安大学地球科学与资源学院, 西安 710064

**摘要:** 森林是陆地生态系统的主要组成部分, 而森林退化是全球面临的主要环境问题之一, 准确评价退化森林生态系统是进行森林生态系统恢复与重建的重要前提, 建立合理的评价指标体系目前已成为生态学研究热点问题。在研究国内外提出的关于退化森林生态系统评价理论的基础上, 综述了森林退化的定义、特征和一般过程, 梳理了退化森林生态系统评价指标筛选的一般原则和指标体系构建的主要方法, 分析比较了不同学者所提出的主要评价指标。并在此基础上, 重新筛选、构建了一套退化森林生态系统评价指标体系, 即从生态系统的组成结构、功能和生境这 3 个方面选取了 32 个能够较全面反映退化生态系统主要特征的评价指标, 以期为构建我国区域尺度上的退化森林生态系统评价指标体系提供参考, 为退化森林生态系统的恢复和重建提供科学依据。最后总结分析了退化森林生态系统评价指标体系在构建过程中产生的一些问题和不足, 提出了今后开展研究和探索应该深入的方向, 以提高评价指标体系的科学性、准确性和合理性。

**关键词:** 森林生态系统; 退化; 评价指标体系

## Review of the evaluation index system for degraded forest ecosystems

XU Huan<sup>1,2</sup>, LI Meili<sup>1,3</sup>, LIANG Haibin<sup>1,2</sup>, LI Zongshan<sup>1</sup>, WU Xing<sup>1,\*</sup>

1 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

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

3 School of Earth Science and Resources, Chang An University, Xi'an 710064, China

**Abstract:** Forests are the major components of terrestrial ecosystems, and degradation of forests has become a major environmental problem worldwide. Accurate evaluation of degraded forest ecosystems is the primary prerequisite for forest restoration and reconstruction. Recently, establishment of a rational evaluation index system for degraded forest ecosystems has received much attention. On the basis of numerous studies on degraded forest ecosystems, in this paper, we reviewed the definition, characteristics, and general processes of forest degradation. We also summarized the general principles of indicator selection and main methods for establishing the evaluation index system. In addition, we analyzed and compared several types of indicators suggested by previous researchers. On this basis, we re-screened and established an evaluation index system for the assessment of degraded forest ecosystems. We selected 32 key evaluation indicators based on the composition, function, and habitat aspects of the ecosystem, that could synthetically reflect the degraded forest ecosystem. This may provide references for the establishment of an evaluation index system for degraded forest ecosystems at regional and national scales and a scientific basis for the restoration and reconstruction of degraded forest ecosystems in China. Moreover, some limitations during the establishment of the evaluation index system for degraded forest ecosystems were

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2016YFC0502102); 中国科学院战略性先导科技专项课题(XDA20020402); 中国科学院科技服务网络计划项目(KFJ-STZ-ZDTP-036)

**收稿日期:** 2018-05-30; **修订日期:** 2018-11-19

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xingwu@rcees.ac.cn

discussed, and the main issues were suggested to improve the scientific accuracy and rationality of the evaluation index system.

**Key Words:** forest ecosystem; degradation; evaluation index system

根据联合国粮农组织 2016 年发布的报告指出:1990—2015 年间,全球森林面积减少了 1.29 亿  $\text{hm}^2$ , 2000—2010 年间,热带地区国家每年森林面积净减少 700 万  $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>。由于森林面积锐减所导致的森林退化问题引发了席卷全球的生态环境危机<sup>[2]</sup>,退化后的森林生态系统生产力下降,生物多样性减少,调节气候、涵养水分和防风固沙的作用减弱,贮存营养元素的能力降低,引起水土流失、沙漠化等严重的生态问题<sup>[3]</sup>,是社会和经济可持续发展的严重障碍。据估计,从 2005 年起,由于森林退化所造成的印尼木材产量每年减少 4%<sup>[4]</sup>;Asner 等对巴西亚马逊地区进行研究发现,森林退化大约造成了近 20% 的温室气体排放<sup>[5]</sup>;还有研究指出在过去的几十年里,印度约有 41% 的森林退化,使森林生产力下降至原来的三分之一<sup>[6]</sup>;同时,中国作为森林面积前十的国家,其森林生态系统退化现象十分广泛,表现形式复杂多样,并且还有进一步退化的趋势<sup>[7]</sup>。森林对全球可持续发展有着不可低估的贡献,因此,关于如何可持续地管理森林,恢复退化森林生态系统,并增加全球森林的覆盖面积是当前国际社会的热点问题之一<sup>[8]</sup>。准确评价退化森林生态系统是解决上述问题的首要任务,也是进行生态系统恢复和重建的前提和基础<sup>[3]</sup>,因为评价指标体系的准确性和科学性将直接影响森林退化程度的评估和恢复标准的制订,以及国家相关恢复政策和措施的颁布和实施。

