

## 自然保护区森林健康评价体系的构建与应用

张 桓<sup>1</sup>, 韩海荣<sup>1</sup>, 康峰峰<sup>1</sup>, 刘 利<sup>1,2</sup>, 伊力塔<sup>3</sup>

(1. 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 辽东学院, 辽宁 丹东 118003;  
3. 浙江农林大学林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 自然保护区的森林健康评价有别于普通的森林健康评价, 在评价中要考虑森林对自然保护区的影响。从森林对生态系统、森林社会价值、森林对珍稀保护物种影响等方面构建了自然保护区森林健康评价指标体系, 得出自然保护区森林健康综合指数, 从而判别自然保护区森林的健康程度, 并对北京百花山国家级自然保护区的森林进行健康评价。评价结果表明, 15块样地中, 有8块样地处于健康以上状态, 比例达到了53.3%, 亚健康状态样地占到了46.7%, 表明百花山保护区森林健康状况良好, 与实际调查情况一致, 表明指标体系有较好的适用性。图1表3参21

**关键词:** 森林生态学; 自然保护区; 森林健康; 指标体系; 百花山

中图分类号: S718.5; S759.9 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)01-0059-07

## Establishment and application of forest health assessment system for nature reserve

ZHANG Huan<sup>1</sup>, HAN Hai-rong<sup>1</sup>, KANG Feng-feng<sup>1</sup>, LIU Li<sup>1,2</sup>, YI Lita<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Education Ministry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Eastern Liaoning University, Dandong 118003, Liaoning, China; 3. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** Different from the general forest health assessment, the forest health assessment of nature reserves must consider the impact of forests on nature reserves. The research established an indicator system from the perspective of impacts of forests on ecosystems, social benefits, and rare species and scored forest health of nature reserves. This indicator system was applied to assess the forest health of Baihuashan Nature Reserve in Beijing. The results indicated that 8 out of 15 sample plots in Baihuashan National Nature Reserve were healthy, accounting for 53.3 per cent. The sub-healthy plots accounted for 46.7 per cent. It showed that the overall health condition of Baihuashan Nature Reserve was good, and the indicator system presented a satisfactory applicability. [Ch, 1 fig. 3 tab. 21 ref.]

**Key words:** forest ecology; nature reserve; forest health; indicator system; Baihuashan Nature Reserve

森林健康是近年来热门的研究方向之一, 是通过一系列的手段(实地调查、监测、模型分析和遥感数据等)对森林的健康状况进行评价分析, 从而为进一步采取措施提供依据和指导, 在森林管理和保护中发挥着越来越重要的作用<sup>[1-3]</sup>。中国大部分自然保护区都是建立在森林生态系统基础之上的。这些森林生态系统在保障和维持自然保护区方面起着重要的作用。正因如此, 自然保护区中森林的健康就关系到自然保护区的存在与否, 关系到国家对自然资源、环境、珍贵濒危物种等的保护效果, 是自然保护区存在的一个重要的保障。自然保护区的森林健康评价就是在自然保护区这一特定环境内对区内的森林健

---

收稿日期: 2010-02-09; 修回日期: 2010-04-26

基金项目: 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室开放基金资助项目

作者简介: 张桓, 从事森林生态学研究。E-mail: zhangh-85@163.com。通信作者: 韩海荣, 教授, 博士生导师, 从事生态系统生态学研究。E-mail: hanhr@bjfu.edu.cn

康进行分析评价，以此来判断自然保护区的稳定性与安全性，进而针对反映出的结果进行管理和改进，确保自然保护区能够更好地发挥森林生态系统的服务功能。我们通过对森林健康和自然保护区的研究，构建出一整套适合自然保护区森林健康评价的指标体系，为评价自然保护区森林的健康进行有益的尝试，为自然保护区管理提供依据。

