

国内外森林健康评价指标体系综述

沈剑波^{1,2}, 雷相东², 舒清态¹, 张会儒²

1. 西南林业大学林学院, 昆明 650224
2. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091

摘要 森林健康评价是当前国内外的热点问题, 已成为国内外森林状况评估和森林资源管理的重要手段, 但目前森林健康评价指标体系差别较大。对森林健康评价指标的种类和频度进行分析和讨论, 发现国外森林健康评价指标主要集中于生态系统本身的属性且相对稳定, 国内评价指标则涵盖自然和社会经济等多个方面。与国外相比, 国内森林健康指标过多、过泛, 部分指标可操作性差, 含义不清。需要制定统一和标准的森林健康评价指标, 每个指标的阈值可因地域、经营目标、森林类型各异。

关键词 森林健康; 评价指标; 林分尺度; 景观/区域尺度

中图分类号 S757.3

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.33.012

Review on Forest Health Evaluation Index System

SHEN Jianbo^{1,2}, LEI Xiangdong², SHU Qingtai¹, ZHANG Huiru²

1. Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming 650224, Yunnan Province, China
2. Institute of Forest Resource Information Techniques, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract Forest health assessment is currently a hot research issue both at home and abroad, for the evaluations of forest conditions and forest resource management. However, there are various forest health evaluation index standards in use. The paper analyzes the types and frequencies of forest health evaluation indexes based on a literature review. Results show that the indexes used abroad are mainly related with the inherent characteristics of forest ecosystems, while, the indexes used in China cover both natural and socioeconomic aspects and are much more numerous as compared to those in international uses. Some evaluation indexes are not workable and their definitions are not very clear. A uniform and standard forest health evaluation index system should be developed, and the corresponding thresholds can vary with different regions, forest management objectives and forest types. This study provides a reference for the development of a forest health evaluation index system in China.

Keywords forest health; evaluation index; stand level; landscape/region level

0 引言

可持续森林经营已经成为全球共同的准则, 而森林健康是其中的一项重要标准和指标。森林健康研究最早出现于 20 世纪 60 年代, 并已经成为林业的一个新方向。森林健康评估理论和技术方法是环境和生态系统科学领域在 21 世纪最重要和紧迫的研究课题之一; 同时, 它又作为众多相关学科交叉融合的平台, 服务于森林可持续经营和区域可持续发展^[1-3]。近年来, 国内外针对森林健康的概念、评价指标和方法、经营技

术等开展了大量的研究^[2-6]。森林健康评价指标体系是对森林健康进行评价的度量依据, 有了完整科学的评价指标体系, 才能依据森林健康评价指标对森林健康状况做出全面、科学的诊断和评价^[7]。但由于对森林健康概念的理解和认识差异以及森林类型、经营管理目的等不同, 森林生态系统健康评价指标也各不相同。本文采用文献分析方法对近些年国内外森林健康指标进行分析评价, 为制定统一的森林健康评价指标提供参考和依据。

收稿日期: 2011-10-19; 修回日期: 2011-11-04

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201004002)

作者简介: 沈剑波, 硕士研究生, 研究方向为地理信息系统及森林健康评价, 电子邮箱: lyshenjianbo@163.com; 雷相东(通信作者), 研究员, 研究方向为森林生长模型与模拟, 电子邮箱: xdlei@caf.ac.cn

1 森林健康的概念

森林健康评价指标体系与人们对森林健康的定义密切相关。森林健康概念基本上来自 3 种途径,即认识森林健康问题的 3 种出发点:一是面向目标途径;二是面向生态系统途径;三是平衡二者的综合考虑。

森林健康从目标途径上可定义为生物和非生物因素并威胁不到森林现在或将来的管理目标的状态,健康的森林远离损害管理目标的因素,使土地所有者获得最优化地达到管理目标机会的一种状态。森林健康面向生态系统途径上的定义是强调产生和维持森林的生态状况,从而潜在地满足一系列多样目标的基础性生态学过程。该定义使用了具体的生态系统研究术语,试图运用表征系统属性或特征的某一方面(包括具有完全功能性、生态整合性、平衡和恢复力等)来反映森林复杂的内在联系,诠释森林健康的含义。森林健康从综合途径的定义为可持续到未来的一种状态,森林向人类提供需要并维持自身复杂性的一种状态^[2]。森林健康的概念反映了人们经营森林的价值观的变化,即从木材生产到生态功能再到森林的多功能利用。

2 森林健康评价指标论文数据来源

本文数据来自《中国知识资源总库——CNKI 系列数据库》、《维普资讯》、《万方数据》及外文数据库 Science Direct, 时间为 1989—2010 年。以“森林健康”为关键词进行搜索,并在此基础上把明确含有指标体系的文献筛选出来。源刊物包括《林业科学》、《世界林业研究》、《水土保持通报》、《西北林学院学报》、《中国农学通报》、《中南林业科技大学学报》、《生态环境学报》、《西北农林科技大学学报》(自然科学版)、《应用生态学报》、《西南科技大学学报》、《湖南农业大学学报》等。

3 结果与讨论

3.1 国内发表论文统计

以森林健康为检索词,检索出具有明确森林健康指标体系的中文文献 60 篇(含硕士学位论文 18 篇,博士论文 6 篇),见图 1。

1989—2003 年没有这方面的文献,这表明森林健康评估

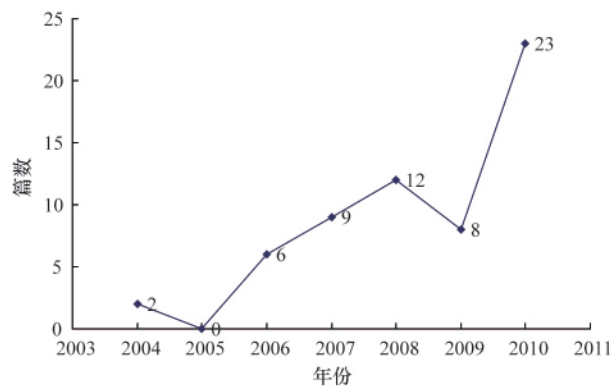


图 1 1989—2010 年具有森林健康明确指标论文数统计
Fig. 1 Statistics of the number of papers with explicit forest health indexes during 1989—2010

注:1989—2003 年相关论文数为 0。

Note: The number of papers with explicit forest health is 0 during 1989—2003.

