

森林生态系统健康评价现状及展望*

王懿祥^{1,2} 陆元昌¹ 张守攻¹ 白尚斌² 刘宪钊¹

(1. 中国林业科学研究院资源信息研究所 北京 100091 ; 2. 浙江林学院 临安 311300)

摘要: 以森林生态系统健康评价的概念为出发点,从评价层次、评价指标、评价方法和评价标准等方面剖析森林健康评价的关键技术,综述国内外有关森林生态系统健康评价的研究进展,并分析当前研究中存在的问题,如指标体系不够完善、评价方法有待完善、评价标准主观性强、评价结果不准确等。今后森林生态系统健康评价研究的重点应着重于理论探索和方法完善方面,从研究健康机制入手,完善评价指标体系,改进评价的手段、方法和技术,确立不同区域主要森林类型的健康标准,为调控不健康的森林、保持森林健康状态、实现森林生态系统的可持续发展提供理论依据和技术支持。

关键词: 森林生态系统健康;评价指标;评价方法;评价标准

中图分类号:S718.557 文献标识码:A 文章编号:1001-7488(2010)02-0134-07

Present Situation and Prospect of Forest Ecosystem Health Assessment

Wang Yixiang^{1,2} Lu Yuanchang¹ Zhang Shougong¹ Bai Shangbin² Liu Xianzhao¹

(1. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry Beijing 100091 ;

2. Zhejiang Forestry College Lin'an 311300)

Abstract: Forest ecosystems are a foundation of existence and development of human society. Therefore, the forest ecosystem health assessment is an important issue. This paper reviewed recent progress in the study on the assessment technology of forest ecosystem health from scale, indices, methods and standards. Then the paper analyzed the existing problems in present research. For example, the assessment indices are not comprehensive, the methods need to be improved, the standard is too subjective and the assessment result is inaccurate, etc. Therefore, the future research on forest ecosystem health assessment should be focused on theory exploration and research method improvement. First of all, the forest health mechanism needs to be understood more. And then assessment indices, means, methods and techniques should be improved to make the results more practicable. The health standards should be established for mainly forest vegetation in various areas. A comprehensive health assessment system for forest ecosystems should be developed aiming to supply bases for adjusting unhealthy forest, maintaining healthy forests and developing sustainable forestry.

Key words: forest ecosystem health; assessment indicators; assessment methods; assessment standards

在森林健康问题受到越来越多关注的情况下,有几个原因使得森林健康评价显得尤为重要。首先,森林在生态、经济、美学、文化资源上是无价的;其次,作为一种环境资源,森林的正确管理方式应当建立在了解森林的现状及其变化之上,以便提供适当的管理答案;再次,森林面积在世界各地都已经由于各种原因导致的下降,越来越清楚地认识到大气污染物、全球变化、病虫害对森林生态系统的健康产生严重的威胁(Schlaepfer, 1993; Marco, 1997)。

森林生态系统可提供众多的服务功能,这些功能是维系生命系统存在的支撑条件,也是人类生存

和社会经济发展的物质基础及保障条件。但长期以来,人类凌驾于森林之上,任意地破坏和改造森林,试图征服森林。人类对原始森林进行破坏之后形成的次生林和人工造林使得森林在自然力的作用下,同时掺杂许多人为的因素。森林早已不是一个纯粹的自然系统,偏离自然生态系统的轨道,抵抗外界的能力逐渐减弱,提供的生态服务功能逐渐弱化,导致区域性和全球性生态环境的恶化,加重洪水、干旱、沙尘、风暴等一系列的问题,严重威胁到人类和其他生物的生存和发展。

为此,许多国家陆续开展森林健康评价工作。

加拿大在森林健康评价方面的工作做得比较早,在 20 世纪 80 年代中期就开始对森林健康进行评价 (Kimmins, 1996)。澳大利亚在 90 年代中期也对全国的森林进行健康评价工作。1990 年,美国林务局与美国环境保护署以及 24 个州林业局和 18 所大学等联合资助和实施森林健康监测项目 (forest health monitoring, FHM), 对美国森林生态系统健康的状况、变化及发展趋势进行监测和评价 (Alexander *et al.*, 1999)。

