

# 森林健康评价研究进展\*

施明辉<sup>1,2</sup> 赵翠薇<sup>1</sup> 郭志华<sup>2\*\*</sup> 刘世荣<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550001; <sup>2</sup> 中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091;

<sup>3</sup> 中国林业科学研究院, 北京 100091)

**摘要** 森林健康评价是当前国内外十分关注的一个热点问题。开展森林健康评价, 是进行森林健康管理的重要基础。本文从森林健康概念出发, 明确了森林健康的内涵; 森林健康评价主要以林分、森林类型及小班作为评价单元; 评价指标主要由森林资源特征指标、灾害指标及社会经济指标构成。文中对森林健康评价模型优缺点进行了对比分析。森林健康评价趋向于定量化和可视化, 诸如模糊综合评价、灰色关联度分析、人工神经网络等数学方法则逐渐被用于森林健康的定量评价。目前, 森林健康评价在指标体系的构建和评价方法的选取上还有待进一步完善; 形成一套量化的森林健康评价指标体系及加强森林健康评价技术和方法的对比研究, 并长期进行森林健康动态监测评价是未来森林健康评价的发展方向。

**关键词** 森林健康; 评价指标; 评价模型; 评价方法

**中图分类号** S718.55 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)12-2498-09

**Review on forest health assessment.** SHI Ming-hui<sup>1,2</sup>, ZHAO Cui-wei<sup>1</sup>, GUO Zhi-hua<sup>2</sup>, LIU Shi-rong<sup>3</sup> (<sup>1</sup> College of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; <sup>2</sup> Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; <sup>3</sup> Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(12):2498-2506.

**Abstract:** Forest health assessment is currently a hot issue in forest ecology, which can provide useful information for forest management. This paper reviewed the recent researches on forest health assessment. Generally, the main forest health assessment units include stand, forest type, and sub-compartment, and the main indices are forest resources indicators, disasters indicators, and socio-economic indicators. The advantages and disadvantages of forest health assessment models were compared. Forest health assessment has the trend of quantification and visualization. Some mathematical methods such as fuzzy comprehensive evaluation (FCE), grey relational analysis (GRA), and artificial neural networks (ANN) are increasingly used for the quantitative assessment of forest health. At present, the selection of the assessment indicators and methods for forest health assessment should be further improved. To establish a set of quantitative indicators for forest health assessment, to strengthen the comparative study on assessment techniques and models, and to make a long term dynamic monitoring and assessment would be the most important fields in forest health assessment.

**Key words:** forest health; assessment indicator; assessment model; assessment method.

森林健康研究最早是 20 世纪 60 年代出现的。森林健康正在或已经成为林业科技中的一个新方向, 并得到越来越广泛地承认, 其评估理论和技术方

法等, 在环境和生态系统科学领域是 21 世纪最重要和紧迫的任务之一 (Chen *et al.*, 2004); 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 (肖风劲和欧阳华, 2002)。由于森林类型不同, 经营管理目的不同以及地域文化的差别, 对森林健康概念的理解、森林生态系统健康评价的指标及方法也各不相同。

\* 林业公益项目行业专项 (200804001) 和国家十一五科技支撑计划资助项目 (2006BAD03A0406)。

\*\* 通讯作者 E-mail: guo\_zhi\_hua@126.com

收稿日期: 2010-06-28 接受日期: 2010-08-23

近年来,国内外对森林健康的研究也越来越多,一些有关森林健康的新名词、新提法也相继涌现,这也使得该领域的研究显得复杂、混乱(马克明等,2001)。现代森林不仅具有环境属性、资源属性,还是现代社会的基础设施,应该被作为一个结构体来考虑,即评价的对象应该具有特定性,不能随意变换被评价“森林”的时空尺度和功能内涵。作为一个实践规划工具,它可以被广泛的用于单独的森林、一系列不同的森林或者更多复杂的森林生态系统的量化评价和比较,因此,一个全面的健康评价是迫切需要的。本文回顾了森林健康的相关研究来帮助我们了解森林健康评价的粗略轮廓。对森林健康概念进行界定,梳理当前森林健康评价指标体系、指标模型及评价方法,为森林可持续经营与管理提供借鉴与指导是本文的主要目的。

## 1 森林健康概念

森林健康是一个含义模糊、受价值观左右的术语,又是一个较新的术语(Szepesi, 1997; Tkacz *et al.*, 2008)。同时存在许多争议,美国国会关于森林健康问题的讨论也直截了当地说森林健康没有明确的定义。通常地,“森林”是概念指向的实体性客体,“健康”则是价值指向。森林健康这个术语的使用往往是论及臭氧(Jenkin & Clemitchaw, 2002)、酸雨(McNulty *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2007)、氨水(Bytnerowicz *et al.*, 2005)、重金属(Shparyk & Papan, 2004)、大气污染(Percy & Ferretti, 2004)、砍伐(McCarthy *et al.*, 2001)及森林土地开发(Styers *et al.*, 2010)等造成的森林衰退现象。美国部分学者强调要把美国森林恢复到其原始状态,部分官员甚至希望森林“回归到移民前的平衡”(Richard, 1997)。随着环境综合管理时机逐步成熟,为了填补这个森林生态系统健康评估的需要,界定森林健康的概念就很有必要,以便于理解潜在的压力或生态系统“健康”(Su *et al.*, 2010)。

