

森林生态系统健康快速评价研究

范敏锐, 吕锡芝, 余新晓, 张振明, 周彬, 赵阳

(北京林业大学 水土保持学院, 水土保持荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 运用北京市“十五”森林资源二类清查数据, 以北京市西山林场为例, 从森林生态系统的完整性、稳定性、可持续性建立森林生态系统健康快速评价指标体系。使用层次分析法确定指标权重, 运用综合评价模型对森林小班尺度上北京市西山林场森林生态系统健康状况进行了评价。结果表明, (1) 北京西山林场 367 个小班中, 70.3% 的小班处于亚健康状态。(2) 确定的 3 类 8 个指标, 能比较客观地反映北京市西山林场森林生态系统的健康状况, 且简便易用, 具有一定的科学性和可操作性。

关键词: 森林生态系统; 健康快速评价; 北京市西山林场

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)03-0196-05

中图分类号: S718.5

Rapid Assessment of Forest Ecosystem Health

FAN Min-rui, LU Xi-zhi, YU Xin-xiao, ZHANG Zhen-ming, ZHOU Bin, ZHAO Yang

(Key Laboratory of Soil and Water Conservation & Desertification Combating of the Ministry of Education, and College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: According to forest resources inventory of the Tenth Five-year Plan in and by taking Xishan Forest Farm of Beijing City as an example, a rapid assessment indicator system of forest ecosystem health is established based on the integrality indicator, stability indicator, and sustainability indicator. Indicator weight is determined by applying the method of AHP. By using forest health assessment model, the health assessment in Xishan Forest Farm at subplot scale is studied. Results show that there are 367 subplots in Xishan Forest Farm and 70.3% of them are in sub-health condition. The eight indexes determined can reflect the forest ecosystem health statement of Xishan Forest Farm and they are easy to use, with a certain degree of science and operation.

Keywords: forest ecosystem; rapid health assessment; Xishan Forest Farm of Beijing City

我国是一个森林资源相对匮乏, 森林覆盖率和森林资源人均拥有量都低于世界平均水平的国家。虽然我国林业建设取得了巨大的成绩, 但森林生态系统健康状况却存在着较严重的问题^[1]。北京作为我国的首都, 林业建设取得了巨大成就, 但同时也产生了森林结构不合理, 林地生产力衰退, 生态功能低下, 社会服务功能不突出等诸多问题^[2]。森林生态系统健康在林业上是一个较新的术语, 也作为一个新的森林经营理念, 正日益受到社会各界的广泛关注^[3-5]。

目前森林生态系统健康评价主要从活力、组织结构和恢复力 3 个方面来定义。针对森林的某一问题, 健康指标体系是明确的和具体的。如针对森林火灾管理, 美国学者采用林分密度、树种组成、生长率与死亡率之比、生长量与采伐量之比 4 个指标对美国国有林的健康进行分析^[6]。对林业有害生物而言, 澳大利

亚的森林健康监测中, 使用了遥感技术开展辐射松落叶病的危害情况评估^[7]。但针对综合意义上的森林健康, 建立森林健康的指标体系则存在比较大的困难。美国林业局从可操作性入手, 将森林健康的评价与森林健康监测和森林资源调查结合提出了指标体系^[8]。国内也有许多学者对森林生态系统健康评价的指标体系进行探讨。孔红梅^[9]、李秀英^[10]等建立了森林生态系统健康评价指标体系, 但孔红梅的指标中土壤动物因素比例过大, 李秀英的指标中的土壤状况指标考虑过细, 结果有局限性^[11]。陈高^[12]提出用 HD 法(健康距离法)来衡量森林的健康情况, 并构建一套十分庞大的指标体系, 虽然指标较全面, 但指标过多, 数据收集困难。李金良等^[13]、鲁绍伟等^[14]、李静锐等^[15]采用复合结构功能指标法建立指标体系进行评价, 但采用的主要是群落结构指标, 其它指标考

收稿日期: 2009-11-18

修回日期: 2010-03-30

资助项目: 林业公益性行业科研专项经费项目(200804022); 北京市科委重大项目“北京山区森林健康评价与预警研究”(D0706001000091); 国家“十一五”科技支撑计划课题“防护林体系空间配置与结构优化技术研究”(2006BAD03A0201)

作者简介: 范敏锐(1984—), 男(汉族), 吉林省乾安县人, 硕士, 主要研究方向为林业生态工程、水土保持。E-mail: fanminrui@163.com。

通信作者: 余新晓(1961—), 男(汉族), 甘肃省平凉市人, 博士, 教授, 主要研究方向为森林水文、水土保持。E-mail: yuxinxiao111@126.com。

虑较少,很难有效地反映森林生态系统健康的真实状况^[16]。以往研究指标的数据不易获取或不够全面,导致应用性较差。本研究以北京市西山林场小班作为评价对象,选取可从森林资源二类清查数据中直接或者通过简单的计算获取的指标,克服以往研究指标较难获取,应用性较差的问题,实现对目标的快速评价,旨在为北京地区建立一个具体、可操作的森林生态系统健康综合快速评价体系,从而为监测和评估北京地区的森林生态系统健康状况,制定森林可持续经营的规划和决策提供方法和依据。