指标还没有引起人们的重视;2006 年以后,具有明确森林健康指标体系论文呈直线上升趋势,2006—2010 年论文数占 1989—2010 年论文总篇数的 96.7%,森林健康评价成为研究热点。森林健康评价研究涉及的地区包括华北、华南、华中、西南;森林类型包括针叶林、阔叶林等。

3.2 不同尺度的森林健康评价指标分析

森林健康可从单木、林分、景观/区域及全球等层次进行评价。本文只对林分、景观/区域层次的森林健康评价指标进行统计和分析。

3.2.1 林分尺度

对林分尺度层次的评价指标进行统计,共得到指标 153 个,将这些指标大致归为生物多样性、林分结构复杂性、生产力、有害因子发生程度、树木/树冠生命力/活力、更新能力、土壤质量、产品和服务、社会因素、立地条件 10 个大类,并列出了所有文献中出现的指标(表 1)^[8-26]。可以发现,虽然许多指标在表述上略有差异,但本质上是同一个指标,如草本植物多样性、草本物种多样性等。另外,一些指标过于笼统,容易引起歧义,缺乏定量性和可操作性,如社会因素方面的指标。

表 1 林分尺度层次的森林健康指标
Table 1 Forest health indexes

指标类	指标
生物多样性	(1)物种多样性;(2)树种;(3)灌木物种多样性指数;(4)草本物种多样性指数;(5)群落多样性;(6)生态系统多样性;(7)多样性指标;(8)乔木多样性;(9)灌木多样性;(10)草本植物多样性;(11)林下植物树种多样性;(12)乔木树种多样性;(13)植物多样性;(14)物种丰富度;(15)植被类型;(16)Shannon-Wiener 指数;(17)乔木物种丰富度;(18)灌木丰富度;(19)草本植物物种丰富度;(20)乔木树种组成;(21)多样性生境;(22)乔木均匀度;(23)灌木均匀度;(24)草本植物均匀度;(25)均匀度指数;(26)Pielou 指数;(27)森林类型
林分结构复杂性	(1)群落层次结构;(2)林分层次结构;(3)乔木垂直层次结构复杂性;(4)林分垂直结构;(5)群落垂直结构复杂性;(6)林分结构复杂性;(7)群落结构;(8)森林组成与结构;(9)林分郁闭度;(10)乔木郁闭度;(11)郁闭度;(12)林分年龄结构;(13)林分起源;(14)对地面的覆盖程度;(15)植被总盖度;(16)灌木盖度;(17)草本盖度;(18)盖度;(19)径阶分布;(20)乔木层密度;(21)林分密度;(22)亩株数;(23)近自然度

表 1 林分尺度层次的森林健康指标
Table 1 Forest health indexes at stand level

(续表 1)

指标类	指标
生产力	(1)林分生物量;(2)植物生物量;(3)单位面积生物量;(4)灌草生物量;(5)叶面积指数;(6)单位面积蓄积量;(7)林分蓄积量;(8)单位面积产果量;(9)平均胸径;(10)平均树高;(11)平均冠幅
有害因子发生程度	(1)森林病虫害程度;(2)抗病虫害指标;(3)森林火险等级;(4)易燃度;(5)火干扰强度;(6)森林防火指标;(7)森林抗灾等级;(8)其他灾害发生程度;(9)生态脆弱性指标;(10)森林抗逆性;(11)风倒木株数;(12)雷击木株数
树木/树冠生命力/活力	(1)林分受损程度;(2)根部受损度;(3)生长量;(4)树木生长势;(5)树高生长量;(6)胸径生长量;(7)森林材积生长量;(8)平均枝下高;(9)冠层落叶度;(10)树冠密度;(11)树冠透视度;(12)树冠重迭度;(13)树冠层比重;(14)树冠枯梢比重;(15)枯梢比例
更新能力	(1)林地更新状况;(2)更新幼树数量;(3)更新幼树株数;(4)更新幼苗株数;(5)幼苗更新密度;(6)演替幼树数量
土壤质量	(1)土壤厚度;(2)土壤侵蚀程度;(3)土壤有机质;(4)土壤肥力保持;(5)土壤容重;(6)土壤含水量;(7)土壤 pH 值;(8)土壤含氮;(9)土壤含磷;(10)土壤含钾;(11)土壤肥力;(12)速效钾;(13)枯落物厚度;(14)年凋落物量;(15)腐殖质厚度;(16)枯落物盖度;(17)凋落物状况
产品和服务	(1)固定 CO ₂ ;(2)释放氧气;(3)调节气候;(4)吸收 SO ₂ 等有害气体;(5)滞尘;(6)减弱噪声;(7)灭杀病菌;(8)减轻泥沙淤积;(9)涵养水源;(10)水土保持量;(11)控制水土流失;(12)提供景观与游憩地;(13)休闲、旅游;(14)油料经济价值;(15)木制产品;(16)非木质产品;(17)木材经济价值;(18)投入产出比;(19)景观美学价值
社会因素	(1)经济政策;(2)法规制度建设;(3)林业政策;(4)当地村规民约;(5)经营机制;(6)营林措施;(7)经营水平;(8)森林经营规划;(9)森林保护技术;(10)营造林技术;(11)社会重视程度;(12)社会参与系统;(13)社区参与过程;(14)社区利益分配;(15)地位指数;(16)化学防治;(17)当地传统知识
立地条件	(1)年平均气温;(2)年降水量;(3)日照时数;(4)坡向;(5)坡度;(6)海拔