究竟什么是森林健康?归纳当前不同角度的理解和讨论,可以分为2类。一是狭义的森林健康,沿用美国早期森林健康的内容,主要强调森林有无病虫害及火灾威胁。另一类可称为广义的森林健康,主要针对区域及森林生态系统,要求森林资源既能满足人类合理的需要,又能保持自身的稳定性和健康发育,这类的森林方为健康森林。目前我国这方面的研究多趋向于广义的森林健康。

而当前关于森林健康概念的争论基本上来自3种途径,即认识森林健康问题的3种出发点。一是功利主义观的面向目标途径;二是生态系统观的面向生态系统途径;三是平衡二者的综合考虑。

功利主义观面向目标途径者认为,森林健康是森林的一种状态,它不威胁资源管理的目标(Youngblood *et al.*, 2004)。政府管理部门、私有土地所有者及专业顾问直接关注森林资源的可利用性,以目标获得性作为健康定义的立足点。如果满足了管理目标,森林就会被认为是健康的;反之则是不健康的。这样考虑一个森林是否健康,不可避免地受到人类价值趋向的影响(McKetta *et al.*, 1994),森林经营管理时容易造成多目标管理的混乱。

从生态系统观出发产生的森林生态系统健康定义与功利主义观点显著不同,它并不首要关心木材产量,而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。其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,如“平衡”、“功能”及“回复力”等来反映森林生态系统复杂的内在联系,诠释森林生态系统健康的含义(Shrader-Frechette, 1994; Szepesi, 1997)。如:Vora (1997)认为健康的森林是一个由动植物和它们所处的物理环境组成的、功能得到充分发挥的群落,是一个处于平衡的生态系统。Costanza等(1992)从生态系统自身出发定义了生态系统健康,他们认为生态系统健康是“没有受压症状,是稳定的、持续性的和活力的,并能在一段时间内保持其组织和自我管理,对压力具有恢复力”;它应该由“活力(vigor)”、“组织(organization)”和“恢复力(resilience)”三个方面构成。该定义反映了系统的综合性特征,为生态系统健康评估提供了可行性框架。虽然这些定义不存在人类功利主义思想的干扰,但事实上这样的定义比较难理解和运用到实际的测量之中。

上面2种定义的分歧主要是因为森林自我维持的物理环境现在成为了一种对人类有诱惑的资源(Richard, 1997)。要获得一个实用、有效、可操作的定义就必须综合考虑森林生态系统特征,结合社会价值并能体现管理目标。Kolb等(1994)认为,健康森林具有以下特征:①物理环境、生物资源及至少在某些演替阶段能支持森林生产的营养链;②对灾难变化的回复或在景观水平上的灾难变化中恢复的能力;③对植被主要部分必需资源(水、养分、光、生长

空间)的供求中功能性的平衡;④演替阶段的多样性及对许多本土物种提供生境的林分结构和所有的生态系统过程。赵良平等(2002)认为一个理想的健康森林应该是森林中,生物因素和非生物因素(如病虫害、空气污染、营林措施、木材采伐等)对森林的影响不会威胁到现在或将来森林资源经营的目标。

实际上,森林本身不存在健康与否的问题,之所以关注森林健康,是因为只有森林生态系统处于良好的状态,才能为人类提供各种服务功能。从本质而言,森林健康标准是一个人类的标准,是发展的(Kolb *et al.*, 1994)。森林是一个动态的概念,不同时期的人们对森林的认识不同,对森林健康的定义也会相应调整。随着人们对森林结构和功能认识的不断深入,森林健康的定义也由表象到机理,从局部到整体不断发展。综合国内外学者的不同理解,充分考虑健康概念应便于评价和操作的原则,可以将森林健康界定为:它是森林生态系统在保障正常的生态服务功能,满足合理的人类需要的同时,具有良好的恢复力和维持自身持续向前发展的能力,以最小的消耗来提供最大的服务。或者对目前绝大多数受到胁迫的森林生态系统来说,是一种需要恢复的理想目标。

## 2 森林健康评价单元

“健康”这个术语通常与某些生理标准相联系,例如,某个系统被认为是健康的直到某些参数不符合正常范围。同样地,生态系统健康方面可以通过标准参考条件来衡量(Cabezas & Fath, 2002)。难点在于选取一个什么样的尺度作为评价单元以及如何确定适当变量指标予以衡量(Chattopadhyay & Datta, 2010)。所有这些问题应当认真考虑并严格按照质量保证程序实施,因为任何决定将影响今后多年的工作(Ferretti, 1997)。森林经营单位的选择对于构建森林健康评价指标体系十分重要,不同的森林经营单位有着不同的评价体系。主要是以林分、森林类型或小班作为评价单元。

### 2.1 林分

林分,指内部特征大体一致而与邻近地段有明显区别的一片林子。一个林区的森林,可以根据树种的组成、森林起源、林相、林龄、疏密度、林型等因子的不同,划分成不同的林分。一个林区的森林,根据其内部结构特征的差异,划分成不同的林分。①按树种组成,分为由一种树种组成的纯林和由两种

或数种树种组成的混交林;②按森林起源,分为由种子培育而成的实生林和由伐根上萌芽长成的萌芽林;③按林分的外形,分为单层林(由单一树冠组成)和复层林(由2个或数个树冠组成);④按林龄划分为幼龄林、中龄林、成熟林、过熟林等;⑤按林型;⑥按地位级划分为I、II、III、IV和V级。不同的林分,需要采取相应的经营管理和育林措施。合理划分林分是确定森林经营措施的重要依据。