## 1 指标体系构建的原则和思路

### 1.1 指标体系构建的原则

自然保护区森林健康评价指标体系的构建必须达到3个目标：①能够完整准确地反映森林的健康状况。②及时反映自然保护区内森林健康现状、变化和趋势。③定期为政府决策、自然保护区管理提供其保护目标的现状和发展趋势策。因此，要制定一套科学、合理、可操作和普遍适用性的自然保护区森林健康评价指标体系需遵循以下2个原则：①客观性原则。所有选取的指标要有科学依据，同时要能正确地反映出森林健康状况。②可操作性原则。每个指标应涵义明确，易于获得，简便易算。

### 1.2 构建思路

评价自然保护区森林的健康应当在自然保护区这一特定条件下进行，所以评价方向主要从自然保护区建立的目标和意义上入手。只有当森林充分发挥它在自然保护区中的作用时，才能被称之为森林的健康状态，其健康的标准以森林对自然保护区影响作用的大小和优劣来判定。纵观现阶段的自然保护区体系，主要分为保护自然生态系统的保护区、保护珍稀物种资源的保护区和保护自然遗迹的保护区<sup>[4]</sup>。在此只讨论前两类自然保护区中的森林健康的评价，此两类自然保护区最根本的目标就是保持现有自然生态系统的完整性和可持续性，所以对自然保护区森林健康的评价主要围绕森林在维持当前自然生态系统的稳定与可持续性中发挥作用的大小和优劣而展开。

## 2 指标体系的构建

### 2.1 指标体系的构成

目前，常用的森林健康的评价方法分为指示物种法和指标体系法<sup>[5]</sup>。指示物种法<sup>[6-7]</sup>主要是依据生态系统的关键物种、特有物种、指示物种、濒危物种、长寿命物种和环境敏感物种等的数量、生物量、生产力、结构指标、功能指标及一些生理生态指标来描述生态系统的健康状况。陆庆轩等<sup>[8]</sup>选取光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 作为指示物种评价了沈阳城市生态系统健康。但由于指示物种的特殊性以及森林生态系统的复杂性，选取合适的指示物种存在一定的难度，既要综合考虑到它们的敏感性和可靠性，又要明确它们对生态系统健康指示作用的强弱。指标体系法就是选取一些具有代表性的指标来综合评价生态系统健康，是从生态系统的结构、功能演替过程，生态服务和产品服务的角度来度量生态系统健康，强调生态系统与区域环境的演变关系，同时也反映生态系统的健康负荷能力及受胁迫后的健康恢复能力，反映了生态系统的不同尺度的健康评价转换<sup>[9]</sup>。陈高等<sup>[10-12]</sup>选取自然、经济、社会等指标构建了森林生态系统健康评价体系，并对长白山阔叶树-红松 *Pinus koraiensis* 生态系统进行了健康评价。

本研究整合国内外自然保护区和森林健康的研究成果，采用指标体系法，构建了自然保护区森林健康评价指标体系(表1)。原有生态系统的稳定是自然保护区存在和发展最大的保障因素，所以评价自然保护区森林健康的出发点就是评价森林在维持原有生态系统上所产生的影响。构建的指标体系从森林保持森林生态系统结构的完整性、维持其功能的稳定性以及保证其发展的可持续性等3个方面去考察评价森林对生态系统的影响。保持森林生态系统结构的完整性选取了群落层次结构、灌木层盖度和草本层盖度等3个具体指标反映。森林维持其生态系统功能的稳定主要体现在森林对生态系统物质和能量的供应价值上，所以选取林分蓄积量等指标反映。森林保证其生态系统发展的可持续性则选择林下更新和一些抗性指标反映。此外，自然保护区还发挥着教育、科研、科普及旅游等功能，指标体系选取了森林的社会价值去评价这一类功能。采用游憩价值和科研价值反映森林的社会价值，而具体的游憩价值采用旅游者数量的多少和景观结构的好坏评价，科研价值则用生态系统的典型代表性和物种的珍稀性反映。以上森林对森林生态系统的影响和森林的社会价值两类指标构成了自然生态类保护区森林健康评价体系。自然保护区另外的一项重要功能就是对特殊物种(特有物种和濒危物种)及栖息地的保护功能，体系设置了