目前,森林生态系统健康评价的研究已经展开,有一些具体的评价实践。本文在查阅国内外有关文献的基础上对森林健康评价进行评述,力图为建设森林健康评价的规范提供参考。

1 森林生态系统健康评价的概念

1.1 森林生态系统健康的概念

生态系统健康的提法可追溯到 20 世纪 40 年代对土地健康的研究 (Leopold, 1941; Rapport, *et al.*, 1998), 但是并未引起人们的重视。随着为人类提供多种服务功能的自然生态系统受到越来越严重的干扰和破坏 (Constanza *et al.*, 1997), 生态系统不能像过去那样为人类服务。直到 1988 年人类才开始思考生态系统健康与否的问题, Schaeffer 等 (1988) 首次提出有关生态系统健康度量的问题。Rapport (1989) 论述了生态系统健康的内涵。随着研究的深入, Constanza 等 (1992) 和 Rapport 等 (1998) 对生态系统健康理论体系进行较为全面的论述。

Constanza 等 (1992) 和 Rapport 等 (1998) 认为, 生态系统健康的概念可唤起公众对环境问题的关注。生态系统健康是保证生态系统服务功能的前提, 一个生态系统只有保持结构和功能的稳定性, 并具有抵抗干扰和恢复的能力, 才能长期为人类社会提供服务 (马克明等 2001)。

生态系统健康理念的提出使得人类在面临全球生态环境恶化、生态系统受到前所未有的胁迫挑战中, 寻找到一条解决之路 (陈高等, 2002)。学者们按照生态系统类型划分, 分别在湖泊、海洋、湿地、草原和森林等生态系统领域进行研究和探索, 不同的认识产生了不同的生态系统健康概念和思想 (Rapport *et al.*, 1989; 蔡晓明, 2000; 李瑾等, 2001)。生态系统健康学也成为当前生态系统学和环境管理的研究热点 (Constanza *et al.*, 1992; Callicott, 2000)。

森林健康是伴随生态系统健康概念出现的一个概念, 是随着经济社会发展到一定阶段、在人们对森

林的功能提出新需求和新时期下产生的, 是在人们关心森林生态系统服务功能进而关心作为自然界的生命体——森林时发展的。早期森林健康强调的是森林病虫害、森林火灾和干旱等胁迫因子对森林的影响以及如何实施有效的控制等。随着人们对森林作为生态系统主体认识的不断深入以及环境污染、木材过量消耗而导致森林生态系统不断衰退, 对森林健康的理解已逐步发展为包括林分、森林群落、森林生态系统以及森林景观在内的一个复杂的系统概念 (O'-Laughlin, 1996; Alexander *et al.*, 1999)。1992 年, 美国国会通过“森林生态系统健康和恢复法”, 农业部组织专家对美国东、西部的森林、湿地等进行了评价, 并于 1993 年后出版了一系列的评估报告和专著。其中 O'-Laughlin 等 (1993) 和 Alexander 等 (1999) 认为森林生态系统健康是一种状态, 是森林生态系统向人类提供需要并维持自身复杂性的一种状态。这个概念强调以人类为中心的功利主义观点。另外一个生态学极端观点认为健康的森林是能维持其自身复杂性、结构和恢复力的森林 (Kolb *et al.*, 1994; Kimmins, 1996), 与人类利益无关。从森林健康实践来看, 森林健康是在生态伦理和生态系统健康理论上提出的一个新的可持续森林资源经营理念, 是生态系统健康理论在森林资源管理中的具体应用。

森林生态系统包括许多生物成分、非生物成分和过程, 要理解森林生态系统健康是非常困难的。目前仍然还没有形成一个有普遍意义的森林健康定义, 有关学术争论仍然很多。然而, 关于森林健康的基本理解还是相对一致的, 认为健康森林能够维持其本身的结构复杂性和系统稳定性, 生物和非生物因素 (病虫害、环境污染、营林、林产品收获) 不能威胁其当前和未来的经营目标, 能充分满足人类对其价值、产品和生态服务功能等的需求 (王彦辉等, 2007)。

1.2 森林生态系统健康评价的概念

由于有许多生态系统组分 (因此有许多指标) 需要在项目监测里面进行总体考虑, 因此评价森林生态系统健康状况是相当困难的 (Innes, 1994)。只有在一个项目里面有各个学科的专家 (例如, 生态学者、昆虫学者、病理学者等) 参与监测和评价, 或者健康的概念已被明确定义, 才能够对林分健康状况进行评价。森林生态系统健康会受到污染物长期积累的影响, 甚至当树木健康并没有表现任何可以察觉的变化时森林生态系统健康已经受到影响。因此, 众多学者都认为森林生态系统健康很难进行