虽然国内外学者在退化森林生态系统评价方面已开展了一些工作<sup>[9-12]</sup>,但大多数研究是基于遥感等手段来描述森林的退化状况:例如利用 DEM 和 NDVI 建立监测模型,以森林植被变化率来评估其退化程度<sup>[13-14]</sup>,但是有学者指出这种方法可能会低估森林退化的严重程度,因为树木密度的变化往往会超过森林面积的变化<sup>[15-16]</sup>。因此,需要引入能够表示森林功能性的指标(例如森林生产力等),但是这部分指标难以进行量化。Bahamondez 等指出可以从生产力的角度定量地评估了森林生态系统的退化程度<sup>[17]</sup>;还有的学者提出以生物多样性为标准进行量化<sup>[18]</sup>;马姜明等提出了可以从生态系统健康的角度来进行定量评价<sup>[3]</sup>;还有一些学者通过构建标准环境敏感区指数来评估土地退化情况<sup>[19-20]</sup>。但是不同的研究者在评价退化森林生态系统时所处的立场不同<sup>[8]</sup>,导致评价退化森林生态系统时选取的指标和分级标准也不尽相同。纵观国内外的研究可以发现,当前研究仍然存在一些不足,这在一定程度上制约了生态恢复实践和恢复生态学的发展,因此如何科学地评价退化森林生态系统的退化程度将是今后发展的方向和趋势。准确评估森林状况对稳定生态环境、确保生态安全,促进生产、生活、生态协调可持续发展具有重要意义<sup>[21]</sup>,所以迫切需要构建一套评价指标体系以阐明森林退化状况与监测指标间的量化关系,但如何筛选监测指标和构建指标体系却存在较大差异。因此,有必要在现有研究的基础上进行整理归纳,总结不同森林评价体系的方法及关键指标,梳理近年来一系列的研究进展,比较不同指标体系之间的优缺点,以此为基础建立一套更合理、完善的退化森林生态系统的评价指标体系,从而对森林生态系统的退化状况进行综合评估,为我国退化森林生态系统的恢复和重建提供一定的科学依据。

## 1 森林生态系统退化

正确认识森林生态系统退化的内涵是构建退化森林生态系统评价指标体系的基础,应该在深刻理解其背景的前提下遴选适宜的监测指标作为评价森林生态系统退化的标准<sup>[22]</sup>。联合国粮农组织将森林退化定义为逆向影响林分或立地的结构或功能,从而降低森林提供产品和服务能力的森林变化过程<sup>[23]</sup>;国家热带木材组织认为森林退化指的是森林潜在效益的全面、长期降低,包括木材、生物多样性和任何其他产品或服务<sup>[24]</sup>;联合国生物多样性保护公约将森林退化定义为由人类活动引起的、丧失原有天然林正常的结构、功能、物种组成或生产力的次生林<sup>[25]</sup>,主要侧重于退化过程,并且提出了人类活动对于森林退化的影响;联合国政府间气候

变化专门委员会认为森林退化是由人类活动引起的在一定时间内森林碳储量的长期丧失<sup>[26]</sup>,主要从森林覆盖率、碳储量和碳排放变化来评价森林退化程度。我国的学者也对森林退化的内涵进行了不同程度的探讨,朱教君等认为森林退化可以理解为森林面积减少、结构丧失、质量降低、功能下降的过程<sup>[27]</sup>;刘国华等认为森林衰退是森林退化的一种表现形式,指森林树木在生长发育过程中出现的生理机能下降、生长发育滞缓、生产力降低甚至死亡以及地力衰退等状态<sup>[28]</sup>;雷静品等则认为森林退化与森林衰退很难严格区分<sup>[29]</sup>,二者都是指森林面积减少、结构衰退、生理生态功能下降的过程。张小全等认为应该区分不同的森林经营类型来定义森林退化的概念<sup>[30]</sup>。综上,目前关于森林退化的定义基本一致,都是描述森林属性、结构或功能的丧失<sup>[4]</sup>,但在细微之处也有所差异,有些定义侧重于森林的结构组成部分,而另一些定义采用功能方法,或基于资源等,但是都缺少可操作的森林退化评价体系 and 指标<sup>[31]</sup>。