评价森林对珍稀物种影响的指标。加上之前的两大类指标共同构成了珍稀物种资源保护区森林健康评价体系。森林对于珍稀动物的影响选取森林对珍稀动物栖息地环境和提供食物两方面来反映评价。森林对于珍稀植物的影响则选取森林与其竞争关系这一指标反映。

表 1 自然保护区森林健康评价指标体系

Table 1 Assessment system of forest health in nature reserves

一级指标	二级指标	三级指标	一级指标	二级指标	三级指标
森林对自然保护区的生态系统影响	保持生态系统结构的完整性	群落层次结构	森林对珍稀物种影响	游憩价值	林火灾害
		灌木层盖度			旅游影响
		草本层盖度			砍伐采挖
		林龄结构			景观结构
		林分类型			旅游者数量
	维持生态系统功能的稳定性	生物多样性		典型代表性	
		郁闭度		珍稀性	
		林分蓄积量		动物栖息地环境	
	保证生态系统发展的可持续性	乔木层更新		动物的食物来源	
		病虫灾害		针对珍稀植物物种的影响	

## 2.2 评价模型

本研究采用加权平均法计算自然保护区森林健康综合指数(health comprehensive index,  $I_{HC}$ )<sup>[14]</sup>,  $I_{HC} = \sum_{i=1}^n (S_i W_i)$ 。其中:  $n$  为各级指标层中指标总数;  $S_i$  为各指标层中第  $i$  项度量指标的分值;  $W_i$  为各指标层中第  $i$  项度量指标的权重值。

因为构建的评价体系之各指标的来源不同, 其数据间的量纲不统一, 无可比性, 必须对参评指标数据进行标准化处理, 标准化的方法为:  $\nu' = (\nu - \nu_{\min}) / (\nu_{\max} - \nu_{\min})$ 。式中:  $\nu'$  为各要素指标标准化后的数值;  $\nu$  为各要素指标数值;  $\nu_{\max}$  为各要素指标中的最大值;  $\nu_{\min}$  为各要素指标中的最小值。

## 2.3 指标的度量与权重的确定

指标的测度可以直接用数值度量, 对于无法确定具体数值的, 采用定性评分中的等级评分法进行数量化, 将指标根据优劣分为几个等级。有些指标既可以采用数值度量, 也可以根据具体的度量情况采用定性的等级标准, 由于各项指标的计算方法及考核目标不同, 分级标准也有所不同<sup>[13]</sup>。各指标具体等级划分如表 2。本研究根据实际情况采用 Delphi-AHP 法<sup>[14]</sup>确定指标的权重。首先请林业专家、生态专家、保护区专家和保护区管理人员等 25 人, 按照郭鹏等<sup>[17]</sup>改进的 9 级记分法作相对重要性判断, 得各指标权重的判断矩阵; 再采用几何平均法计算划分指标的权重; 最后进行一致性检验: 当判断矩阵一致性指标  $I_c < 0.1$  和随机一致性比率  $C_R < 0.1$ , 即通过检验, 否则须调整判断矩阵。

## 2.4 健康等级的划分

根据自然保护区的特点和实际情况, 结合专家意见, 将保护效果评价等级和森林自身健康评价等级划分为 5 个级别<sup>[16]</sup>: 优秀健康( $72 \leq \text{健康综合指数} \leq 100$ ), 良好健康( $63 \leq \text{健康综合指数} < 72$ ), 一般健康( $54 \leq \text{健康综合指数} < 63$ ), 亚健康( $40 \leq \text{健康综合指数} < 54$ )和不健康( $\text{健康综合指数} < 40$ )等 5 个状态。