准确评价(Costanza *et al.*, 1992; Steedman, 1994; O'Laughlin, 1996; Kimmins, 1996)。

森林生态系统健康评价与监测密不可分,没有监测就没有评价。Ferris-Kaan 等(1992)甚至认为广义上的监测是指在一段时间内对同一森林的健康状况的一系列评价,评价则意味着在特定的时间内对特定的森林生态系统的健康状况进行定性和定量的估计和测度,探测变化是否发生,确立其变化方向和测量其变化广度。虽然国外开展森林健康监测项目已近 20 年,却至今未对森林生态系统健康评价进行过明确定义。

尽管学术界对于森林生态系统健康的概念理解存在众多分歧,森林生态系统健康评价没有被明确定义,而且评价难度相当大,但国内外学者们还是试图从各方面对森林健康开展评价。

2 森林生态系统健康评价方法分析

2.1 评价内容和层次

对森林健康的最直观的破坏首先来自于森林病虫害和森林火灾,因此关于森林健康的认识和评价始于病虫害和火灾这个角度。20 世纪 70 年代末期德国发现森林生活力缺失的情况,称之为新型森林受害现象,于是开始了森林健康状况监测评价(陆元昌 2003)。

森林生态系统健康评价是对森林生态系统状况和变化趋势的判断,以森林生态系统作为评价对象,区别于以单株树木为评价对象的树木评价和以树木群体为评价对象的森林评价(Kolb *et al.*, 1994)。

森林健康评价层次非常广泛,已经开展的有跨国的,如欧洲国家监测和评价大气污染对森林影响的 ICP - Forests 国际合作项目、北美糖枫(*Acer saccharum*)衰退项目 NASMDP;国家的,如美国酸雨评价项目 NAPAP 和森林健康监测 FHM、加拿大酸雨预警系统 ARNEWS(1984—2000 年),许多欧洲国家级监测评价内的区域级(小范围)监测评价(Bussotti *et al.*, 1992; 1995; 1996)。而且有多个国际项目建议进行重点监测评价,其中之一是属于 EC 和 UN/ECE ICP - Forests 的第二层次“空气污染对森林影响评价和监测计划”(Marco, 1997)。这些项目在不同尺度范围确定森林生态系统健康的变化程度、原因及其与胁迫因子之间的关系。

森林生态系统健康评价内容主要围绕各类型森林健康状况的时空分布及其与包括污染、有害生物、土壤、极端气候、人类干扰等在内的胁迫因素之间的关系而展开,也有少数研究涉及到这些胁迫因素下

森林生态系统各组分之间的相互关系。

2.2 评价指标体系

虽然经常假定通过保护生态系统中最敏感的物种有可能在不经意间就保护了所有的其他物种,但是使用单个指标(即使是最敏感的)来推断生态系统的健康仍是不恰当的(Cairns *et al.*, 1993)。而且,找到森林生态系统适宜的健康敏感性指标是非常困难的。所以要对森林生态系统健康进行评价最重要的一步就是要确立多要素、多层次的评价指标,建立相应的评价指标体系。用指标体系评价森林生态系统健康是国内外最常用的方法。

美国环境保护局设计的环境监测与评价项目(EMAP)采用了 4 类指标进行评价:包括响应指标(量化生态系统的生物情况)、暴露指标(测度暴露在化学物质、辐射、极端气候、物理干扰等中的生态系统)、生境指标(能代表当地或景观尺度的情况,如植被覆盖的广度、空间和垂直格局)和压力指标(能反映决定暴露或生境条件变化的活动或事件的指标,比如严重的污染事件,外来物种的入侵等)。原则上,所有的上述 4 类指标都应该考虑,只有这样才能确保生态系统的完整性,而且需要进行研究找出每一类指标群的最合适(敏感)指标(Muir *et al.*, 1987)。

国外的评价大多是在长期监测项目基础上进行的,有着很好的经费支持和能力建设,评价指标涉及到活力、恢复力、组织结构、维持生态系统服务、管理的选择、减少投入、对相邻系统的危害和人类健康影响等 8 个方面(Mageau, 1995; Rapport, 1998),能够提供持续不断的数据以供评价。国内学者在森林健康监测体系没有建立的前提下,也尝试着建立各种评价指标体系。