赵小亮等(2008)以林分为评价单元,对河北省承德县8种不同林型、林龄的林地进行健康状况综合评价,得出各林地类型综合健康指数。

### 2.2 森林类型

森林类型亦称“林型”,指树种组成和立地条件均相似的林分的综合。是按森林的综合自然性状(林木和环境因子的特点)划分的森林自然分类单位。国内通常采用双名法对林型进行命名。即以优势树种和有指示意义并能反映立地条件特点的灌木或草本植物的名称,加上显著的地形名称来命名。

张伟(2007)以甘肃省莲花山国家级自然保护区天然林保护工程实施区为例,基于恢复生态学的诸多研究成果,构建林型尺度森林植被恢复评价指标体系。林型尺度森林植被恢复评价指标体系较客观地反映群落的恢复程度,具有一定的科学性、客观性和可操作性,该体系为观测不同地区的森林植被恢复程度提供一种可行的技术途径。但作为初步尝试所构建的林型尺度森林植被恢复评价指标体系,因受到各种条件的限制,未将样地草本层及土壤特性加入指标体系,尚有待于补充完整,使得评价体系更为可靠和完善。

### 2.3 小班

小班是根据经营要求和林学特征,在林班内划出不同地段(林地或非林地等),其内部具有相同的林学特征,因此,其经营目的和经营措施是相同的,是林场内最基本的经营单位,也是清查森林资源、统计计算和资源管理最基本的单位。小班卡片的信息全面且准确,能够提供充分准确的数据信息。姬文元等(2009)以小班为评价单元,着力构建基于小班水平的森林群落健康评价指标体系,对四川省阿坝州川西林业局301林场云杉、冷杉林进行健康状况评价。谷建才等(2006)采用标准样地调查法,对八达岭林区中的5个油松小班进行森林健康状况评价。



### 3 森林健康评价指标体系

确立森林生态系统健康的评价标准,是进行评价的关键。指标体系的优点就是,把森林对多种干扰的复杂反应变为一个具有可靠名称的数字。因此,通过建立指标体系,并不断根据具体的研究进行不断的调整,使森林健康的评价真正反映森林的实际健康状况,为人类更好地管理森林服务。欧安组织(CSCE)于1992年率先通过了蒙特利尔进程(Montreal Process),提出了森林可持续经营的标准和指标体系。在此基础上,1995年发表圣地亚哥宣言,签署了7个国际性的指标体系和67个具体指标,用来定义、评估和报告温带和热带森林的可持续经营的进程,其中,森林生态系统的健康与活力(Forest Ecosystem Health and Vitality)作为7个指标体系之一,并在加拿大、美国、澳大利亚等很多国家的森林可持续经营报告中得到了体现(Oszlányi, 1997; Szepesi, 1997; Tkacz *et al.*, 2008)。国际现有的其他8个生态区域的森林标准与指标行动和进程,不同程度地强调了森林健康的问题。

从目前的研究来看,森林健康评价指标主要由森林资源系统内部组织结构和外部影响因子(包括灾害、社会、科技等)构成。

#### 3.1 森林资源特征指标

森林资源特征指标包括森林结构、生物多样性和森林立地气候条件3个指标层。对森林资源的质量、组织结构的稳定性、完整性及可持续能力进行评估,以衡量森林资源健康性。

森林结构指标层通常选取以下指标:单位面积蓄积量、森林覆盖率、总盖度、郁闭度等作为反映森林资源总体状况的测算指标;以林分平均高、林种结构、龄级组成、树种结构、树种组成等测算指标具体量算林分的状况;以自然保护区的面积、林区道路、河流分布、水土流失及治理面积、林地适应性、森林资源消耗度、林地利用率、时间秩序合理程度等指标估算林区经营水平和可持续能力(Xu *et al.*, 2005; Frego, 2007; 姬文元等, 2009)。UFORE(城市森林效益模型)是美国对城市森林结构和功能进行量化的模型,采用SAS软件,综合植被数据、气象、污染测定等测量指标,对城市中特定区域的植被结构和功能进行量化研究。美国的亚特兰大、巴尔的摩、波士顿、纽约、费城5大城市就是利用该模式(Shear *et al.*, 2003)。

生物多样性是衡量森林资源完整性、稳定性和可持续经营及发展的必要条件之一,生物多样性差的森林在结构上是不完整的,稳定性也较差,极易受到外界侵害而导致系统破损或崩溃。袁兴中等(2001)构建的生态学指标包括有动植物区系组成、生物多样性种群大小和分布群落结构、脆弱性和动态特定功能性质、生物生产力和生物多样性下降、本地物种和外地物种、生态系统更新和再生过程的损害、调节功能下降、生境退化和(或)丧失。此指标体系体现出了动态性,但操作性较差。