## 3 案例分析

### 3.1 研究地概况

百花山国家级自然保护区位于北京西郊,  $39^{\circ}49' \sim 39^{\circ}53'N$ ,  $115^{\circ}30' \sim 115^{\circ}38'E$ , 总面积 2.17 万  $hm^2$ , 其中核心区面积 0.68 万  $hm^2$ , 缓冲区面积 0.49 万  $hm^2$ , 试验区面积 1.00 万  $hm^2$ , 属于森林生态系统类型自然保护区, 是北京市目前面积最大的高等植物和珍稀野生动物自然保护区。百花山属于典型大陆性季风气候, 冬季寒冷干燥, 最冷月均温为  $-10.0^{\circ}\text{C}$ ; 夏季炎热, 最热月均温为  $21.0^{\circ}\text{C}$ ; 年降水量

表2 各指标等级划分标准

Table 2 Index grade division criterion

等级与分值	I [8, 10]	II [6, 8]	III [0, 6)
群落层次结构	具有乔灌草层的复层林结构	具有乔灌草层的单层林结构	缺少灌木或草本的林分
灌木层盖度	$\geq 0.8$	0.5 ~ 0.8	$< 0.5$
草本层盖度	$\geq 0.8$	0.5 ~ 0.8	$< 0.5$
林龄结构	异龄林或近成熟林	中龄林	幼龄林
林分类型	天然林	飞播林	人工林
郁闭度	0.5 ~ 0.85	$\geq 0.85$ 或 0.3 ~ 0.5	$< 0.3$
林分蓄积量/(m <sup>3</sup> ·hm <sup>-2</sup> )	$\geq 114$	84 ~ 114	$< 84$
病虫灾害	较轻, 在生态系统可调节范围内, 病虫害发病率<10%	中等, 在生态系统可调节范围内, 病虫害发病率10%~30%	严重, 超出生态系统可调节范围, 病虫害发病率>30%
林火灾害	难燃类林, 林下植被盖度<0.4	可燃类林, 林下植被盖度0.4~0.6	易燃类林, 林下植被盖度>0.6
旅游影响	自然性完好, 无旅游痕迹	离旅游道路较远, 受旅游影响较小	离道路较近, 受旅游影响大
砍伐采挖	管理严格, 无砍伐采挖现象	偶见一些砍伐采挖, 尚在生态系统承受范围内	看法采挖现象严重, 生态系统受到严重破坏
乔木层更新	林下更新较多, 且长势良好, 更新数 $\geq 2500$ 株·hm <sup>-2</sup>	林下更新数量一般, 更新数1~2500株·hm <sup>-2</sup>	林下无更新或偶见更新, 更新数<1000株·hm <sup>-2</sup>
景观结构	森林景观优美, 视觉效果好	森林景观一般, 视觉效果中	森林景观差, 视觉效果差
旅游者数量	游客数量多	游客数量一般	游客数量很少
典型代表性	具有典型当地自然生态系统特征, 保存完好	代表性一般, 自然性保存较好	自然性受破坏严重, 不具有典型代表性
珍稀性	林内有国家一二级珍稀保护物种	林内有一种或者几种当地保护物种	无重点保护物种且比较常见
动物栖息地环境	为珍稀动物提供优良的生存环境, 有利于其繁衍	基本满足珍稀动物的生存需要	无法满足珍稀动物的生存需要
动物食物来源	充分满足珍稀动物的食物需要	基本满足珍稀动物的食物需要	不能满足珍稀动物的食物需要
种间关系	有利于珍稀植物的生存, 互利共生关系	不影响珍稀植物的生存	严重影响珍稀植物的生存, 竞争关系