肖风劲等(2002)以森林生态系统的稳定性、可持续性和整合性为目标,提出包括森林生态系统组成、结构、生物多样性、净初级生产力等 19 个指标组成的森林生态系统健康的评价指标体系,但最后只是选取了 NPP、生物多样性指数和抗病虫害能力 3 个指标进行评价。李金良等(2004)用物种多样性、群落层次结构、林分郁闭度、灌木层盖度、枯落物层厚度、年龄结构、草本盖度、林分蓄积量和病虫害危害程度 9 个指标构建北京地区林分级水源涵养林健康评价指标体系。该指标体系采用的主要是群落结构指标,其他生产力、服务功能等指标考虑的较少。鲁绍伟等(2006)筛选物种多样性、群落层次结构、郁闭度、灌木层盖度、年龄结构、林分蓄积量、病虫害危害程度、土壤侵蚀程度 8 项指标构成森林生态系统

健康评价指标体系。谷建才等(2006)在北京市八达岭林场示范点通过对森林的活力、组织结构、适应性和社会价值4个指标的测定,构建一套评价森林健康的指标体系。康博文等(2006)选择城市森林生态系统结构、系统功能、生境资源利用和经济状况等4个指标集对延安市森林健康进行了评价。张秋根等(2003)从自然环境背景、森林生态系统、林区社会经济3个方面,建立森林生态环境健康评价指标体系,但是没有进行具体评价。

国内学者试图建立较全面的评价指标体系,尽管有些指标还不尽完善,但在实际工作中具有指导意义,评价结果能反映一些森林健康的实质。与国外评价指标比较而言,国内学者倾向于加上社会、经济、人类健康指标,而且少数文献中很多指标与健康状况或健康原因没有直接或间接的关系,过多地考虑社会科学方面的因素;而国外学者倾向于加上更多的物理的、化学的指标,而且采用的生态指标涵括系统综合水平、群落水平、种群水平、个体水平以及生态过程等,重视评价指标反映森林生态系统健康状况的敏感性和可测度,更多地考虑生态系统科学方面的指标。

2.3 评价方法

将评价指标测度后,如何对森林健康做出一个评判,这就是评价方法要解决的问题。从目前的研究成果来看,多数研究集中于评价指标的监测,而对评价方法进行理论的研究非常少。在文献中提到的评价方法多数是沿用传统的多指标综合评价方法,并没有针对健康评价做出相应的改进或探讨。综合研究现状,国内外目前应用的评价方法主要有以下几种。

1) 生物指示物评价法。生物指示物评价法是依据森林生态系统的指示植物、敏感植物、特有植物、特有动物、森林鸟类、森林昆虫、森林土壤动物和森林土壤微生物等来描述森林生态系统的健康状况(姬兰柱,2004)。生物指示物评价法包括单物种评价和多物种评价。陆庆轩等(2005)以光肩星天牛(*Anoplophora glabripennis*)为生物指示物,对沈阳城市森林生态系统进行评价。

生物指示物评价法简单易用。但是如果只使用单一物种,当外界干扰在更高层次上对生态系统的结构和功能作用而没有造成物种变化时,这一方法就不敏感。可以考虑采用不同生物组织层次上的多个物种多个指标来反映这种变化。

2) 健康距离法。陈高等(2004)和代力民等(2004)认为可以通过评估目标所处健康状态与原

来健康状态(或目标)的对比来评估其变化,健康的度量可采用健康损益值——健康距离(HD)来表示,健康距离表示受干扰生态系统(或群落)的健康程度偏离模式生态系统的健康程度(即所谓的背景值状态)的距离,可以用于解释生态系统(或群落)的健康评估计算。该方法能从群落尺度上甚至更大尺度上对森林生态系统健康进行定量评估,具有一定的可操作性。

在采用健康距离法进行评价时,能够找到与被评价森林类型相同的未受干扰(原始森林)生态系统,这在实际操作中是非常困难的。经过人类几千年的利用和破坏,原始森林已经非常少,而且要找同一地区同一植被类型显得更为困难。另外在计算指标权重时也带有很强的主观性。