因此,指标需要明确规范的含义。

图 2 列出了文献中出现 5 次及 5 次以上的指标。可以看出,林分尺度层次的森林健康中出现次数在前 6 位的评价指标分别为森林病虫害程度、林分郁闭度、林分年龄结构、土壤厚度、森林火险等级和土壤有机质,可见出现最多的是森林病虫害程度。实际上森林病虫害和火灾可以直接造成林分的毁灭,是林分层次森林健康的公认指标;而林分郁闭度和林分年龄结构与林分质量直接相关;土壤作为林木生长的物质基础,也被列为比较重要的指标。此外,林分结构、多样性、生产力也是公认的林分健康评价指标。

3.2.2 景观/区域尺度

目前关于景观/区域尺度层次的森林健康的研究较多,通过统计 1989—2010 年的文献(共 41 篇),得出 346 个森林健康评价指标^[27-67]。实际上,对景观/区域尺度的森林健康评价,一种是基于多个林分,如肖智慧和叶金盛^[8]对广东省森林健康评估的研究;另一种是基于景观要素类型进行评价,如余新晓等^[2]对北京山区森林健康评价中提出了分形维数、景观多样性、小班健康分级指数、病虫害程度 4 个具体指标。

因为景观/区域尺度的森林健康评价涉及的指标太多,且部分指标与林分层次相同,表 2 仅列出了与表 1 不同的指标。可以看出,在景观/区域尺度层次出现了大量与社会因素有关的指标,森林健康的内涵非常宽泛。另外,由于部分森林健康指标过于宽泛,例如社会、科技、政策法规、教育、区域环境、国家环境、学术环境、政治影响等,需要进一步分解为更具体和易量化的指标。

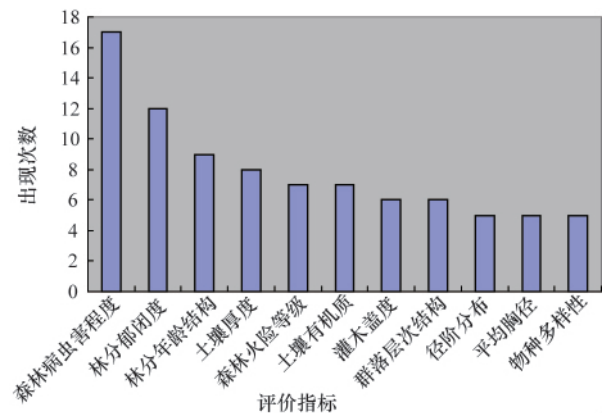


图 2 林分尺度评价指标出现次数
Fig. 2 Occurrence times of stand-level assessment indexes

在景观/区域尺度层次出现次数在前 6 位的森林健康评价指标依次为森林病虫害程度、郁闭度、物种多样性、森林火险等级、林龄结构、灌木盖度、草本盖度,可见森林病虫害程度指标是出现次数最多的指标(图 3)。

3.3 一级指标

一级指标即进行指标分类时的第 1 层次,也叫指标类别,它决定着下一级的具体指标。对含有一级指标的中文文献进行分析,发现以活力、结构、抗干扰能力为一级指标的分类方法最多(5 次),自然要素、社会要素、经济要素为一级指标的分类方法次之(3 次)^[25, 38, 49, 52-53, 55, 64, 67]。由于作者的分类观点不一致,从而使分类方法很不统一。