为700 mm, 主要集中在6~8月。百花山地区的原始天然植被是典型暖温带落叶阔叶林, 但由于长期的人为破坏, 原始植被几乎不存在, 现在多为天然次生林和人工林。该地区的主要天然森林群落类型包括白桦 *Betula platyphylla* 林, 辽东栎 *Quercus liaotungensis* 林, 山杨 *Populus davidiana* 林, 棘皮桦 *Betula dahurica* 林等。人工林主要为华北落叶松 *Larix principis-rupprechtii* 林和油松 *Pinus tabulaeformis* 林等<sup>[17]</sup>。主要灌木有小花溲疏 *Deutzia parviflora*, 胡枝子 *Lespedeza bicolor*, 绒毛绣线菊 *Spiraea dasyantha* 等。草本主要有糙苏 *Phlomis umbrosa*, 玉竹 *Polygonatum odoratum* 和藜芦 *Veratrum nigrum* 等。

### 3.2 调查研究方法

采用标准地调查法于2008年7月对百花山国家级自然保护区进行全面踏查, 从中选择具有代表性的15个样地(P1~P15)进行研究, 样地面积为600 m<sup>2</sup>。这些样地包含了华北落叶松、白桦、山杨、棘皮桦、辽东栎等保护区的主要树种。样地调查的内容有样地总面积、海拔、坡度和坡向。植物多样性调查采用样方调查, 其中乔木调查涉及乔木的种类、林龄、郁闭度、胸径、树高、枝下高和冠幅。灌木调查涉及灌木的种类、高度、盖度和数量。草本调查涉及草本植物的种类、高度、盖度和数量。

### 3.3 评价结果

3.3.1 百花山国家级自然保护区不同区域标准地健康状况 如表3和图1所示, P1~P5为核心区内的样地, 其中只有P1是健康状态, 其健康综合指数达到了55.5, 其余的4块为亚健康状态, 主要原因是P1为辽东栎林, 是典型的温带阔叶天然林, 位于百花山保护区的百花草甸的南坡, 生长优秀, 具有较

高的生物多样性指数和完整乔灌草结构, 受旅游影响小。P2 同样为辽东栎天然林, 但与 P1 相离较远, 位于百草畔的东南坡, 生态条件较 P1 差, 其群落层次结构得分和生物多样性指数较 P1 低, 受旅游影响较 P1 大, 故健康综合指数也低。P3 为棘皮桦天然林, 处于百花山山顶草甸, 生长环境较恶劣, 缺少灌木层, 生物多样性较低, 靠近旅游道路, 受到了一定的人为干扰, 故健康综合指数为 15 块样地中最低, 仅为 41.7, 需要加强有效管理和保护。P4 和 P5 是华北落叶松林, 处