森林生态系统退化会对森林的结构和功能造成破坏并失去固有平衡<sup>[32-33]</sup>,是生态系统退化在森林尺度上的具体表现。该过程会使原来稳定的生态系统遭到破坏,从而朝着生物多样性降低、物质能量流动减少、结构简单化以及环境状态不利于生命生存的方向发展<sup>[28]</sup>。森林生态系统一旦退化,所能提供的生态系统服务功能将逐渐下降,导致生命维持系统的破坏,最终物种灭绝,生命完全消失<sup>[34]</sup>。一般来说,森林生态系统退化过程主要有以下特征:首先,森林生态系统退化会使部分原有物种消失,一些外来物种得以入侵<sup>[35]</sup>,从而造成系统的种类组成发生改变<sup>[36]</sup>;进而会使生态系统中幼龄物种相对增加,造成系统中的年龄结构不合理,最终导致系统的稳定性差,抗干扰能力下降。其次,由于生态系统结构的改变会使生物生产力和生物量减少,从而导致系统中的物质循环、能量流动、生态服务以及自我调节能力减弱。生态系统的进一步退化会使系统中原有的土壤环境和小气候趋于恶化,如土壤有机质成分减少、硬度改变<sup>[37]</sup>,以及温度升高、湿度下降等,这些变化均不利于原有系统的发展。此外,原系统中建立起来的各种稳定的种内和种间关系包括竞争、共生、寄生、捕食等也会发生相应改变,从而降低生态系统的稳定性,导致原有系统的演替途径发生变化。由于组成系统的种类发生变化,土壤种子库也发生了一定改变,小环境的恶化又不利于原系统中土壤种子库的生长发育,造成原有森林生态系统的更新和抚育困难<sup>[28,38]</sup>。其退化阶段主要有:顶级森林生态系统-次生林-杂木林-灌草丛-裸地或顶级森林生态系统-耕地-撂荒地(裸地)两大类(图1)。

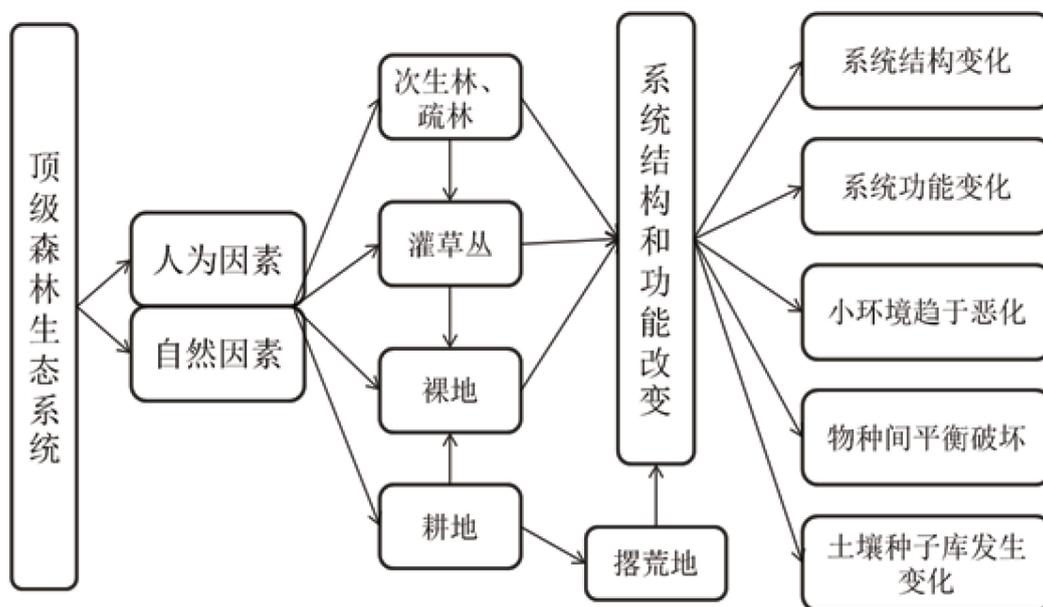


图1 森林生态系统退化过程

Fig.1 The degrading process of forest ecosystems

## 2 退化森林生态系统评价指标体系研究进展

### 2.1 评价指标的筛选原则

评价退化森林生态系统是进行恢复和重建生态系统的前提,有利于提高其生态服务功能,改善生态环境状况<sup>[28]</sup>。在构建评价指标体系时,评价指标的选取直接决定了评价结果的科学性与适用性,然而由于森林生态系统具有复杂的结构和功能<sup>[39]</sup>,在全球尺度上种类繁多,用以诊断森林退化的指标相对较多,为了评价的准确性、客观性,在建立生态退化指标体系时,大多数评价体系都遵循以下六大原则<sup>[11,38,40]</sup>:(1)整体性原则:在考虑诸多影响森林生态系统因子的基础上,全面衡量并统筹考虑森林生态系统的退化过程和方向,采取能够综合反映森林生态系统结构、功能等方面的指标进行分析和评价;(2)概括性原则:评价指标应该具有概括性,能够指示森林退化过程中的关键性变化,但是不能过多过细,使指标过于繁琐,相互重叠,也不能过少过简,避免指标遗漏,出现错误;(3)动态性原则:森林退化过程需要通过一定时间尺度的指标才能反映出来。因此,指标的选择要充分考虑到森林的动态变化特点;(4)定性与定量相结合原则:评价指标要准确反映出退化森林的变化特征,另外,评价指标体系的设置、权重在各指标间的分配及评价标准的划分都应该相适应;(5)层次性原则:指标体系的构建应该具有层次性,自上而下,从宏观到微观层层深入,形成一个不可分割的评价体系,各指标之间相互独立,又彼此联系;(6)实用性原则:遵循简洁、方便、有效、实用的原则,选取符合理论概括、易于获取和影响重大的因子或者模型,使理论与实际做到良好的结合,同时要容易监测,计算简单,具有技术和经济可行性。