表 2 景观/区域尺度层次的森林健康指标
Table 2 Forest health indexes at landscape/region level

指标类	指标
生物多样性	(1)天然林比重;(2)林种结构;(3)树种结构;(4)乔木层中 K-对策种比例;(5)乔木层中乡土种比例;(6)生长健康结构;(7)生态林面积比;(8)景观多样性;(9)昆虫物种多样性;(10)昆虫物种丰富度;(11)昆虫 shannon 多样性指数;(12)大型土壤动物的种类和数量;(13)昆虫丰富度指数;(14)各类群生物种类和数量;(15)自然保护林比例;(16)成熟林面积比例;(17)游憩林面积比;(18)生境多样性
结构复杂性	(1)景观破碎度;(2)景观廊道密度;(3)景观格局;(4)林龄结构
生产力	(1)生物量;(2)净初级生产力;(3)生产力;(4)单位面积的净第一性生产量;(5)林地利用率;(6)林地质量;(7)年森林消长比例;(8)健康度;(9)生长范围
有害因子发生程度	(1)污染物降解和防治病虫害;(2)人为干扰程度;(3)胁迫程度;(4)生态环境胁迫;(5)对自然和人为干扰的抵抗力;(6)自然和人为干扰的恢复率;(7)其他干扰活动强度;(8)酸雨频率;(9)动物的食物来源
树木/树冠生命力/活力	(1)目标或骨干树种年生长量;(2)年生长率;(3)树高年生长量;(4)胸径年生长量;(5)死亡率;(6)生长率与死亡率之比;(7)单位面积森林生长量;(8)生长状况;(9)林分生长状况;(10)林冠结构;(11)冠幅;(12)活力;(13)恢复力;(14)抵抗力;(15)森林质量;(16)森林适应性;(17)稳定性指标;(18)枯立木、倒木比例;(19)光合速率;(20)呼吸速率;(21)长势;(22)最大可承受胁迫程度/恢复时间
土壤质量	(1)土壤水分;(2)凋落物重量;(3)有机质的含量;(4)地类;(5)土壤状况;(6)土壤组分;(7)土壤类型;(8)土壤质地;(9)土壤结构;(10)土壤孔隙状况;(11)土壤化学组分;(12)土壤物理状况;(13)土壤侵蚀等级;(14)土壤形成和改良;(15)物理指标;(16)化学指标;(17)渗透性指标;(18)养分循环指标;(19)养分循环和积累;(20)肥料
产品和服务	(1)森林覆盖率;(2)直接价值;(3)间接价值;(4)人文价值;(5)景观结构;(6)景观特征指标;(7)风景林比例;(8)生态服务功能;(9)碳储量;(10)森林水土保持功能;(11)水土保持作用指标;(12)防风固沙及荒漠化防治能力;(13)蓄水功能;(14)人居环境;(15)人均公园绿地面积;(16)人均公共绿地面积;(17)人均公园面积;(18)人均森林占有量;(19)人体舒适度;(20)人均资源;(21)景观色彩丰富度;(22)游憩价值;(23)生态旅游;(24)森林改良小气候指标;(25)调节气候;(26)CO ₂ 吸收;(27)节能功能;(28)滞尘降尘;(29)负离子含量;(30)降温效应指数;(31)碳氧平衡指数;(32)珍稀保护物种的种类和数量;(33)观赏度;(34)木质产品生产能力;(35)非木质产品生产能力;(36)动物避难所和栖息地;(37)林业总产值;(38)防护林公益效益指标;(39)文化休闲娱乐;(40)林产品收获;(41)净化空气;(42)释放有益空气;(43)特殊栖息地生境的存在;(44)不同食物链级别存在的生境;(45)气体交换;(46)光资源的利用;(47)森林资源提供;(48)科教文化价值;(49)自然保护区
社会因素	(1)社会;(2)社会经济效益;(3)社会参与能力;(4)森林社会价值;(5)林业产业经济比重;(6)林业经济增长率;(7)科技;(8)专业技术人员比例;(9)技术投入;(10)建设与维护投资效益;(11)砍伐采挖;(12)森林采伐;(13)绿化率;(14)绿化覆盖率;(15)立体绿化率;(16)道路绿化普及率;(17)规模以上公园绿化率;(18)森林资源与布局;(19)森林安全;(20)农业水利的生态安全;(21)退化控制与恢复重建;(22)物种与遗传保护;(23)自然保护区数量;(24)生态保护;(25)人口密度;(26)人口自然增长率;(27)人均寿命;(28)人员;(29)相关政策支持性指标;(30)政策法规;(31)产权明晰度;(32)政策完善度;(33)生态文化建设;(34)自然景观与特色文化结合度;(35)景观游憩吸引力;(36)旅游影响;(37)旅游者数量;(38)林农参与度;(39)林农收入水平;(40)封育改造;(41)古树名木保护度;(42)遗产价值;(43)森林保护;(44)美学价值;(45)珍稀性;(46)监测管理水平;(47)养护管理水平;(48)政府经费投入;(49)林业资金;(50)资金投入;(51)生态效益补偿金;(52)公民义务植树尽责率;(53)对城市森林知晓率;(54)教育;(55)对建设森林城市支持率;(56)居民投资意愿接近度;(57)城市化水平;(58)典型代表性;(59)养管度;(60)公众环境意识指标;(61)土地利用变化指标;(62)人力投入;(63)物力投入;(64)财力投入;(65)人口动态;(66)当地人的健康状况;(67)当地人的认识程度;(68)学术界的认识程度;(69)一般民众的认识水平;(70)法律有效性和执行情况;(71)区域环境;(72)国家环境;(73)学术环境;(74)政治影响
立地条件	(1)年均降水;(2)污染程度;(3)水质污染综合指数;(4)大气污染物清除;(5)林内林外温度差值;(6)林内林外湿度差值;(7)有效积温;(8)群落小气候;(9)立地气候条件;(10)生物气候条件;(11)森林立地条件;(12)地理位置;(13)坡位;(14)嵌块体平均面积;(15)大气组分;(16)年降雨量;(17)年平均相对湿度;(18)日照时数;(19)太阳辐射总量;(20)动物栖息地环境
其他	(1)正常生长需辅助水量;(2)农药;(3)对农田系统影响;(4)对水体系统的影响;(5)对城镇系统的影响;(6)森林资源提供;(7)选择价值;(8)存在价值

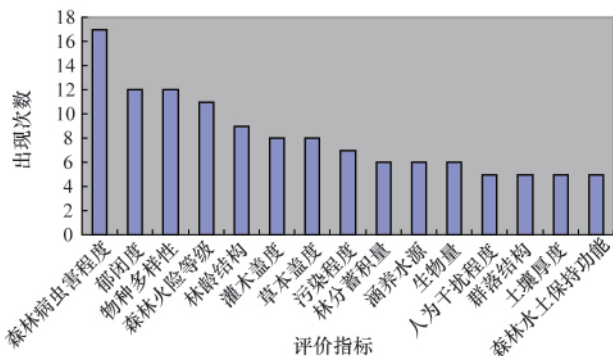


图3 景观/区域尺度评价指标出现次数

Fig. 3 Occurrence times of assessment indexes at landscape/region level

4 国外森林健康评价指标统计与分析

对国外森林健康文献^[68-91]进行分析,发现明确提出森林健康评价指标的文献有24篇,共提出指标约35个。文献所提到的地区涉及北美、欧洲等,森林健康评价主要来自国家或区域尺度森林可持续经营标准与指标中的“森林健康与活力”、联合国粮食及农业组织(FAO)的《世界森林状况》报告、欧洲的空气污染对森林影响的评价和监测项目及美国的森林健康调查等。本文只对出现3次和3次以上的森林健康评价指标进行了统计(图4)。