3) 个体评价法。个体评价法是通过统计树木不健康的数量百分比来评价生态系统的健康程度。一般通过树叶脱落率或树叶变色率来反映个体的健康情况,监测树叶脱落占所有林木的百分比或变色树叶的面积占所有林地面积的百分比来评价生态系统健康。这种方法最有效的手段之一是通过遥感就可以得知大尺度内生态系统的健康情况(Olthof *et al.*, 2000; Levesque *et al.*, 2004)。但值得考虑的问题是个体评价法是否与森林生态系统健康的概念违背。不健康的树木个体本身并不意味着不健康的生态系统或污染影响。单个树木的死亡可能是森林生态系统动态过程中不可或缺的一部分(Ciesla *et al.*, 1994; Mueller-Dombois, 1992),即生态系统在可以承受的范围内进行自我调节。尽管如此,个体评价法在具体评价时只要注意到这个问题仍不失为一种快捷有效的方法。

4) 综合评价法。综合评价法是将多个评价指标的原始数据用某一个(类)统计方法构造一个综合性指标,以便对森林生态系统健康得出一个整体的评价。这就需要把反映森林生态系统健康的各方面指标综合在一起,目前文献中用得最多的是层次分析法。康博文等(2006)采用层次分析法结合专家咨询,确定指标集权重和各项指标权重,对延安市森林健康进行评价。甘敬等(2007)用层次分析法结合神经网络法对八达岭林场森林生态系统健康进行评价。谷建才等(2006)也采用该方法对华北土石山区典型区域主要森林类型进行健康分析与评价,虽然综合评价法从理论上和实践上都能得到一个反映森林生态系统健康的测度值,能够较直观地反映健康状况。但往往需要获取很多数据,工作量大,各指标的权重很难客观确定,各因素之间

的交互影响也很大,一部分指标的作用可能会被另外一些指标抵消,而且在各个指标对健康的影响机制并不清楚的情况下,把多个指标综合在一起缺乏可靠的理论依据。

2.4 评价标准

评价标准首要解决的问题是在什么状态下森林生态系统存在健康风险,然后才是在什么状态下是健康的。森林生态系统健康状态的不确定性给评价标准带来更大的不确定性。

美国林务局和合作伙伴在最近完成的因病虫害引起的全国森林健康风险评价时将森林健康风险定义为未来 15 年内由于病虫害致死的活立木(胸径大于 2.54 cm)断面积累计超过林分总断面积 25% 的森林。根据这个标准,美国有 2 300 万 hm^2 森林存在健康风险(Krist *et al.*, 2007; Tkacz *et al.*, 2008)。目前国内对森林生态系统健康状态的评价,一般是对某个时点评判森林是否健康。在经过评价指标选取、获取数据、评价模型计算后往往会得到一个值或几个值来反映森林的健康情况。一般预先界定健康和不健康的数值区间(鲁绍伟等, 2006; 谷建才等, 2006),然后再依据此区间对所计算出的该时点的健康值进行评判。这种评价标准简单明了,易于操作,能够发现健康的大致偏差,解释偏差的原因。但是评判区间的划分直接影响对健康状态的评价,健康等级间的区别和界线并非十分清楚,亚健康、不健康时森林的受损程度、范围应该是多少?这个问题现在难以回答。现行的主观硬性划分评价标准区间确定健康程度存在一定问题。

3 问题讨论与展望

由于对待自然生态系统的目的性和与社会关系的理解和处理不同,森林健康的评价指标都不尽相同。加之森林生态系统健康评价是个复杂的过程,所以尽管森林生态系统健康评价的研究已经取得了极大进展,但还有许多问题值得以后研究中关注。

3.1 评价指标体系问题

指标体系的建立直接影响到评价的准确性。目前关于森林生态系统健康评价案例中评价指标体系所选指标不够准确,不能充分反映森林生态系统健康内涵,且许多指标难以标准化和量化,还选取过多的社会经济指标,这是今后应着重解决的问题。可以考虑在确定评价指标体系时选择能反映森林生态系统结构、功能和过程的生态系统水平综合指标、群落水平指标、种群及个体水平指标等多尺度的生态指标来评价生态系统的健康状态,必要时还要选择

物理、化学方面的指标和社会、经济等人类健康指标以反映森林生态系统为人类提供生态服务功能的能力。而且各个同一尺度的指标之间要尽量独立,避免相互影响,防止一部分指标抵消另一部分有用指标的作用。