### 2.2 退化森林生态系统评价体系的构建

鉴于森林生态系统的多样性和复杂性,我国退化森林生态系统的评价由于对象、功能以及区域范围的不同,所选取的退化指标及分级标准在一定程度上有所差异<sup>[41]</sup>。不同学者构建退化生态系统评价体系有所不同,如表 1 所示:

表 1 不同退化森林生态系统评价指标体系的比较

Table 1 Comparison of different evaluation index systems for degraded forest ecosystem

准则层 Criterion layer	二级指标层 Second index layer	三级指标层 Third index layer	优点 Advantages	缺点 Disadvantages	文献 References
物理-养分-生产力 Physical-nutrient-productivity		林地土壤厚度、土壤侵蚀度、土壤有机质、土壤全氮/磷/钾、森林和森林气候生产力	利用了 RS 技术大尺度功能实现了林地退化状况的栅格化监测,可行性好。	(1)森林退化是多因子复合作用的结果,该体系的评价指标较少。 (2)用 NPP 来计算森林生产力可能会与实际情况有所差异。	[42]
结构-功能-生境 Structure-function-habitat	植物群落 动物群落 微生物群落 物质生产 土壤生化作用 小气候 土壤条件	物种数、密度、盖度、高度、频度 类群总数 微生物总数量、细菌数量 总生物量、净第一生产力、凋落物分解率 呼吸强度/速率 群落内外温度比值 土壤容重、土壤含水量、有机质含量、全氮含量	(1)能反映森林生态系统退化特征。 (2)对于该评价体系进行验证,结果符合参考退化阶段,具有有效性和适应性。	指标繁杂且重复,计算上比较复杂。	[11,43]

续表

准则层 Criterion layer	二级指标层 Second index layer	三级指标层 Third index layer	优点 Advantages	缺点 Disadvantages	文献 References
基础-功能 Foundation-function	森林组成与生物多样性	森林面积、森林破碎化指数、物种数量	将森林退化指标量化并体现在林分生长状态上,进而划分森林退化的程度,对退化森林的修复工作具有重要意义。	该体系关于森林功能性指标的量化还比较模糊,将其通过林分的某些生长指标体现出来,可能并不能准确地描述其水土保持、涵养水源等功能。	[29,44]
	森林健康与活力	受病虫害/入侵物种影响的面积、受非生物影响的森林面积			
	森林生产力	木材总蓄积量和年生长量、人工林面积和比例			
	水土保持	土壤严重退化的林地面积和比例			
	全球碳贡献	森林生态系统碳储量和流量。			
压力-状态-响应 Pressure-state-response	压力特征		采用 PSR 模型对退化森林生态系统进行机理分析,可以整理出各类退化机制的压力、现存状态和人类的响应,以及森林自身对压力的适应性调整,有利于认识生态退化机制。	在进行定量分析时,需要进行专家评分,因此主观性较强。	[10,45-46]
	健康状态				
	相应措施				
结构-过程-功能 Structure-process-function	土壤	物理特性、养分、酶活性	将直接作用于生态系统和生态过程的重要因素纳入指标体系,具有典型性和代表性。	(1) 该评价体系的完善与检验、恢复评价与监测体系构建等方面,还有待于在实践过程中深入论证。 (2) 指标测量难度较大、可操作性差。	[47]
	植被	生物量、植物多样性、凋落物			
	土壤生物多样性	土壤微生物群落、菌根真菌群落、土壤动物功能群			
	土壤动物	生物量、土壤节肢动物功能群多样性			
物种多样性-植被结构-生态学过程 Diversity-structure-process	物种多样性	物种丰富度、多度	该指标体系以恢复成功的生态系统特征作为评价,对植被恢复和重建有指示意义。	只是提出了评价的概念性框架,没有进行定量评价,实际可操作性较差。	[3]
	植被结构	植被盖度、乔木密度、高度、胸高断面面积、生物量、凋落物结构			
	生态学过程	养分库、土壤有机质、生物间的相互关系			