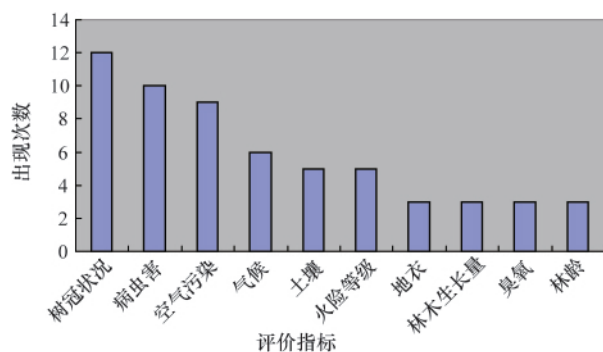


图4 国外文献森林健康评价指标统计

Fig. 4 Statistics of forest health assessment indexes in international publications

在国外森林健康评价指标中,出现次数排在前10位的依次是树冠状况、病虫害、空气污染、气候、土壤、火险等级、地衣、树木生长量、臭氧、林龄。与国内不同,在国外森林健康评价指标中出现次数最多的是树冠状况,排在第1位。病虫害是中文文献和英文文献中均有的森林健康评价指标,在国外文献中排在了第2位。在国内文献和国外文献中森林病虫害和森林火险等级出现次数均在前6位,可见病虫害和森林火险等级是国内外公认的重要森林健康评价指标。大量事实也表明,森林病虫害和森林火险等级对森林健康有着重要影响。但可以看出,国外森林健康评价指标主要集中于森林生态系统本身。

5 结论

(1) 近5年来,森林健康评价指标体系逐渐成为国内森林健康研究的热点。

(2) 国外森林健康评价指标主要集中于生态系统本身的属性且相对稳定;国内评价指标则涵盖自然、社会经济等多个方面。与国外相比,国内森林健康指标过多、过泛,目前还没有统一的标准,这也反映了人们对森林健康内涵认识的差异。但病虫害是公认的指标。

(3) 森林健康评价指标名称不同但实质是同一个指标即“异名同义”大量存在。例如“树种结构”与“树种组成”实际上指的是同一个指标,但是在不同文献中的名称却不尽相同。同时也存在指标名称相同,但在不同文献中的内涵却不尽相同的现象。

(4) 个别指标评价过于笼统或者实际操作性太差,难以获取评价数据或评价难度太大,例如涵养水源、控制水土流失等指标。

(5) 需要制定一个标准统一、含义明确的指标体系来对森林健康状况进行全面、客观的评价。森林健康评价指标体系应该一致,而每个指标的阈值可因地域、经营目标、森林类型的不同而进行调整。

参考文献 (References)

- [1] 肖风劲, 欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 203-209.
Xiao Fengjin, Ouyang Hua. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2): 203-209.
- [2] 余新晓, 甘敬, 李金海, 等. 森林健康评价, 检测与预警[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
Yu Xinxiao, Gan Jing, Li Jinhai, et al. *Forest health evaluation, monitoring and pre-warning*[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [3] 雷静品, 肖文发. 森林健康的概念及其研究与实践 [J]. 世界林业研究, 2008, 21(4): 20-24.
Lei Jingpin, Xiao Wenfa. *World Forestry Research*, 2008, 21(4): 20-24.
- [4] 陆元昌. 森林健康状态监测技术体系综述[J]. 世界林业研究, 2003, 16(1): 20-25.
Lu Yuanchang. *World Forestry Research*, 2003, 16(1): 20-25.
- [5] 王彦辉, 肖文发, 张星耀. 森林健康监测与评价的国内外现状和发展趋势[J]. 林业科学, 2007, 43(7): 78-85.
Wang Yanhui, Xiao Wenfa, Zhang Xingyao. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(7): 78-85.
- [6] 彭祚登, 王小平, 安永兴, 等. 北京森林健康经营实践及其借鉴作用[J]. 林业科技开发, 2009, 23(1): 1-4.
Peng Zuodeng, Wang Xiaoping, An Yongxing, et al. *China Forestry Science and Technology*, 2009, 23(1): 1-4.
- [7] 王兵, 郭浩, 王燕, 等. 森林生态系统健康评估研究进展 [J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(3): 114-121.
Wang Bing, Guo Hao, Wang Yan, et al. *Science of Soil and Water Conservation*, 2007, 5(3): 114-121.
- [8] 章伶俐, 刘义, 李景文, 等. 北京地区蒙古栎林生态系统健康评价指标体系研究[J]. 林业资源管理, 2009(1): 54-59.
Zhang Lingli, Liu Yi, Li Jingwen, et al. *Forest Resources Management*,