森林立地气候条件采用地形、土壤、水、气候等几个方面进行评价(Aamlid *et al.*, 2000; Silvano *et al.*, 2005; Bozic *et al.*, 2006; Zirlwagen *et al.*, 2007; Chattopadhyay & Datta, 2010)。李静锐等(2007)从森林生态系统的结构和功能的角度出发,选用复合结构功能指标评价方法,选取了生长状况、有机质含量地类、土层厚度、灌木丰富度、草本丰富度共6个指标建立了北京八达岭林区森林健康评价指标体系,并通过指数法对北京八达岭林场试验示范区进行了森林健康评价。该指标体系更多地从自然资源条件方面选取指标,未考虑抗干扰能力指标和外界环境指标,指标涵盖面较小。

#### 3.2 灾害指标

森林灾害是一种具有较大偶然性和必然性的破坏行为,它们对森林资源的巨大破坏力已被人们公认。灾害的发生受很多因素的影响,有自然引起的,也有人为引起的,还有共同作用引起的。森林健康评价指标体系中灾害指标主要有病虫鼠害、污染、水旱灾、火灾、人灾及其他灾害作为指标。空气污染负荷加重,或有可能干扰这些因素。空气污染因子的实际效应较难被评估,但是,其对森林健康的影响却不容忽视(Aamlid *et al.*, 2000)。

欧洲近几十年比较关注空气污染对森林健康的负面影响(Aamlid *et al.*, 2000; Percy & Ferretti, 2004; Bytnerowicz *et al.*, 2005; Baumgarten *et al.*, 2009),中国对这方面的关注也在增加。中国和挪威研究森林监测合作项目(2000—2004年)实施的对中国南方酸雨地区重庆和贵阳附近的2个小流域马尾松森林监测:包括大气污染、土壤化学、病虫害、霜冻和干旱等(Wang *et al.*, 2007)。近些年,地表臭氧已被视为对植被造成重大伤害的一种空气污染的(Baumgarten *et al.*, 2009)。对臭氧影响林木健康的评价才刚开始,目前还难以看到臭氧浓度与肉眼可

见的林木伤害之间的显著关系 ( Matyssek *et al.* , 2008 )。考虑到环境条件的波动,臭氧对森林健康影响的评估,有关土壤/水的预算平衡的数据输入应进一步完善。

3.3 社会经济指标

现代林业已不仅仅是政府行为,而是一个由政府带头全社会共同经营管理的林业。灵活合理的林业政策是社会林业可持续发展的保障,社会经济指标一般包括政策、林业资金投入、人均资源情况、科技教育等。

目前,有的森林健康评价中,参评因子偏重于生态水平,选取的指标主要还局限于森林环境或森林结构单方面 ( Tiedemann *et al.* , 2000 ),以至于有时候不能合适地反映森林健康状况。社会、经济属性评价因子的缺乏是目前森林健康评价领域的现象,大多数人可能由于社会经济因子较难量化,所以避开不谈。在评价一个森林健康状况时,虽然不可能把与森林健康有关的指标面面俱到地列入指标体系中,但应针对不同的森林生态系统的特点,同时注意结合森林生态系统的社会和经济因素,选择最有效且能对森林生态系统健康状况有直接影响的指标。陈高等 ( 2004 ) 构建了一套指标体系,指标分为自然、经济、社会 3 个方面。自然方面指标包括组织、活力和弹性 3 种健康成分,分别从结构和生物多样性、物质流和能量流及生态系统自身对格局和过程的维持力几个角度出发进行评估;经济方面包括价值产出和经济投入一个方面;社会方面包括人类健康状况、社会化水平和社会环境。该指标体系较综合全面,虽然指标的获取和量化较难确定,但是在森林健康评价领域却迈出了坚实的一步。总之,建立健全森林生态系统健康评价指标体系是开展森林资源可持续经营的首要任务,以便森林资源充分地发挥生态、社会和经济效益。

4 森林健康评价模型

1) VOR 模型

$$HI = VOR$$

VOR 模型最早由 Costanza 等 ( 1992 ) 提出的。HI 代表系统健康指数;V 为系统活力;0 为系统组织;R 为系统恢复力。该模型比较简单,过于理论化,不易操作。

2) 综合构成指数模型

$$ICI = \ln( \sum B \times \sum IV \times CAV )$$

式中,ICI 为综合构成指数;B 为生物量;IV 为分层重要值;CAV 为顶级适应值;由陈高等 ( 2004 ) 提出。优点是群落特征概括比较周全,缺点是专家评分,主观性较大。

3) 健康指数法模型

$$HI = \sqrt{VOR}$$

式中,HI 为系统健康指数;V 为系统活力;0 为系统组织;R 为系统恢复力。陆凡 ( 2003 ) 在 VOR 模型基础上作了点改进,但是还是不易操作。

4) 生态系统健康指数模型

$$FEHI = W_1V + W_2O + W_3R$$

FEHI ( Xu *et al.* , 2005 ; 刘文军等, 2009 ) 为生态系统健康指数,V 为系统活力;O 为系统组织;R 为系统恢复力;W 为它们的权重。

5) EHS 模型

$$EHS = \sum_{i=1}^n ( b_1x_1 + b_2x_2 + \cdots \cdots b_nx_n )$$

式中, $b_1, b_2, \cdots \cdots, b_n$  为权重, $x$  为指标相对值。EHS 模型 ( 孔红梅和姬兰柱, 2002 ) 易计算,但结果为相对值,不好检验。