另外还缺少比较完善的表征森林生态系统组织及恢复力的指标。量化系统组织和恢复力还没有比较完善的指标,确定这些指标对森林生态系统健康的影响还缺少比较合理的测度方法。而且,不同尺度的森林生态系统需要不同的指标体系来评价,区域不同、森林类型不同都会导致选取关键指标和标准的差异,目前这方面的研究还很不够。

3.2 评价方法问题

确立评价指标之后就可以对森林生态系统进行健康评价,但事实上并不容易。由于评价方法的不确定性,对于同一块森林生态系统的健康程度而言,采用不同的方法计算,其评估结果差异是非常明显的。在现有的几种评价方法中,对不同方法的适用范围、准确性和一致性问题还研究不够。

目前虽然提出对活力、组织和恢复力的评价方法,但在实际中很难应用,几乎未见在森林生态系统健康评价的案例,可操作性差。为此,国内文献多使用层次分析法等综合评价方法评价森林生态系统健康状态,但评价时与评价森林可持续发展等相关问题并无本质区别,只是把评价对象换了一下。

总的来看,对指标体系测度的各项数据如何综合利用,这方面还缺少比较完善的认识,还需要研究新的评价方法来利用健康监测数据。

3.3 评价标准问题

评判标准的划分应结合森林生态系统健康的内涵进行。对森林生态系统进行健康评价的前提是承认生态系统存在健康标准,关键问题是森林生态系统处于什么状况是健康?现有方法多以原始状态或无干扰状态作为参考状态,即健康标准。不受人类干扰的状态是否就是健康状态还是一个颇有争议的问题。实际中这种不受干扰的状态也极少存在,根据历史资料确定也存在一定的难度。另外,森林生态系统本身处于动态的演替过程中,即使森林的原始状态可确定,在现有的外界环境之下是否原始的健康状态还能保持存在,也是一个不确定的问题,而且这个健康标准似乎暗示人类对森林的影响都属于负面效应。

如果找到这样的一个健康生态系统,今后可以更多考虑使用直接或间接的方法来划分森林生态系统的评价标准。1)通过检验待测生态系统与健康

生态系统之间的特征差异来直接评判待测生态系统偏离健康的程度,从而获知健康区间。2)如果承认生态系统健康的标准是一个人类标准(Ryder, 1990),那么可以把待测生态系统能够提供多少生态服务功能作为间接健康标准来进行评判。通过分别计算待测生态系统和完整生态系统的服务功能得到待测生态系统的健康状态。

3.4 评价对森林经营的指导

目前很多森林生态系统健康评价研究仅仅是对现状的评价,属于静态评价。如果没有指标的长期观测,就只反映某一时点的森林健康状况,不能判断森林生态系统健康趋势。像这样的评价用于政策指导、生态管理和健康经营、调控、反馈的作用不大。评价就是要反映森林生态系统状况和变化趋势,进行单时点评价基础上的时间序列动态研究是今后研究的重要课题。

森林健康是从森林单一目标经营体系向生态系统多功能可持续经营体系逐步发展的,是在生态伦理思想和系统性思想的支持下逐步发展的。未来森林健康评价的发展方向之一是如何将森林健康评价用于森林经营实践。解决方法之一是将森林健康评价和近自然森林经营结合,且定期进行评价以便能够及时调整森林经营方案,实现森林从单一目标经营体系向多功能可持续经营体系的彻底转变,从而缓解和解决森林健康问题。

4 结语

森林生态系统健康是个崭新的研究领域,学术界对其概念、评价理论和方法尚未达成一致意见,许多方面都处于探索阶段。但是无论从什么观点、途径或目标出发,获得森林生态系统健康的真实含义并能评价和监测,用于实践之中指导森林资源经营管理是人们所迫切需要的。虽然学者们对森林生态系统健康评价进行很多探讨,但是国内有效评价具体森林生态系统健康的案例不多见,其中还存在着许多问题有待进一步探讨。从森林生态系统健康的角度进行度量的方法和评价体系均还不系统和科学,生态系统健康状态评价仍然有许多不确定性。

森林生态系统是一个非常复杂的系统,生态系统的健康很难用目前采用的一些常用指标来概括和描述,一个实用的森林生态系统健康评价途径要结合生态系统学、健康科学和社会科学,是一个非常复杂的问题,不可能在完全知晓森林生态系统内部各指标与系统健康和人类需要内在变化机制之后才进行健康评价。目前的紧要任务是在生态伦理思想和