在对现有的退化森林评价体系进行比较分析时发现,现有的一级指标层在划分上存在一定差异,一级指标中绝大多数都是涉及到生态系统组成、结构和功能的评价<sup>[11-12,29]</sup>,二级指标则以描述群落的气候、土壤、组成、结构、生物量、生产力、碳储量等变量为主<sup>[12]</sup>,可用于直接获得数据的三级指标通常是表示森林属性的状态,包括木材储存量、森林的破碎度、物种的丰富和生物多样性、树种结构组成、森林生产力、土壤养分、土壤侵蚀和水分等,这些指标都与森林生态系统退化状况息息相关,在一定程度上能够体现森林退化的特征。但现有的评价体系中还存在一些问题:(1)有些评价体系的指标不可测,例如生物间相互关系<sup>[3]</sup>、捕捞的严重程度<sup>[10]</sup>等;(2)随着技术的发展,有许多数据的获取可以通过遥感手段得到,但是利用遥感在进行计算时并不能反映森林的真实退化程度,通过遥感方法得到的森林覆盖率、生物量、生产力都普遍偏高<sup>[15-16,42]</sup>;(3)此外,上述评价体系还有一个局限在于只是进行某个时间点上的测量,很难描述森林退化过程中的动态变化,甚至可能会出现偏差;(4)有些指标体系只关注森林的结构组成,没有考虑与森林动态有关的功能过程,例如:树种的组成结构,林龄以及生产力指标等。

因此,本文在总结分析上述评价体系优缺点的基础上,根据退化生态系统评价指标体系选择原则,对这些

体系中主要指标及关键因子进行了重新筛选,构建了一个4层次的评价指标体系(表2)。以退化森林生态系统指标体系作为总目标层,用以评价生态系统的退化程度。一级指标层是生态系统退化的直接表现,由生态系统的组成结构、功能和生境三部分构成,森林生态系统的组成结构是评价的基础,它决定了生态系统发挥生态功能和社会功能的大小<sup>[48]</sup>,而生境条件则与森林组成结构息息相关,相互影响;二级指标层是对一级指标层的详细分解,以数量、植被、结构、生产力、生化作用强度、土壤和生境气候等特征作为二级指标层;三级指标由具体能够直接度量并体现各二级指标层所代表特征的指标构成,其中,年净第一性生产力在评价指标中占据绝对优势,相对于其他指标来看,最能反映森林生态系统的退化状况。还有的研究者认为生物多样性与生物呼吸速率在评价体系中也占据重要地位,因为生物多样性与退化森林生态系统的恢复状况紧密连接,生物呼吸作用则对土壤生化作用强度有很强的指示性<sup>[11-12,29]</sup>。这三者作为评价体系中的关键性指标,任何一个微小变化都可能会引起森林生态系统的显著改变。此外,三级指标层中的物种丰富度、生物量、乔灌草比例、森林破碎化指数等对于森林生态系统退化状况的指示也较为突出,可用来作为评价体系中的辅助性指标。指标数据的获取方法以遥感、实际观测、室内分析相结合,尽量能够全面准确的表征森林生态系统退化过程。

表2 退化森林生态系统评价指标体系

Table 2 Evaluation index system for degraded forest ecosystem

目标层 Target layer	一级指标层 Criterion layer	二级指标层 Second index layer	三级指标层 Third index layer	获取途径 Measuring method		
退化森林生态系统 评价指标体系 The evaluation index system for degraded forest ecosystems	生态系统的组成结构	数量指标	总物种数	野外观测		
			森林覆盖率	遥感		
			森林面积年变化率	遥感		
	生态系统的功能	植被指标	密度	密度	野外观测	
				年龄	野外观测	
				乔木层高度	野外观测	
		结构指标	灌、草高度	灌、草高度	野外观测	
				郁闭度	野外观测	
				灌、草盖度	野外观测	
		生产力指标	生化作用强度指标	物种丰富度	野外观测	
				生物多样性指数	野外观测	
				乔灌草比例	野外观测	
		生态系统的生境	土壤指标	群落演替度	群落演替度	野外观测
					森林破碎化指数	遥感
					生物量	遥感
			气候指标(林内)	凋落物生物量	凋落物生物量	野外观测
					年净第一性生产力	模型计算
					呼吸速率	野外观测
	气候指标(林内)		土壤指标	生化作用强度指标	分解速率	野外观测
					硝化作用强度	野外观测
					反硝化作用强度	野外观测
氨化作用强度		野外观测				
土壤容重		室内分析				
土壤孔隙度		室内分析				
气候指标(林内)	土壤指标	生化作用强度指标	土壤含水量	野外观测		
			土壤有机质含量	室内分析		
			土壤N、P、K含量	室内分析		
			土壤中污染物含量	室内分析		
			温度	野外观测		
			湿度	野外观测		
气候指标(林内)	土壤指标	生化作用强度指标	光照强度	野外观测		
			蒸散发	野外观测		