6) 健康距离模型 ( HD )

$$HD = \sum_{i=1}^n | B(x_i) - A(x_i) / A(x_i) | \cdot K_i$$

式中,HD 为健康距离, $B(x_i)$  和  $A(x_i)$  为前后 2 个生态系统的共同特征, $K_i$  为评价指标权重。陈高等 ( 2004 ) 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,HD 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。该模型指标比较全面,但是模型比较复杂,难掌握。

5 森林健康评价方法

森林健康评价指标及权重的确定,以前常用试验方法或主观经验方法,现多采应用数理统计 ( 如主成分分析法、层次分析法、多元线性回归、模糊综合评价法、灰色关联度和人工神经网络等 ) 及先进的 3S 技术,实现了定性与定量相结合,提高了评价精度。综合国内外研究现状,森林健康评价方法主要有以下几种。

5.1 主成分分析法

主成分分析法 ( PCA ) 法适于评价指标多,且指标间有一定相关性的情况。PCA 运用降维思想,能简化计算,也有利于抓住问题的关键。但它对样本

数据的精确度要求较高。类型间的差异愈大,分析效果越明显,反之则不然。

河北省承德县初步选取的 16 个林地类型的指标数据进行筛选,将多项相关的指标简化为较少的独立的主成分,计算森林生态系统综合健康指数,并进行健康分级,对森林生态系统健康进行综合评价分析(赵小亮等,2008)。北京松山自然保护区健康评价的第一主成分为群落特性的描述指标;第二主成分为病虫害程度、火险等级等作为林分稳定性的描述指标;第三主成分可作为叶面积指数的描述指标;第四主成分可作为物种多样性的描述指标;第五主成分可作为土壤厚度的描述指标(高志亮等,2008)。

主成分分析法对样本量的要求较大,假设指标之间的关系都为线性关系。在实际应用中,若指标之间的关系为非线性关系,则就有可能导致评价结果较大的偏差。

## 5.2 层次分析法

层次分析法(AHP)是通过对多系统多个因素的分析,划分出各因素间相互联系的有序层次,再请专家对每一层次各因素进行比较客观的判断后,给出相对重要性的定量表示;进而建立数学模型,计算每一层次全部因素的相对重要性的权重,是将定量分析与定性分析有机结合起来的一种系统分析方法。北京松山自然保护区利用层次分析法来确定各指标对综合评价目标的权重,据此构造判断矩阵,根据判断矩阵计算与上一层某元素有联系的各元素的重要性次序的权值(高志亮等,2008)。虽然其较好地考虑和集成了综合评价过程中的各种定性定量信息,但在应用中仍摆脱不了评价过程中的随机性和评价专家主观上的不确定性及认识上的模糊性。

## 5.3 多元线性回归

多元线性回归模型表示一种地理现象与另外多种地理现象的依存关系,这时另外多种地理现象共同对一种地理现象产生影响,作为影响其分布与发展的重要因素。Zirlewagen 等(2007)基于土壤、地形和植被参数对萨克森森林健康状况分区中,采用了多元线性回归分析和地统计方法。该回归模型性算法经测试表明能同时使用一个独立的验证程序和交叉验证条件。最后,仿照“落叶的平均水平”制图,利用萨克森州平均林龄(60)作为场景模型回归方程。

## 5.4 模糊综合评价法

森林健康受自然和人为等众多因素的制约和影

响。这些影响很难用精确的数字来表达,同时森林健康也没有精确的界限。模糊综合评价法(FCE)根据给出的评价指标和实测值,经过模糊变换后做出综合评价,使得难以量化的定性问题能够转化成定量分析。在森林健康评价中应用 FCE 法,通过建立模糊综合加权平均模型评价森林健康状况,可以较好的解决评价标准边界模糊和检测误差对评价结果的影响。肖化顺等(2004)对武冈林场可持续经营能力评价的指标体系包含类指标和项目指标两层,采用二级模糊综合评判:先对项目指标层进行一级评判,然后对类指标层进行二级评判,以均匀分布构建隶属函数,最后建立隶属矩阵,评价精度较高。

## 5.5 灰色关联度分析

灰色关联度分析(GRA)是一种多因素统计分析方法,它以各因素的样本数据为依据,用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序,其基本思想是根据曲线几何形状的相似程度来判断关联度程度。该方法定量考虑多个因子的作用,得出具有可比性的综合性指标,从而提高综合评估的准确性和有效性,避免了人为评判的主观性。蒋文伟等(2002)运用灰色关联分析法综合分析了湖州 6 种不同森林类型的土壤中枯落物和生物化学因素对土壤肥力的影响状况,解决了众多因子作用的评价排序问题,具有简便、直观、有效的特点。

## 5.6 人工神经网络

人工神经网络(ANN)方法具有自学习性、自组织性、自适应性和很强的非线性映射能力,特别适合于因果关系复杂的非确定性推理、判断、识别和分类等问题,被广泛用于森林健康评价(丛沛桐等,2003;Ingram *et al.*, 2005;甘敬等,2007)。

东灵山辽东栎林森林生态系统利用感知器分类的人工神经网络技术,采用土壤含水量、土壤有机质含量、样方物种相对多度和各样方的多样性指数以及主要优势树种光合效率的相关参数仿真和评价(丛沛桐等,2003)。这是神经网络在森林健康评价中较早的尝试。北京八达岭林场通过构建一个 BP 神经网络,将林分层次结构、病虫害程度和土壤厚度 3 个评价因子作为森林健康快速评价(RAFH)指标,所得的结果与精准评价结果基本一致,训练样本值与目标输出项非线性相关程度高,收敛性较好,避免了主观赋权(甘敬等,2007)。Ingram 等(2005)用人工神经网络整合 ETM<sup>+</sup>卫星数据 3、4、5、7 波段和有限地面调查数据从景观格局尺度对森林健康状况进