生态系统经营理论的指导下建立健康监测样地网络,结合我国一类森林资源调查固定样地,系统开展全国的长期健康监测,加强森林生态系统长期研究来理解森林健康机制,从理解森林胁迫因素、森林受害症状、森林生态系统结构和过程、生长环境、生态服务功能和健康等级之间的关系入手,完善评价指标体系,改进评价的手段、方法和技术,确立不同区域主要森林类型的健康标准,为调控存在健康风险的森林、保持森林健康状态、在近自然森林经营思想和森林生态经营理论指导下进行森林健康经营、实现森林生态系统的可持续发展提供理论依据和技术支持。

参 考 文 献

- 蔡晓明. 2000. 生态系统生态学. 北京: 科学出版社.
- 陈 高, 代力民, 姬兰柱, 等. 2004. 森林生态系统健康评估: I. 模式、计算方法和指标体系. 应用生态学报, 15(10): 1743-1749.
- 陈 高, 代力民, 范竹毕. 2002. 森林生态系统健康及其评估监测. 应用生态学报, 13(5): 605-610.
- 陈 高, 邓红兵, 代力民, 等. 2005. 森林生态系统健康评估: II. 案例实践. 应用生态学报, 16(1): 1-6.
- 代力民, 陈 高, 邓红兵, 等. 2004. 受干扰长白山阔叶红松林林分结构组成特征及健康距离评估. 应用生态学报, 15(10): 1750-1754.
- 甘 敬, 朱建刚, 张国祯, 等. 2007. 基于BP神经网络确立森林健康快速评价指标. 林业科学, 43(12): 1-7.
- 谷建才, 陆贵巧, 白顺江, 等. 2006. 森林健康评价指标及应用研究. 河北农业大学学报, 29(2): 68-71.
- 姬兰柱. 2004. 生态系统健康研究//李文华, 赵景柱. 生态学研究回顾与展望. 北京: 气象出版社: 453-481.
- 康博文, 刘建军, 侯 琳, 等. 2006. 延安市城市森林健康评价. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 34(10): 81-86.
- 李金良, 郑小贤. 2004. 北京地区水源涵养林健康评价指标体系的探讨. 林业资源管理(1): 31-34.
- 李 瑾, 安树青, 程晓莉, 等. 2001. 生态系统健康评价的研究进展. 植物生态学报, 25(6): 641-647.
- 鲁绍伟, 刘凤芹, 余新晓, 等. 2006. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价. 水土保持学报, 20(3): 79-82.
- 陆庆轩, 何兴元, 魏玉良, 等. 2005. 沈阳城市森林生态系统健康评价研究. 沈阳农业大学学报, 36(5): 580-584.
- 陆元昌. 2003. 森林健康状态监测技术体系综述. 世界林业研究, 16(1): 20-25.
- 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 2001. 生态系统健康评价: 方法与方向. 生态学报, 21(2): 2106-2116.
- 王彦辉, 肖文发, 张星耀. 2007. 森林健康监测与评价的国内外现状和发展趋势. 林业科学, 43(7): 78-85.
- 肖凤劲, 欧阳华. 2002. 生态系统健康及其评价指标和方法. 自然资源学报, 17(2): 203-209.
- 张秋根, 王桃云, 钟全林, 等. 2003. 森林生态环境健康评价初探. 水土保持学报, 17(5): 16-18.
- Alexander S A, Palmer C J. 1999. Forest health monitoring in the United