- 2009(1): 54-59.
- [9] 马志林, 陈丽华, 于显威, 等. 北京西山地区不同林分健康状况比较研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(3): 646-651.
Ma Zhilin, Chen Lihua, Yu Xianwei, et al. *Ecology and Environmental Sciences*, 2010, 19(3): 646-651.
- [10] 彭祚登, 张峰, 安永兴, 等. 北京西山地区侧柏人工林健康经营效果研究[J]. 河北林果研究, 2010, 25(1): 22-25.
Peng Zuodeng, Zhang Feng, An Yongxing, et al. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2010, 25(1): 22-25.
- [11] 程志楚, 曹迎春. 国家森林资源连续清查森林健康监测方法的探讨[J]. 河北林果研究, 2008, 23(2): 142-145.
Cheng Zhichu, Cao Yingchun. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 2008, 23(2): 142-145.
- [12] 甘敬, 朱建刚, 张国祯, 等. 基于BP神经网络确立森林健康快速评价指标[J]. 林业科学, 2007, 43(12): 1-7.
Gan Jing, Zhu Jiangang, Zhang Guozhen, et al. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(12): 1-7.
- [13] 周早弘. 油料林森林健康评价指标体系的研究 [J]. 湖南农业科学, 2009(2): 114-117.
Zhou Zaohong. *Hunan Agricultural Sciences*, 2009(2): 114-117.
- [14] 彭祚登, 张峰, 安永兴, 等. 复合结构功能指标法在人工林健康评价中的应用[J]. 西南林学院学报, 2010, 30(3): 28-33.
Peng Zuodeng, Zhangfeng, An Yongxing, et al. *Journal of Southwest Forestry College*, 2010, 30(3): 28-33.
- [15] 严尚凯, 赵忠, 宋西德, 等. 黄土高原渭北地区油松林健康评价研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(5): 7-11.
Yan Shangkai, Zhao Zhong, Song Xide, et al. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(5): 7-11.
- [16] 刘恩田, 赵忠, 宋西德, 等. 渭北黄土高原刺槐林健康评价指标体系的构建 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38 (10): 67-75.
Liu Entian, Zhao Zhong, Song Xide, et al. *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2010, 38(10): 67-75.
- [17] 刘红娟, 刘君昂, 郭亮, 等. 油茶林健康评价指标体系构建初探[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(4): 67-71.
Liu Hongjuan, Liu Jun'ang, Guo Liang, et al. *Journal of Northwest Forestry University*, 2010, 25(4): 67-71.
- [18] 谷勇, 周榕, 陈芳, 等. 丽江村森林健康评价指标[C]//第十届中国科协年会论文集(二). 郑州, 2008: 1671-1675.
Gu Yong, Zhou Rong, Chen Fang, et al. The forest health assessment indicators of Lijiang [C]//The Proceedings of the Annual Meeting of China Association for Science and Technology (II). Zhengzhou, 2008: 1671-1675.
- [19] 严尚凯. 渭北黄土高原油松林健康评价及调控研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
Yan Shangkai. Study on the health assessment and control mechanism of *Pinus tabulaeformis* forest on Weibei of Loess Plateau [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2010.
- [20] 闫淑英. 寒温带杜香-兴安落叶松林健康评价研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
Yan Shuying. Study on health assessment of *Ledum-Larix gmelinii* in cold-temperate zone [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.
- [21] 张仁. 内蒙古大青山白桦林健康评价研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
Zhang Ren. The health assessment of white birch forest in Daqing Mountain of Inner Mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2010.
- [22] 张晶晶. 渭北黄土高原刺槐林健康评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010.
Zhang Jingjing. Health assessment of *Robinia pseudoacacia* plantation in Weibei Loess Plateau [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2010.
- [23] 王忠春. 林分级森林健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
Wang Zhongchun. Forest health assessment at stand scale [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [24] 张峰. 北京山区风景游憩林健康经营效果评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
Zhang Feng. Assessment of scenic and recreational forest health management effect in Beijing mountainous area [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.
- [25] 王雄宾. 八达岭油松林生态系统健康评价及调控研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2007.
Wang Xiongbin. Study on the forest ecosystem health assessment and control mechanism of *Pinus tabulaeformis* forest in Badaling [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2007.
- [26] 李冰. 大兴安岭兴安落叶松林健康评价研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
Li Bing. Research on forest health evaluation of *Larix gmelini* in the Great Xing'an Mountains [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2009.
- [27] 高志亮, 余新晓, 陈国亮, 等. 北京市八达岭林场森林健康评价研究 [J]. 林业资源管理, 2008(4): 78-82.
Gao Zhiliang, Yu Xinxiao, Chen Guoliang, et al. *Forest Resources Management*, 2008(4): 78-82.
- [28] 鲁绍伟, 刘凤芹, 余新晓, 等. 北京市八达岭林场森林生态系统健康性评价[J]. 水土保持学报, 2006, 20(3): 79-82.
Lu Shaowei, Liu Fengqin, Yu Xinxiao, et al. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 79-82.
- [29] 李富程, 王青, 张黎. 防护林健康评价指标体系研究 [J]. 西南科技大学学报, 2009, 24(2): 59-64.
Li Fucheng, Wang Qing, Zhang Li. *Journal of Southwest University of Science and Technology*, 2009, 24(2): 59-64.
- [30] 肖风劲, 欧阳华, 孙江华, 等. 森林生态系统健康评价指标与方法[J]. 林业资源管理, 2004(1): 27-30.
Xiao Fengjin, Ouyang hua, Sun Jianghua, et al. *Forest Resources Management*, 2004(1): 27-30.
- [31] 杨学民, 杨瑞卿, 张慧, 等. 徐州市城郊森林生态系统健康评价及管理对策[J]. 中国城市林业, 2007, 5(1): 39-41.
Yang Xuemin, Yang Ruiqing, Zhang Hui, et al. *Journal of Chinese Urban Forestry*, 2007, 5(1): 39-41.
- [32] 信小娟, 李玉成. 大兴安岭东部林区森林健康状况评价初探[J]. 黑龙江生态工程职业学院学报, 2009, 22(2): 35-36.
Xin Xiaojuan, Li Yucheng. *Journal of Heilongjiang Vocational Institute of Ecological Engineering*, 2009, 22(2): 35-36.
- [33] 武巧英, 陈丽华, 于景金, 等. 北京鹫峰国家森林公园健康评价研究 [J]. 中国农学通报, 2010, 26(12): 90-93.
Wu Qiaoying, Chen Lihua, Yu Jingjin, et al. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(12): 90-93.
- [34] 王庆贵, 邢亚娟, 单延龙, 等. 城市行道树健康评价技术规程[S]. 哈尔滨: 黑龙江质量技术监督局, 2008.
Wang Qinggui, Xing Yajuan, Shan Yanlong, et al. Health evaluation