行半定量评估。人工神经网络预测图提供了森林片段更精细的异质性空间细节,而目前现有的大部分表示森林健康状况的制图中,缺乏森林状况的半定量评价。

## 6 展 望

经过长期的探索研究,森林健康评价在评价指标和评价方法等方面都得到了快速发展,但仍有许多方面有待深入研究。

1)采用移植、组合、修正和比较等研究手段,将会产生更多的森林健康评价新理论和新方法(Silvano *et al.*, 2005)。

2)目前参评因子偏重于生态水平,当前选取的指标主要还局限于森林环境或森林结构单方面(Tiedemann *et al.*, 2000),其中森林环境主要是土壤、水分、空气污染等方面,森林结构主要是林木个体的健康,以至于有时候不能合适地反映森林健康状况。有些指标的选择存在交叉现象,不少评价指标体系选取的具体指标之间往往存在较高的正、负关联性,宜进行指标间的相关分析,以维持指标的独立性。在今后的森林健康评价中应多考虑社会、经济属性,因为健康是一个综合概念,各方面都需要考虑到,形成一套综合的量化的森林健康评价体系,是我国森林健康评价的一个研究方向。

3)近几年的研究中评价对象趋于多样化,森林类型趋于详细化,更重视定性定量相结合(Styers *et al.*, 2010)。评价指标体系中指标的选取和权重的确定是相当重要的一个环节。目前研究中应用较多的为特尔菲法、层次分析法等主观性较强的方法。人工神经网络、灰色关联度等方法在森林健康评价方面处于起步阶段,没有得到广泛的推广和应用。应加强森林健康评价技术研究,推动森林健康的定量评价,以期较大程度地克服主观成分及随机性的影响,使评价结果更客观准确。另外,研究多以某一特定区域的单一评价方法为主,关于不同方法的对比研究较少(Woodall *et al.*, 2010),应加强森林健康评价中不同方法的对比研究。

4)森林健康评价与可持续经营管理是GIS应用的重要领域之一(Bozic *et al.*, 2006)。森林健康数据是森林生态基础管理实践的重要基础。由于森林管理实践显示景观水平上的影响,所以规划和控制需要评价其空间和时间的变化,模拟结果应通过GIS可视化表达出来,并以此作为管理决策的基础

(Zirlewagen *et al.*, 2007)。目前结合GIS系统应用神经网络、模糊集和模糊推理、遗传算法、分形理论、小波分析等的许多具有智能推理和时空计算的模型方法,促使风险源的管理可以用地理信息系统进行模型一体化、多维动态和智能化的实施(荣婧和冯仲科, 2005)。采用包括3S技术在内的多方面先进技术和方法,长时间地进行森林健康监测和健康状况预测是今后森林健康研究的发展方向。

随着我们对森林生态系统复杂功能和进程的进一步理解,再加上评价方法的改进,一个更加全面和精确的判断森林健康与否的标准是可以逐步实现的。

## 参考文献

- 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.
- 丛沛桐,王瑞兰,王珊林,等. 2003. 东灵山辽东栎林生态系统健康仿真与评价研究. 系统仿真学报, **15**(5): 640-642.
- 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): 4-10.
- 高志亮,余新晓,岳永杰,等. 2008. 北京市松山自然保护区森林健康评价研究. 北京林业大学学报, **30**(S2): 133-137.
- 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.
- 姬文元,邢韶华,郭 宁,等. 2009. 川西米亚罗林区云冷杉林健康状况评价. 林业科学, **45**(3): 13-18.
- 蒋文伟,俞益武,姜培坤,等. 2002. 湖州主要森林类型土壤肥力的灰色关联度分析与评价. 生态学杂志, **21**(4): 18-21.
- 孔红梅,姬兰柱. 2002. 生态系统健康评价方法初探. 应用生态学报, **13**(4): 486-490.
- 李静锐,张振明,罗 凯. 2007. 森林生态系统健康评价指标体系的建立. 水土保持研究, **14**(3): 173-175.
- 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**(12): 2106-2116.
- 荣 婧,冯仲科. 2005. 基于GIS的森林健康风险源识别和管理技术研究. 北京林业大学学报, **27**(S2): 215-219.
- 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.
- 肖化顺,张 贵,曾思齐. 2004. 武冈林场森林可持续经营能力模糊综合评价. 中南林学院学报, **24**(4): 56-60.
- 袁兴中,刘 红,陆健健. 2001. 生态系统健康评价——概念构架与指标选择. 应用生态学报, **12**(4): 627-629.
- 张 伟,陆宗芳,孙学刚,等. 2007. 林型尺度森林植被恢复评价指标体系的构建. 甘肃农业大学学报, **24**(5): 114-118.
- 赵良平,叶建仁,曹国江,等. 2002. 森林健康理论与病虫害可持续控制——对美国林业考察的思考. 南京林业大学学报(自然科学版), **26**(1): 5-9.