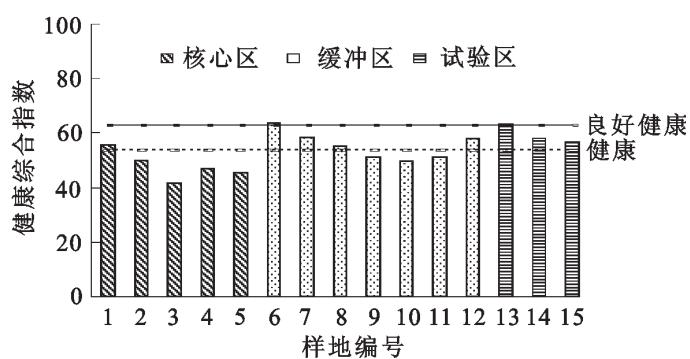


图 1 百花山保护区各样地健康等级

Figure 1 Health grade of plots in Baihuashan Nature Reserve

表 3 百花山国家级自然保护区各样地部分指标得分

Table 3 Some index scores in Baihuashan National Nature Reserve

样地	林分	区域	海拔/m	起源	各指标得分				
					群落层次结构	生物多样性	病虫灾害	林火灾害	旅游影响
P1	辽东栎林	核心区	1 807	天然林	7.8	1.7	6.5	6.5	8.2
P2	辽东栎林	核心区	1 809	天然林	6.8	1.5	6.7	6.1	8.5
P3	棘皮桦林	核心区	1 810	天然林	5.5	1.0	9.1	5.1	7.3
P4	落叶松林	核心区	1 890	人工林	6.1	0.7	8.2	6.5	8.6
P5	落叶松林	核心区	1 905	人工林	5.0	0.7	8.6	7.0	9.2
P6	白桦林	缓冲区	1 399	天然林	9.1	1.9	8.2	4.6	4.0
P7	辽东栎林	缓冲区	1 406	天然林	9.5	2.0	6.8	6.2	8.0
P8	辽东栎林	缓冲区	1 510	天然林	9.3	2.1	6.2	6.3	7.3
P9	辽东栎林	缓冲区	1 625	天然林	8.5	1.7	7.6	7.0	7.5
P10	棘皮桦林	缓冲区	1 802	天然林	7.1	1.6	8.2	5.6	7.0
P11	落叶松林	缓冲区	1 419	人工林	7.3	1.0	9.2	4.0	5.5
P12	落叶松林	缓冲区	1 650	人工林	8.6	1.7	7.5	6.5	6.7
P13	辽东栎林	试验区	1 292	天然林	8.9	2.0	8.6	6.0	6.5
P14	白桦林	试验区	1 340	天然林	8.9	2.2	7.8	5.3	4.2
P15	落叶松林	试验区	1 267	人工林	7.5	1.4	8.1	4.2	4.3

于亚健康状态, 其健康综合指数较低的主要原因是 2 块样地处于百花山的顶峰, 生长环境较恶劣, 同时由于是飞播造林, 林分密度大, 林下缺少灌草, 华北落叶松下枝由于缺少光照而大部分枯死。P6 ~ P12 位于缓冲区, 其中天然林的健康综合指数相对人工林高, 它们具有比较高的生物多样性指数, 旅游影响总体上比较小, 自然性保存完好。P6 为白桦天然林, 群落层次完整, 生物多样性高, 病虫害很少, 其健康综合指数为 63.5, 是 15 块样地中最高的, 但是自身的易燃性和较大的林下盖度, 以及离游览道路较近, 受旅游危害大, 影响了其健康程度, 这是保护区需要特别注意和改善的方面。P7, P8, P9 均为辽东栎天然林, 其中 P7 和 P8 较 P9 群落层次完整, 生物多样性指数高, 其健康程度也较 P9 高。P10 为棘皮桦天然林, 由于生长环境较 P3 良好, 群落层次也较完整, 故其健康综合指数比 P3 高。P11 和 P12 为落叶松人工林, 但 P11 距离旅游道路近, 附近建有供游人休息的木亭, 受旅游影响较大, 同时其生物多样性指数较低, 抗火灾能力较弱, 使得它处于亚健康状态。而 P12 则有完整的群落结构, 更新情况好以及较高的生物多样性和林分蓄积量, 使它处于健康状态。P13 ~ P15 处于试验区, 由于保护区有效的管理, 其层次结构较为完整, 生物多样性指数也较高, 健康综合指数总体较高。尤其是 P13 为辽东栎天然林较高的生物多样性, 更新良好, 其健康综合指数为 63.2, 处于良好健康状态。

3.3.2 天然林与人工林健康关系 全部样地中，天然林样地有10块，其中健康以上状态的有6块，占天然林样地总数的60%；人工林样地有5块，其中健康以上状态的有2块，占人工林样地总数的40%。总体上天然林健康程度要高于人工林，主要原因是天然林有完整的群落结构，灌草层较发达，而人工林由于人工抚育等原因，灌草层缺失或长势不好，生物多样性较低，造成生态系统不稳定。但是天然林存在一些不稳定因素，如病虫害较重，林火威胁大等。

3.3.3 标准地病虫害 由表3可知，在15块样地中，落叶松、棘皮桦和白桦的病虫害比较低，这与其抗病性强有关，辽东栎大部分都有虫害，但是很少有严重危害其生长的，大部分都在其生态系统可以调节范围内，但P8的病虫害较为严重。