### 2.3 评价指标的权重

由于现有指标多为定性指标,且指标的针对性强、代表性差、适用范围窄,可操作性不高,评价指标的数据来源也存在不确定性<sup>[31,49]</sup>,因此缺乏对于指标的定量分析。此外,对不同评价指标所分配的权重会直接影响到评价结果的可靠性,因此,合理确定评价指标的权重是建立评价指标体系的关键<sup>[12]</sup>。当前研究中使用较多的评价方法主要有四种:(1)聚类分析:找出一些能够度量评价指标之间相似程度的统计量,以这些统计量为划分类型的依据,把相似程度较大的指标聚合为一类,直到把所有的指标聚合。(2)主成分分析:是将原来众多具有一定相关性的  $n$  个指标,重新组合成一组新的综合指标,该方法主要根据原始数据之间的关系通过一定的数学方法来确定权重。(3)层次分析法:是在建立评价指标体系的基础上,通过比较同一层次各指标的相对重要性来综合计算指标的权重系数<sup>[50]</sup>。(4)群落排序法:主要是通过计算不同生态系统(群落)的非相似矩阵系数,来评价生态系统的退化程度或恢复程度<sup>[51]</sup>。本文针对这四种方法进行总结分析,阐述各方法的优缺点(表 3),为进一步完善我国退化森林生态系统评价体系提供科学方法。总的来看,层次分析法是目前用的最多也是最广泛的一种方法,可操作性较强,但存在一定的主观性。群落排序法在生态系统评价中应用较少,但能够更客观地反映生态系统的自然状态,具有广阔的应用前景。

表 3 不同评价指标权重确定方法的比较

Table 3 Comparison of different determination methods for the weight coefficient of evaluation index

评价方法 Methods	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
聚类分析法 Clustering analysis	可以了解各个变量和变量组合之间的关系的亲疏程度	只能进行定性分析,不能进行定量分析。
主成分分析法 Principal component analysis	(1)可以通过少数几个主成分来揭示多个变量间的内部结构,反映系统变异的最大信息。 (2)其判断结果有较强的数学理论依据。	(1)要依赖大量的样本数据,计算方法比较复杂。 (2)有时候计算结果会与实际情况相差较大。
层次分析法 Analytic hierarchy process	(1)将决策者的经验判断定量化,降低主观随意性。 (2)定性定量相结合,增强决策的准确性。 (3)简单、易行,操作简便。	(1)指标权重由专家打分构成,因此主观性较强。 (2)实际操作起来十分繁琐,工作量很大。
群落排序法 Community ordination	(1)能够揭示植被-环境间的生态关系。 (2)该方法可以直观、量化地展示了生态系统结构、物种和功能的恢复程度。	不能充分体现出系统活力、组织力和恢复力的具体变化

### 3 问题及展望

森林是陆地生态系统的主体,其覆盖面积占总面积的 31%,在维持生物多样性和为全球提供生态服务方面起着重要作用<sup>[3]</sup>。近几十年来,由于森林生态系统的退化所导致的生态环境问题日益严重,恢复和重建我国退化森林生态系统,提高其生态服务功能,是改善我国生态环境状况的关键所在<sup>[1]</sup>。因此,建立一套能全面反映森林生态系统退化程度的评价指标体系对于我国森林生态系统的恢复和重建具有重要意义。目前研究中由于不同区域间的自然条件的差异使得退化森林生态系统评价指标体系在建立上产生了一些问题:(1)评价指标差异较大。我国退化森林生态系统分布广泛,有东北部的寒温带退化森林生态系统、暖温带森林退化生态系统、亚热带退化森林生态系统、西南亚高山森林退化生态系统和热带森林退化生态系统等<sup>[28]</sup>。现有的退化森林生态系统评价指标体系的研究主要以上述不同森林类型为基础,这会导致不同区域内的评价指标有所不同,无法从整个生态系统的角度进行的综合评价<sup>[2]</sup>;(2)研究认识不够深入。虽然现有研究中关于森林退化原因,退化特征,退化过程的具体描述,但是关于退化机制还缺乏深入的、系统性的研究<sup>[34]</sup>,由此导致评价指标的选取因为缺乏理论基础而不具有代表性;(3)指标权重的不确定性,目前研究中指标进行赋值时一般采用专家打分法和问卷调查法,主观性较大,在不同的评价体系中无可比性,难以大范围推广应用;