- 赵小亮, 周国娜, 高宝嘉, 等. 2008. 主成分分析法在承德县森林生态系统健康评价中的应用. *中国农学通报*, **24** (6): 400–403.
- Aamlid D, Tørseth K, Venn K, *et al.* 2000. Changes of forest health in Norwegian boreal forests during 15 years. *Forest Ecology and Management*, **130**: 113–126.
- Baumgarten M, Huber C, Bükler P, *et al.* 2009. Are Bavarian forests (southern Germany) at risk from ground-level ozone? Assessment using exposure and flux based ozone indices. *Environmental Pollution*, **157**: 2091–2107.
- Bozic M, Antonic O, Pernar R, *et al.* 2006. Modelling the damage status of silver fir trees (*Abies alba* Mill.) on the basis of geomorphological, climatic and stand factors. *Ecological Modelling*, **194**: 202–208.
- Bytnerowicz A, Badea O, Popescu F, *et al.* 2005. Air pollution, precipitation chemistry and forest health in the Retezat Mountains, Southern Carpathians, Romania. *Environmental Pollution*, **137**: 546–567.
- Cabezas H, Fath BD. 2002. Towards a theory of sustainable systems. *Fluid Phase Equilibria*, **194–197**: 3–14.
- Chen G, Yang ZF, Cui BS. 2004. New assessment method on forest ecosystem health - Integrated Composed Index (ICI) and its pilot application// The Proceedings of the China Association for Science and Technology: 602–613.
- Chattopadhyay RN, Datta D. 2010. Criteria and indicators for assessment of functioning of forest protection committees in the dry deciduous forests of West Bengal, India. *Ecological Indicators*, **10**: 687–695.
- Costanza R, Bryan G, Benjamin N, *et al.* 1992. Toward an operational definition of ecosystem health. Washington DC: Island Press.
- Ferretti M. 1997. Forest health assessment and monitoring: Issues for consideration. *Environmental Monitoring and Assessment*, **48**: 45–72.
- Frego KA. 2007. Bryophytes as potential indicators of forest integrity. *Forest Ecology and Management*, **242**: 65–70.
- Ingram JC, Dawson TP, Whittaker RJ. 2005. Mapping tropical forest structure in southeastern Madagascar using remote sensing and artificial neural networks. *Remote Sensing of Environment*, **94**: 491–507.
- Jenkin ME, Clemitshaw KC. 2000. Ozone and other secondary photochemical pollutants: Chemical processes governing their formation in the planetary boundary layer. *Atmospheric Environment*, **34**: 2499–2527.
- Kolb TE, Wagner MR, Covington WW. 1994. Concepts of forest health: Utilitarian and ecosystem perspectives. *Journal of Forestry*, **92**: 10–15.
- Matyssek R, Sandermann H, Wieser G, *et al.* 2008. The challenge of making ozone risk assessment for forest trees more mechanistic. *Environmental Pollution*, **156**: 567–582.
- McCarthy BC, Small CJ, Rubino DL. 2001. Composition, structure and dynamics of Dysart Woods, an old-growth mixed mesophytic forest of southeastern Ohio. *Forest Ecology and Management*, **140**: 193–213.
- McKetta C, Blatner KA, Graham RT, *et al.* 1994. Human dimensions of forest health choices. *Journal of Sustainable Forestry*, **2**: 135–149.
- McNulty SG, Cohen EC, Myers JAM, *et al.* 2007. Estimates of critical acid loads and exceedances for forest soils across the conterminous United States. *Environmental Pollution*, **149**: 281–292.
- Oszlányi J. 1997. Forest Health and Environmental Pollution in Slovakia. *Environmental Pollution*, **98**: 389–392.
- Percy KE, Ferretti M. 2004. Air pollution and forest health: Toward new monitoring concepts. *Environmental Pollution*, **130**: 113–126.
- Richard RT. 1997. What the natives know: Wild mushrooms and forest health. *Journal of Forestry*, **95**: 5–10.
- Shear H, Stadler-salt N, Bertram P, *et al.* 2003. The development and implementation of indicators of ecosystem health in the Great Lakes Basin. *Environmental Monitoring and Assessment*, **88**: 119–151.
- Shparyk YS, Parpan VI. 2004. Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. *Environmental Pollution*, **130**: 55–63.
- Shrader-Frechette KS. 1994. Ecosystem health: A new paradigm for ecological assessment? *Trends in Ecology & Evolution*, **9**: 456–457.
- Silvano RAM, Udvardy S, Ceroni M, *et al.* 2005. An ecological integrity assessment of a Brazilian Atlantic Forest watershed based on surveys of stream health and local farmers' perceptions: Implications for management. *Ecological Economics*, **53**: 369–385.
- Styers DM, Chappelka AH, Marzen LJ, *et al.* 2010. Developing a land-cover classification to select indicators of forest ecosystem health in a rapidly urbanizing landscape. *Land-scape and Urban Planning*, **94**: 158–165.
- Su MR, Fath BD, Yang ZF. 2010. Urban ecosystem health assessment: A review. *Science of the Total Environment*, **408**: 2425–2434.
- Szepesi A. 1997. Forest health status in Hungary. *Environmental Pollution*, **98**: 393–398.
- Tiedemann AR, Klemmedson JO, Bull EL. 2000. Solution of forest health problems with prescribed fire: Are forest productivity and wildlife at risk? *Forest Ecology and Management*, **127**: 1–18.
- Tkacz B, Moody B, Castillo JV, *et al.* 2008. Forest health conditions in North America. *Environmental Pollution*, **155**: 409–425.
- Vora RS. 1997. Developing programs to monitor ecosystem health and effectiveness of management practices on Lakes States National Forests, USA. *Biological Conservation*, **80**: 289–302.
- Wang YH, Solberg S, Yu PT, *et al.* 2007. Assessments of tree crown condition of two Masson pine forests in the acid rain region in south China. *Forest Ecology and Management*, **242**: 530–540.
- Woodall CW, Morin RS, Steinman JR, *et al.* 2010. Comparing evaluations of forest health based on aerial surveys and field inventories: Oak forests in the Northern United States. *Ecological Indicators*, **10**: 713–718.