- techniques of urban street trees [S]. Harbin: Heilongjiang Bureau of Quality and Technology Supervision, 2008.
- [35] 杨怀, 戴慧堂, 刘丹, 等. 鸡公山自然保护区森林生态系统健康性评价初探[J]. 现代农业科技, 2010(10): 187-188.
Yang Huai, Dai Huitang, Liu Dan, et al. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2010(10): 187-188.
- [36] 张仁, 安慧君, 张翠霞. 内蒙古大青山森林健康评价指标体系的构建与初步应用研究[J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2010, 31(2): 48-52.
Zhang Ren, An Huijun, Zhang Cuixia. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition*, 2010, 31(2): 48-52.
- [37] 马志林, 陈丽华, 于显威, 等. 浅析生态系统健康理论在森林健康研究中的应用[J]. 浙江林业科技, 2010, 30(1): 89-93.
Ma Zhilin, Chen Lihua, Yu Xianwei, et al. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2010, 30(1): 89-93.
- [38] 陈高, 代力民, 姬兰柱, 等. 森林生态系统健康评估 I. 模式, 计算方法和指标体系[J]. 应用生态学报, 2004, 15(10): 1743-1749.
Chen Gao, Dai Limin, Ji Lanzhu, et al. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(10): 1743-1749.
- [39] 甘敬, 张振明, 余新晓, 等. 森林健康监测与评价研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(3): 177-180.
Gan Jing, Zhang Zhenming, Yu Xinxiao, et al. *Research of Soil and Water Conservation*, 2006, 13(3): 177-180.
- [40] 周立江. 森林健康内涵及评价指标探讨 [J]. 四川林业科技, 2008, 29(1): 27-30.
Zhou Lijiang. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2008, 29(1): 27-30.
- [41] 谷建才, 陆贵巧, 白顺江, 等. 森林健康评价指标及应用研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(2): 68-71.
Gu Jiancai, Lu Guiqiao, Bai Shunjiang, et al. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2006, 29(2): 68-71.
- [42] 范敏锐, 吕锡芝, 余新晓, 等. 森林生态系统健康快速评价研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(3): 196-200.
Fan Minrui, Lu Xizhi, Yu Xinxiao, et al. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(3): 196-200.
- [43] 马志林, 陈丽华, 于显威, 等. 森林生态系统健康评估模式分析与构建[J]. 内蒙古农业大学学报, 2009, 30(3): 264-270.
Ma Zhilin, Chen Lihua, Yu Xianwei, et al. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2009, 30(3): 264-270.
- [44] 李静锐, 张振明, 罗凯. 森林生态系统健康评价指标体系的建立[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 173-175.
Li Jingrui, Zhang Zhenming, Luo Kai. *Research of Soil and Water Conservation*, 2007, 14(3): 173-175.
- [45] 聂力. 虞山森林生态系统健康诊断思考 [J]. 林业调查规划, 2008, 33(3): 92-95.
Nie Li. *Forest Inventory and Planning*, 2008, 33(3): 92-95.
- [46] 赵小亮, 周国娜, 高宝嘉, 等. 主成分分析法在承德县森林生态系统健康评价中的应用[J]. 中国农学通报, 2008, 24(6): 400-403.
Zhao Xiaoliang, Zhou Guona, Gao Baojia, et al. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(6): 400-403.
- [47] 谭三清, 张贵. 基于模糊综合评判法的城市森林健康评价[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(4): 474-477.
Tan Sanqing, Zhang Gui. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 2010, 36(4): 474-477.
- [48] 杨媛媛, 曹源烈, 欧阳助志, 等. 信丰国家森林公园健康示范区生态公益林健康经营评价 [J]. 江西农业大学学报: 自然科学版, 2010, 32(4): 783-790.
Yang Yuanyuan, Cao Yuanlie, Ouyang Xunzhi, et al. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis: Natural Sciences Edition*, 2010, 32(4): 783-790.
- [49] 张佳音. 木兰围场北沟林场森林生态系统健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
Zhang Jiayin. Assessment on forest ecosystem health of North Valley Forest Farm in Weichang Country [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [50] 张桓. 华北地区自然保护区森林健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
Zhang Huan. Study on forest health assessment for nature reserve in Northern China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [51] 任德智. 宜君县哭泉林场森林资源健康评价研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
Ren Dezhi. A study on health assessment of regional forest resources in Kuquan State Forest Farm of Yijun Country [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2007.
- [52] 阮作庆. 森林生态系统健康评价研究[D]. 广州: 华南师范大学, 2007.
Ruan Zuqing. Forest ecosystem health assessment [D]. Guangzhou: South China Normal University, 2007.
- [53] 赵小亮. 森林生态系统健康评价的研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2008.
Zhao Xiaoliang. Forest ecosystem health evaluation [D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2008.
- [54] 武高洁. 县级森林资源质量评价指标体系及评价方法的研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
Wu Gaojie. The study on indicator system and evaluation method of forest resources quality at county-level [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2010.
- [55] 李静锐. 基于人工神经网络模型的森林生态系统健康评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
Li Jingrui. Forest ecosystem health assessment on the basis of artificial neural network[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.
- [56] 李秀英. 森林健康评价指标体系初步研究与应用[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2006.
Li Xiuying. Pilot study and application on the indicators for forest health assessment[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2006.
- [57] 任德智, 刘悦翠. 区域森林资源健康评价指标体系研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(2): 194-199.
Ren Dezhi, Liu Yuecui. *Journal of Northwest Forestry University*, 2007, 22(2): 194-199.
- [58] 肖智慧, 叶金盛. 广东省森林健康评估研究 [J]. 中南林业调查规划, 2010, 29(3): 11-15.
Xiao Zhihui, Ye Jinsheng. *Central South Forest Inventory and Planning*, 2010, 29(3): 11-15.
- [59] 郭聪聪. 河北省城市森林综合评价体系的构建[D]. 保定: 河北农业大学, 2010.
Guo Congcong. Establishment of urban forest comprehensive evaluation system of Hebei province[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2010.
- [60] 庄健荣. 北京地区森林健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
Zhuang Jianrong. Study of forest health assessment in Beijing area[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008.