(4)对于某些指标的获取还存在一定难度,例如决定森林过渡方向和速率的物种间相互关系,该指标可以用来指示森林生态系统的健康状况,但是直接评估难度较大。

因此,退化森林类型的多样化导致了退化评价指标的多样化,制定统一的退化评价体系有一定的困难。本研究文在比较分析前人研究的基础上,选择更加具有代表性的指标来不断完善我国退化森林生态系统评价指标体系,所选的32个评价指标彼此之间相互影响,相互联系,森林退化会使原有的物种组成发生变化,改变生态系统中年龄结构,从而导致系统中的生产力和生物量减少,此外,还会使土壤和生境指标有所下降,小环境的恶化又会限制森林的结构和功能。总的来说,该指标体系能够较全面地从不同角度、不同深度反映森林生态系统的主要特征、退化状况以及存在的问题,但是也存在一些不足之处。对于退化森林生态系统评价体系的现状与存在的问题,我们今后应在以下几个方面开展深入的研究和探索:(1)构建我国退化森林生态系统评价指标的长期连续观测网络,以便对森林生态系统退化过程的不同阶段进行长期监测、对比和判断;(2)选择更为合适的数学和模型方法对退化森林生态系统的评价指标进行综合的定量评价;(3)加强从生态系统功能和服务的角度对退化森林生态系统评价的研究;(4)将遥感分析与样地调查相结合,从区域尺度上分析退化森林生态系统的空间分布状况及其生态学过程。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] FAO. State of the World's Forests 2016: Forests and Agriculture: Land-Use Challenges and Opportunities. Rome, 2016.
- [ 2 ] 何正盛. 退化森林生态系统恢复与重建的基本理论及其应用. 重庆教育学院学报, 2003, 16(3): 59-62.
- [ 3 ] 马姜明, 刘世荣, 史作民, 刘兴良, 缪宁. 退化森林生态系统恢复评价研究综述. 生态学报, 2010, 30(12): 3297-3303.
- [ 4 ] Ghazoul J, Burivalova Z, Garcia-Ulloa J, King L A. Conceptualizing forest degradation. Trends in Ecology & Evolution, 2015, 30(10): 622-632.
- [ 5 ] Asner G P, Knapp D E, Broadbent E N, Oliveira P J C, Keller M, Silva J N. Selective logging in the Brazilian Amazon. Science, 2005, 310(5747): 480-482.
- [ 6 ] Riva M J, Daliakopoulos I N, Eckert S, Hodel E, Liniger H. Assessment of land degradation in Mediterranean forests and grazing lands using a landscape unit approach and the normalized difference vegetation index. Applied Geography, 2017, 86: 8-21.
- [ 7 ] 赵劫, 陆文明. 森林认证的现状与发展趋势. 世界林业研究, 2004, 17(1): 1-4.
- [ 8 ] 李贤伟, 罗承德, 胡庭兴, 张健. 长江上游退化森林生态系统恢复与重建刍议. 生态学报, 2001, 21(12): 2117-2124.
- [ 9 ] Hobbs R J. Ecological management and restoration: assessment, setting goals and measuring success. Ecological Management & Restoration, 2003, 4(S1): S2-S3.
- [ 10 ] 卢昌义, 吝涛, 叶勇, 江锦祥, 李荣冠. 红树林生态退化机制评估指标体系构建与漳江河口案例研究. 台湾海峡, 2011, 30(1): 97-102.
- [ 11 ] 杨娟, 李静, 宋永昌, 蔡永立. 受损常绿阔叶林生态系统退化评价指标体系和模型. 生态学报, 2006, 26(11): 3749-3756.
- [ 12 ] 蔡品迪, 喻理飞, 付邦奎, 殷建强. 退化喀斯特森林近自然度评价指标体系的构建——以贵州省修文县示范区为例. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(6): 87-91.
- [ 13 ] Mitchard E T A, Flintrop C M. Woody encroachment and forest degradation in sub-Saharan Africa's woodlands and savannas 1982-2006. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2013, 368(1625): 20120406.
- [ 14 ] Melendez-Pastor I, Navarro-Pedreño J, Koch M, Gómez I, Hernández E I. Evaluation of land degradation after forest fire with a fuzzy logic model. Environmental Engineering and Management Journal, 2013, 12(11): 2087-2096.
- [ 15 ] Morales-Barquero L, Borrego A, Skutsch M, Kleinn C, Healey J R. Identification and quantification of drivers of forest degradation in tropical dry forests: a case study in Western Mexico. Land Use Policy, 2015, 49: 296-309.
- [ 16 ] Le Polain de Waroux Y, Lambin E F. Monitoring degradation in arid and semi-arid forests and woodlands: The case of the argan woodlands (Morocco). Applied Geography, 2012, 32(2): 777-786.
- [ 17 ] Bahamondez C, Thompson I D. Determining forest degradation, ecosystem state and resilience using a standard stand stocking measurement diagram: theory into practice. Forestry: An International Journal of Forest Research, 2016, 89(3): 290-300.
- [ 18 ] 姜帆, 董希斌. 山地退化森林生态系统恢复评价方法的研究. 森林工程, 2007, 23(4): 5-7.
- [ 19 ] Ferrara C, Moretti V, Serra P, Salvati L. Towards a sustainable agro-forest landscape? assessing land degradation (1950-2010) and soil quality in Castelporziano forest and peri-urban Rome, Italy. Rendiconti Lincei, 2015, 26(3): 597-604.
- [ 20 ] Zambon I, Colantoni A, Carlucci M, Morrow N, Sateriano A, Salvati L. Land quality, sustainable development and environmental degradation in agricultural districts: a computational approach based on entropy indexes. Environmental Impact Assessment Review, 2017, 64: 37-46.