- States : First four years. *Environment Monitoring Assessment* , 55 (2) : 267 - 277.
- Bussotti F , Cenni E , Ferretti M , *et al.* 1995. A forest condition in Tuscany(Central Italy) : Field surveys 1987—1991. *Forestry* , 68 (1) : 11 - 24.
- Bussotti F , Cenni E , Cozzi A , *et al.* 1997. The impact of geothermal power plants on forest vegetation : A case study at Travale(Tuscany , Central Italy). *Environmental Monitoring and Assessment* , 45(2) : 181 - 194.
- Bussotti F , Gellini R , Ferretti M , *et al.* , 1992. Monitoring in 1989 of Mediterranean tree condition and nutritional status in southern Tuscany , Italy. *Forest Ecology and Management* , 51 : 81 - 93.
- Cairns J J , Pratt J R. 1993. Trends in ecotoxicology. *Science of the Total Environment* , Supplement : 7 - 22.
- Callicott J B. 2000. Aldo Leopold and the foundations of ecosystem management. *Journal of Forestry* , 98(5) : 5 - 13.
- Ciesla W M , Donabuauer E. 1994. Decline and dieback of trees and forests : A global overview. Rome : FAO.
- Constanza R , Norton B G , Haskell B D , *et al.* 1992. Ecosystem health new goals for environmental management. Washington D C : Island Press.
- Ferris-Kaan R , Patterson G. 1992. Monitoring vegetation changes in conservation management of forests (Forestry Commission Bulletin) London : HMSO.
- Innes J L. 1994. Design of an intensive monitoring system for swiss forests // Beniston M. Mountain environments in changing climates. London : Routledge , 281 - 300.
- Levesque J , King D. 2003. Spatial analysis of radiometric fractions from high-resolution multispectral imagery for modelling individual tree crown and forest canopy structure and health. *Remote Sensing of Environment* , 84 : 589 - 602.
- Kimmins J P. 1996. Importance of soil and role of ecosystem disturbance for sustained productivity of cool temper-ate and boreal forests. *Soil Sci Soc Am J* , 60 : 1643 - 1654.
- Kimmins J P. 1996. The health and integrity of forest ecosystems : are they threatened by forestry. *Ecosystem Health* , 2(1) : 5 - 18.
- Kolb T E , Wagner M R , Covington W W. 1994. Concepts of forest health : utilitarian and ecosystem perspectives. *Journal of Forestry* , 92(6) : 10 - 15.
- Krist F J , Sapio F J , Tkacz B M. 2007. Mapping risk from forest insects and diseases. Washington : USDA Department of Agriculture , Forest Service , 115.
- Lepold A. 1941. Wilderness as land laboratory. *Living Wilderness* , 6 : 3.
- Mageau M T , Constanaza R , Ulanowicz R E. 1995. The development and initial testing of a quantitative assessment of ecosystem heal // Rapport D J , Calow P , Gauder C. Evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystem. New York : Springer-verlag.
- Marco F. 1997. Forest health assessment and monitoring-issue or consideration. *Environmental Monitoring and Assessment* , 48 : 45 - 72.
- Mueller-Dombois D. 1992. A natural dieback theory , cohort senescence as an alternative to the decline disease theory // Manion P D , Lachance D. Forest decline concepts. St Paul , Minnesota : APS Press , 26 - 37.
- Muir P S , McCune B. 1987. Index construction for foliar symptoms of air pollution injury. *Plant Disease* , 71(6) : 558 - 565.
- O ' -Laughlin J , Livingston R L , Their R , *et al.* 1993. Defining and measuring forest health. *Journal of Sustainable Forestry* , 2 : 65 - 85.
- O ' -Laughlin J. 1996. Forest ecosystem health assessment issues : Definition , measurement , and management implications. *Ecosyst Health* , 2(1) : 19 - 39.
- Olthof I , King D J. 2000. Development of a forest health index using multispectral airborne digital camera imagery. *Canadian Journal of Remote Sensing* , 26(3) : 166 - 176.
- Rapport D J , Gauder C L , Calow P. 1995. Evaluating and monitoring the health of large-scale ecosystem. Berlin : Springer-Verlag.
- Rapport D J. 1989. What constitutes ecosystem health. *Perspectives in Biology and Medicine* , 33 : 120 - 132.
- Rapport D J , Costanza R , McMichael A J. 1998. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution* , 13(10) : 397.
- Rapport D J. 1998. Ecosystem health. Oxford : Blackwell Science Inc.
- Ryder R A. 1990. Ecosystem health , a human perception : Definition , detection , and the dichotomous key. *Journal of Great Lakes Research* , 16(4) : 619 - 624.
- Schaeffer D J , Henricks E E , Kerster H W. 1988. Ecosystem health : I. Measuring ecosystem health. *Environmental Management* , 12(4) : 445 - 455.
- Schlaepfer R. 1993. Long-term implications of climate change and air pollution on forest ecosystems. Vienna : IUFRO.
- Steedman R J. 1994. Ecosystem health as a management goal. *Journal of the North American Benthological Society* , 13(4) : 605 - 610.
- Tkacz B , Moody B , Castillo J V , *et al.* 2008. Forest health conditions in North America. *Environmental Pollution* , 155(3) : 409 - 425.

(责任编辑 郭广荣)