3.3.4 旅游影响分析 旅游管理是保护区管理中的一个重要环节，15块样地中，受旅游影响较大的样地，其健康综合指数也较低，反映出旅游对森林健康有较大的影响力。针对旅游的破坏，保护区应当加强旅游管理和游人教育，使其自觉保护自然环境，同时采取有效措施修复受损的生态系统。在百花山国家级自然保护区所有15块样地中，有8块样地处于健康以上状态，占全部样地数的53.3%，而亚健康状态样地的比例为46.7%。反映出百花山国家级自然保护区目前的森林总体健康状况良好，但是处于亚健康状态的森林数量较多。核心区5块样地中只有1块样地处于健康状态，占核心区样地数的20%，而缓冲区为57.1%，试验区为100%，所以总体上百花山国家级自然保护区中核心区健康程度较差，主要原因在于核心区的自然条件比较恶劣，旅游干扰比较大。保护区应针对这一情况，加强日常管理与保护，作好病虫害防治与火灾预防，同时加强对游客的宣传教育和有效管理以减少旅游的干扰破坏，目前在百花草甸已建成的木栈道就是一项比较有效的管理保护措施，但保护与管理仍需加强。

## 4 讨论

对自然保护区的森林进行健康评价是森林健康评价在自然保护区的应用，有别于普通的森林健康评价。普通的森林健康评价，如陈高等<sup>[10-11]</sup>用健康距离评价分析了长白山阔叶红松林生态系统健康。鲁绍伟等<sup>[19]</sup>选取群落层次结构等8个指标对北京八达岭林场森林进行了健康评价。都是针对森林这个整体来评价其健康的，没有以森林影响力为主要评价对象，这样的评价对评价自然保护区森林健康不具有适用性。本研究从评价森林影响力入手，考虑到了森林在不同保护区所发挥的不同作用，建立一整套针对自然保护区特定条件的评价指标体系，对自然保护区的发展和管理是一种有意义的尝试。

指标的选取一直都是困扰森林健康评价的一个重要因素，有的指标选取过于复杂，无法突出重点，如李秀英<sup>[20]</sup>选取了过多的土壤指标，陈高等<sup>[10]</sup>的指标过于分散，有的指标选取过少<sup>[19,21]</sup>，无法全面反映出森林的状况。目前很多自然保护区的评价多集中在评价自然保护区代表性、自然性和面积适宜性等，多数没有考虑到森林对自然保护区重要的保障与支撑作用。应该在评价自然保护区时加入对保护区森林的评价，将它作为自然保护区安全性评价的一个重要方面，同时也为保护区的研究开创一个新的方向。

本研究通过建立的自然保护区森林健康的评价指标体系，对北京百花山国家级自然保护区的森林进行了健康评价，得出了其森林健康状况，结果与实地调查的情况基本一致，说明所建立的指标体系的适用性。希望结果能够为百花山国家级自然保护区的建设和管理提供一种有价值的参考。

## 参考文献：

- [1] 王彦辉. 德国等欧洲国家森林受害及监测[C]//中国林业科学研究院. 面向21世纪的林业：可持续发展战略下的林业科学技术. 北京：中国农业科学技术出版社，1998：447–455.
- [2] 胡涌，李吉跃，冯仲科. 森林生态系统健康监测评价的3S技术体系[J]. 北京林业大学学报，2005，27(supp 2)：24–27.  
HU Yong, LI Jiyue, FENG Zhongke. 3S technology for monitoring and assessing forest ecosystem health [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, 27 (supp 2): 24–27.
- [3] RAPPORT D J. Gaining respectability: development of quantitative methods in ecosystem health [J]. *Ecosyst Health*, 1999, 5: 1–2.
- [4] 薛达元，蒋明康. 中国自然保护区类型划分标准的研究[J]. 中国环境科学，1994，14(4): 246–250.