Xu FL, Zhao ZY, Zhan W, *et al.* 2005. An ecosystem health index methodology (EHIM) for lake ecosystem health assessment. *Ecological Modelling*, **188**: 327–339.

Youngblood A, Max T, Coe K. 2004. Stand structure in eastside old-growth ponderosa pine forests of Oregon and northern California. *Forest Ecology and Management*, **199**: 191–217.

Zirlewagen D, Raben G, Weise M. 2007. Zoning of forest health conditions based on a set of soil, topographic and

vegetation parameters. *Forest Ecology and Management*, **248**: 43–55.

作者简介 施明辉,男,1985 年 3 月生,硕士,研究方向为土地评价与土地利用规划、GIS 与森林健康评价。E-mail: shiminghui\_2003@163.com

责任编辑 王 伟

第五届国际香根草大会将在印度召开

第五届国际香根草大会(ICV-5)将于 2011 年 10 月 29—31 日在印度勒克瑙市中央医药与香料植物研究所召开。预计与会人数约 250 人,其中来自印度之外的代表和专家近 100 人。印度是香根草的原产地,在即将召开第五届大会的地方及其附近地区,可以看到原生态的香根草及香根草应用的勃勃生机。

大会的主题是香根草应用于减缓全球气候变暖。通过捕获大气中的碳、吸收土壤底层的碳,从而延缓气候变暖的进程。大会的目标是回顾总结香根草生态系统服务于气候变化的历程与进展;检阅香根草系统在与气候变化以及减缓全球变暖有关的应用前景和潜力方面的科技发展状况;使香根草系统应用方面的最新技术获得更新,加强香根草为全世界人民服务方面的承诺以及服务潜力及香根草生物多样性的利用。

大会由印度中央医药与香料植物研究所主办,并受到泰国曼谷基金会、国际香根草网络和印度香根草网络及与印度国家科学有关的主管机构的支持和协作。会议议程包括:

- 1、开幕式;
- 2、引导性会议—香根草与气候;
- 3、全会与分会,分别涉及碳吸收的香根草模型;从纤维素到生物燃料;生态系统服务模型;利用香根草副产物为社区发展与脱贫服务的综合途径;环境保护;农业与作物种植制度;土壤与水体净化与灾害管理;香根草油;基因多样性与育种以及产业问题和概述与基础研究;生物学探讨;农业应用;基础设施保护与稳定;植物性改良与污染防治;香根草产品,手工艺品,培训与技术推广和经济发展;公营与私营企业家;
- 4、专题讨论与建议;
- 5、事务性会议与闭幕式;
- 6、展览与墙报展示;
- 7、学术考察之旅参观香根草生长地点:天然生境与农地;香根草油蒸馏;香根草根系生长剖面与香根草根对碳吸收的模式。

英语为会议官方用语。注册费包括出席大会与参与相关节目、会中旅行、大会文件以及一些餐费。其中来自印度

境外的代表为 300 美元,陪伴人员 300 美元;印度代表为 6000 卢比;陪伴人员 4000 卢比。会前会后的旅行由旅行社安排,费用自理。勒克瑙市内及附近地区有多处旅游胜地和历史古迹,大会秘书处可根据与会者的兴趣,在旅行社协助下作必要安排。

有兴趣者请即与大会秘书处联系:  
The Secretariat of ICV-5,  
Central Institute of Medicinal and Aromatic Plants  
P. O. CIMAP  
Lucknow 226 015  
India  
FAX : +91-522-2342666  
E-mail: ICV-secretariat@cimap.res.in

此外,大会设第五次泰国国王香根草系列奖,即,杰出研究奖:

- ( I ) 香根草系统在农业方面的应用;
  - ( II ) 香根草系统在非农业方面的应用。
- 项奖金各为 2500 美元。
- 杰出传播奖:
- ( III ) 政府机构。
  - ( IV ) 非政府机构。

大会开幕式上,国际香根草网络资助人诗琳通公主将以泰国国王名义颁奖。申请者要递交申请表,可从网站<HT-TP://PRVN.RDPB.GO.TH>下载,并要递交论文全文和论文摘要。请将填写好了的表格、论文全文及摘要、贡献陈述(150 词)寄至:

PLANNING AND INTERNATIONAL AFFAIRS DIVISION  
OFFICE OF THE ROYAL PROJECTS DEVELOPMENT  
BOARD  
RAJDAMNERN NOK AVENUE, DUSIT  
BANGKOK 10300, THAILAND

也可以从电子邮件地址: VETIVER@ RDPB. GO. TH; 或 FOREIGN\_RDPB@ YAHOO. COM 获得申请表。