- [21] 熊昌盛, 谭荣. 基于 GIS 和 LSA 的林地质量评价与保护分区. 自然资源学报, 2016, 31(3): 457-467.
- [22] Christensen Jr N L. An historical perspective on forest succession and its relevance to ecosystem restoration and conservation practice in North America. *Forest Ecology and Management*, 2014, 330: 312-322.
- [23] FAO. Global Forest Resources Assessment 2000-Main Report-FRA 2000, Forestry Paper 140, Rome, 2000.
- [24] ITTO. ITTO Guidelines for the Restoration, Management and Rehabilitation of Degraded and Secondary Tropical Forests. Yokohama: ITTO, 2002.
- [25] UNEP CBD. Main theme: forest biological diversity//Review of the Status and Trends of, and Major Threats to, the Forest Biological Diversity, Prepared by the Ad Hoc Technical Expert Group on Forest Biological Diversity [C]. Montreal: UNEP, 2001.
- [26] IPCC. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [27] 朱教君, 李凤芹. 森林退化/衰退的研究与实践. 应用生态学报, 2007, 18(7): 1601-1609.
- [28] 刘国华, 傅伯杰, 陈利顶, 郭旭东. 中国生态退化的主要类型、特征及分布. 生态学报, 2000, 20(1): 13-19.
- [29] 雷静品, 肖文发, 刘建锋, 白彦锋, 刘昕. 森林退化及其评价研究. 林业科学, 2010, 46(12): 153-157.
- [30] 张小全, 侯振宏. 森林退化、森林管理、植被破坏和恢复的定义与碳计量问题. 林业科学, 2003, 39(4): 140-144.
- [31] 谢云, 王洪荣. 四川省人工防护林退化研究. 四川林业科技 2017, 38(3): 32-35, 74-74.
- [32] 李治宇, 庞勇. 森林退化及其修复研究概述. 四川林勘设计, 2011, (1): 12-18.
- [33] 韦秀文, 林积泉, 王瑞仙, 付莉婷. 退化喀斯特森林恢复研究进展. 现代农业科技, 2016, (2): 172-174, 177-177.
- [34] 陈开伟, 商志伟. 退化森林生态系统恢复评价分析. 湖北第二师范学院学报, 2012, 29(8): 100-102.
- [35] 孙德亮, 张军以, 周秋文. 喀斯特地区退化植被生态系统修复技术初探. 广东农业科学, 2013, 40(3): 135-138.
- [36] 孙清芳, 李云红, 刘玉龙, 沃晓棠, 陈瑶. 森林土壤退化的起因、影响及防治对策研究综述. 林业科技情报, 2013, 45(1): 1-5.
- [37] 张劲峰. 滇西北亚高山退化森林生态系统特征及恢复对策研究[D]. 昆明: 云南大学, 2012.
- [38] 章家恩, 徐琪. 退化生态系统的诊断特征及其评价指标体系. 长江流域资源与环境, 1999, 8(2): 215-220.
- [39] 朱道光, 倪红伟, 崔福星. 大兴安岭林区退化森林湿地生态系统恢复研究进展. 国土与自然资源研究, 2013, (5): 61-63.
- [40] 高均凯. 森林健康基本理论及评价方法研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [41] 白降丽, 彭道黎, 庾晓红. 退化生态系统恢复与重建的研究进展. 浙江林学院学报, 2005, 22(4): 464-468.
- [42] 余坤勇, 刘健, 许章华, 许晶. 基于 RS 林地退化监测技术. 东北林业大学学报, 2010, 38(1): 60-63.
- [43] 刘洪来, 鲁为华, 陈超. 草地退化演替过程及诊断研究进展. 草地学报, 2011, 19(5): 865-871.
- [44] 史凯航. “三北”防护林退化及指标分析. 辽宁林业科技, 2015, (5): 57-59.
- [45] 王潜, 李海涛, 梁涛, 顾晨洁, 王佰梅. 湖滨带退化生态系统健康评价指标体系研究. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 2226-2228, 2288-2288.
- [46] 杨晨玲. 广西滨海湿地退化及其原因分析[D]. 桂林: 广西师范大学, 2014.
- [47] 张红玉. 基于“结构—过程—功能”一体化的喀斯特退化生态系统恢复和评价指标研究. 生态科学, 2015, 34(5): 205-210.
- [48] 孙晓娟. 三峡库区森林生态系统健康评价与景观安全格局分析[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2007.
- [49] 高志亮, 余新晓, 陈国亮, 岳永杰, 樊登星, 曹波. 北京市八达岭林场森林健康评价研究. 林业资源管理, 2008, (04): 77-82.
- [50] 何琼, 孙世群, 吴开亚, 胡淑恒, 聂磊. 区域生态安全评价的 AHP 赋权方法研究. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2004, 27(4): 433-437.
- [51] 刘利, 王赫, 段亮. 3 种主要生态系统评价方法的对比与分析. 安徽农业科学, 2013, 41(29): 11781-11782, 11830-11830.