- XUE Dayuan, JIANG Mingkang. A study on categories standard of nature reserves in China [J]. *China Environ Sci*, 1994, **14** (4): 246 – 250.
- [5] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 生态系统健康评价: 方法与方向[J]. 生态学报, 2001, **21** (12): 2106 – 2116.  
MA Keming, KONG Hongmei, GUAN Wenbin, et al. Ecosystem health assessment: methods and directions [J]. *Acta Ecol Sin*, 2001, **21** (12): 2106 – 2116.
- [6] LEOPOLD J C. Getting a handle on ecosystem health [J]. *Science*, 1999, **276**: 887.
- [7] NOBLE I R, DIRZO R. Forests as human-dominated ecosystems [J]. *Science*, 1997, **277**: 522 – 525.
- [8] 陆庆轩, 何兴元, 魏玉良, 等. 沈阳城市森林生态系统健康评价研究 [J]. 沈阳农业大学学报, 2005, **36** (5): 580 – 584.  
LU Qingxuan, HE Xingyuan, WEI Yuliang, et al. Studies on health evaluation of Shenyang urban forest ecosystem [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2005, **36** (5): 580 – 584.
- [9] 孔红梅, 赵景柱, 马克明, 等. 生态系统健康评价方法初探[J]. 应用生态学报, 2002, **13** (4): 486 – 490.  
KONG Hongmei, ZHAO Jingzhu, MA Keming, et al. Assessment method of ecosystem health [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2002, **13** (4): 486 – 490.
- [10] 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. Assessing forest ecosystem health (I)model, method and index system [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, **15** (10): 1743 – 1749.
- [11] 陈高, 邓红兵, 代力民, 等. 森林生态系统健康评估(II)案例实践[J]. 应用生态学报, 2005, **16** (1): 1 – 6.  
CHEN Gao, DENG Hongbing, DAI Limin, et al. Assessing forest ecosystem health (II)a case study [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2005, **16** (1): 1 – 6.
- [12] 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.
- [13] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系(II)方法与案例[J]. 生态学报, 2002, **22** (8): 1231 – 1239.  
CUI Baoshan, YANG Zhifeng. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands(II)an application [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, **22** (8): 1231 – 1239.
- [14] 张秋根, 王桃云, 钟全林. 森林生态环境健康评价初探[J]. 水土保持学报, 2003, **17** (5): 16 – 18.  
ZHANG Qiugen, WANG Taoyun, ZHONG Quanlin. Forest eco-environment health assessment [J]. *J Soil Water Conserv*, 2003, **17** (5): 16 – 18.
- [15] 郭鹏, 郑唯唯. AHP 应用的一些改进[J]. 系统工程, 1995, **13** (1): 28 – 31.  
GUO Peng, ZHENG Weiwei. Certain improvements in application of AHP [J]. *Syst Eng*, 1995, **13** (1): 28 – 31.
- [16] 李金良, 郑小贤. 北京地区水源涵养林健康评价指标体系的探讨[J]. 林业资源管理, 2004 (1): 31 – 34.  
LI Jinliang, ZHENG Xiaoxian. The forest health assessment indicator system for the water conservation forests in Beijing Area [J]. *For Resour Manage*, 2004 (1): 31 – 34.
- [17] 刘明旺, 任宪威. 北京百花山植物种间相关性和植被数量分类[J]. 北京林业大学学报, 1992, **14** (4): 77 – 84.  
LIU Mingwang, REN Xianwei. Plant interspecific correlation and a vegetation numerical classification of Mount Baihua in Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 1992, **14** (4): 77 – 84.
- [18] 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. Health assessment of forest ecosystem in Badaling Forest Center [J]. *J Soil Water Conserv*, 2006, **20** (3): 79 – 82.
- [19] 李秀英. 森林健康评估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: The Chinese Academy of Forestry, 2007.
- [20] 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. The forest health assessment indicators and application [J]. *J Agric Univ Hebei*, 2006, **29** (2): 68 – 71.