- [61] 聂力. 东钱湖区域森林生态系统健康评价研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2008.
Nie Li. The research and assessment on the forest ecosystem health in Dongqian Lake[D]. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [62] 康博文, 刘建军, 侯琳, 等. 延安市城市森林健康评价[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(10): 81-86.
Kang Bowen, Liu Jianjun, Hou Lin, *et al.* *Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition*, 2006, 34(10): 81-86.
- [63] 马立. 北京山地森林健康综合评价体系的构建与应用[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
Ma Li. Establishment and application of the synthetic assessment system of forest ecosystem health in Beijing area [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2007.
- [64] 沈烈英. 上海城市森林的植被特征与综合评价研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
Shen Lieying. Studies and assessments on vegetation characteristics In urban forests of Shanghai [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008.
- [65] 谷建才. 华北土石山区典型区域主要类型森林健康分析与评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
Gu Jiancai. Health analysis and evaluation of the main forest types in the typical soil-gravel area in North China[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006.
- [66] 王建华. 赣南丘陵山地森林健康监测与分析研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
Wang Jianhua. Study on the monitoring and analysis of forest health in hilly mountains of South Jiangxi[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2008.
- [67] 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.
Sun Xiaojuan. Forest ecosystem health assessment and landscape security patterns analysis in the Three-Gorges Reservoir area [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2007.
- [68] Aamlida D, Türseth K, Venna K, *et al.* Changes of forest health in Norwegian boreal forests during 15 years [J]. *Forest Ecology and Management*, 2000, 127: 103-118.
- [69] Abrams J, Kelly E, Shindler Bruce, *et al.* Value orientation and forest management: The forest health debate [J]. *Environmental Management*, 2005, 36(4): 495-505.
- [70] Bertollo P. Assessing landscape health: A case study from northeastern Italy[J]. *Environmental Management*, 2001, 27(3): 349-365.
- [71] Woods A J, Heppner D, Kope H H, *et al.* Forest health and climate change: A British Columbia perspective [J]. *The Forestry Chronicle*, 2010, 86(4): 412-422.
- [72] Álvarez M F, Lorenzo H, Picos J, *et al.* Eucalyptus health monitoring system based on remote sensing and GIS for plantations affected by weevil outbreaks in Galicia (Northwest Spain)[C]//Håkan Olsson, SLU Umeå. Proceedings of ForestSat 2005 in Borås May 31-June 3. Borås, JV, Jönköping, 2005: 56-61.
- [73] Ferretti M. Forest health assessment and monitoring -issues for consideration [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1997, 48: 45-72.
- [74] Derome J, Lindroos A, Kilponen T. Proceedings of scientific seminar on forest condition monitoring and ecosystem functioning in northern Europe under the forest focus and ICP forests programmes [C]. Rovaniemi: Finnish Forest Research Institute, 2008: 1-62.
- [75] Mark J A, Barbara L C. Forest health monitoring: 2006 national technical report [R]. Asheville: Southern Research Station, 2009: 1-135.
- [76] Johnson J, Jacob M. Monitoring the effects of air pollution on forest condition in Europe: Is crown defoliation an adequate indicator? [J]. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 2010, 3: 86-88.
- [77] Cumming A B, Twardus D B, Nowak D J. Urban forest health monitoring: Large -scale assessments in the United States [J]. *Arboriculture & Urban Forestry*, 2008, 34(6): 341-346.
- [78] Rapport D J, Costanza R, McMichael A J. Means of combating forest dieback -EU support for maintaining forest health and vitality [J]. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 2009, 2: 38-42.
- [79] Stone C, Wardlaw T, Floyd R, *et al.* Harmonisation of methods for the assessment and reporting of forest health in Australia—a starting point [J]. *Australian Forestry*, 2003, 66(4): 233-246.
- [80] Fischer R, Barbosa P, Becher G, *et al.* The condition of forests in Europe: 2004 executive report[R]. Hamburg: UNECE, 2004: 1-50.
- [81] Fischer R, Lorenz M, Köhl M, *et al.* The condition of forests in Europe: 2010 executive report[R]. Hamburg: UNECE, 2010: 1-22.
- [82] Tkacz B, Moody B, Castillo J V, *et al.* Forest health conditions in North America[J]. *Environmental Pollution*, 2008, 155: 409-425.
- [83] Twardus D B. Forest health assessment for eastern hardwood forests[C]//Gottschalk K W, Fosbroke S L C. Proceedings of 10th Central Hardwood Forest Conference. Morgantown: Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, 1995: 3-10.
- [84] Kolb T E, Wagner M R, Covington W W. Forest health from different perspectives [C]//Eskeu L G. Forest health through silviculture: Proceedings of the 1995 National Silviculture Workshop. New Mexico: Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 1995: 5-13.
- [85] András S. Forest health status in Hungary [J]. *Environmental Pollution*, 1997, 98(3): 393-398.
- [86] Alexeyev V A. Forest health status in Russia [C]//Bytnerowicz A, Arbaugh M J, Schilling S L. Proceedings of the international symposium on air pollution and climate change effects on forest ecosystems. Albany: Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station, 1998: 267-270.
- [87] Zarnoch S J, Bechtold W A, Stoke K W. Using crown condition variables as indicators of forest health [J]. *Can J For Res*, 2004, 34: 1057-1070.
- [88] Winn M F, Lee S M, Philip A A. Urban tree crown health assessment system: a tool for communities and citizen foresters [C]//Proceedings of emerging issues along urban -rural Interfaces II: Linking land -use science and society. Atlanta, 2007: 180-183.
- [89] Westfall J A. FIA national assessment of data quality for forest health indicators[R]. Newtown Square: USDA Forest Service, 2009: 1-80.
- [90] Oswalt S N, Campbell S. Forest health [R]. Washington DC: US Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office, 2009: 48-55.
- [91] Ostry M E, Laflamme G. Fungi and diseases -natural components of healthy forests[J]. *Botany*, 2009, 87: 22-25.

(责任编辑 孙秀云,代丽)