1 研究区概况

北京市西山试验林场地处东经 116° 28', 北纬 39° 34', 属太行山余脉,平均海拔 300~ 400 m, 阴坡较陡,可达 30° 左右,阳坡较缓。区内地质变化复杂,主要岩石为硬砂岩,其次有辉绿岩、软砂岩、页岩、砾岩、花岗岩、石灰岩。土壤发育层次不明显,含石砾较多,一般土层厚度 40 cm 左右。属温带大陆季风气候,冬寒夏热,春季多风,年均降雨量 630 mm,集中在夏季,6—8 月份的雨量占全年雨量的 70% 以上。区内植被多为 20 世纪 50—60 年代营造的人工林。主要树种有油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、元宝枫 (*Acer truncatum*)、黄栌 (*Cotinus coggygria*)、山杏 (*Prunus armeniaca*)、白蜡 (*Fraxinus chinensis*)、栎类 (*Quercus* spp.) 等。

2 数据来源与研究方法

数据来源于北京市西山林场基础调查数据。按照《北京市“十五”森林资源调查技术规程》的小班划分标准,利用地面调查和遥感调查相结合的方法,将西山林场划分为 367 小班,涉及小班调查因子 54 个。其它搜集的数据包括北京西山林场小班图,2005 年 Landsat TM/ETM 数据遥感影像等基础地理信息。

指标权重的确定有多种方法,如层次分析法(谷建才^[17])、主成分分析法(王雄宾等^[18])、最大熵法(周文华等^[19])。本研究选用层次分析法,根据专家意见确定权重。

层次分析法是一种定量和定性相结合,将人的主观判断用数量形式表达和处理的方法,更具客观性。本文应用以下模型对北京西山林场进行森林生态系统健康评价:

$$S_i = \sum_{j=1}^n Q_{ij} \times W_j$$

式中: i —— 小班号; j —— 森林健康评价指标; n —— 评价指标个数; S_i —— 第 i 号小班森林健康评价得

分; Q_{ij} —— 第 i 号小班第 j 个指标森林健康等级得分; W_j —— 第 j 个指标权重。

根据小班指标的实际情况赋予分值。根据所赋分值、指标权重计算各小班评价指标得分,并将各指标得分加和,得到该小班的森林生态系统健康总得分。

本研究采用高志亮^[20](2007)的森林生态系统健康等级划分方法,将森林生态系统健康分为优质健康、健康、亚健康、不健康、疾病 5 个等级,各等级评价分值范围见表 1。

表 1 森林生态系统健康等级

| 健康评价 得分 | 森林生态系统健康等级 | | | | |
|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 优质 | 健康 | 亚健康 | 不健康 | 疾病 |
| S | [80, 100) | [60, 80) | [40, 60) | [20, 40) | [0, 20) |

3 森林生态系统健康快速评价指标体系的构建

3.1 评价指标的选择

生态系统的稳定性、可持续性和完整性是生态系统健康的基础,也是森林生态系统健康评价的标准^[21]。本文本着导向性、可测性、简便性的原则从生态系统的稳定性、可持续性、完整性 3 个方面选取评价指标,建立评价指标体系。完整性指标选取群落结构、植被总盖度、林分郁闭度、建群种比率;稳定性指标选取土壤侵蚀等级、森林火险等级指标;可持续性指标选取土壤厚度、近自然度指标。所选指标均为二类调查所涉及的指标。

3.2 定性指标分析及等级确定

3.2.1 群落结构指标 森林的层次结构反映了森林的物种多样性,也反映了群落的稳定性,林分层次结构完备、合理是森林生态系统完整性的重要体现。本文结合北京市森林资源二类调查技术规程划分群落结构等级^[11,20]。I 级: 群落层次丰富,包括主林层、次林层、灌木层和草本层。II 级: 林内无明显的次林层,仅见少量的小乔木存在,灌木层和草本层较发达。III 级: 基本见不到林下灌木和草本,仅有乔木存在。IV 级: 林内植被简单,仅见少量的灌木和草本层。V 级: 林下基本无乔木、灌木树种,仅有草本植物存在^[22]。群落分级情况见表 2。

3.2.2 土壤侵蚀等级指标 土壤侵蚀度是指土壤在遭受侵蚀过程中所达到的不同阶段。根据土壤侵蚀度来划分土壤侵蚀等级。结合北京市森林资源二类调查技术规程,土壤侵蚀度由土壤剖面中 A 层(表土层)、B 层(心土层)及 C 层(母质层)的丧失来衡量,具体划分

为微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、严重侵蚀。(1) 无明显侵蚀。A, B, C 这 3 层剖面保持完整;(2) 轻度侵蚀。A 层保留厚度大于 1/2, B, C 层完整;(3) 中度侵蚀。A 层保留厚度小于 1/2, B, C 层完整;(4) 强度侵蚀。A 层无保留, B 层开始裸露, 受到剥蚀;(5) 剧烈侵蚀。A, B 层全部剥蚀, C 层出露, 受到剥蚀。具体土壤侵蚀等级见表 2。

3.2.3 森林火险等级指标 火灾对森林的破坏性极大, 危害极深, 造成的经济损失也相当严重。森林火险等级评估作为科学防火的一个重要方法, 可以为森林防火提供科学有效的决策支持信息, 同时也是森林稳定性的一个重要指标。

森林火险等级根据森林群落主要树种燃烧类型确定。本文将树种燃烧类型分为 5 个等级, 树种燃烧

类型分为不燃(难利用地裸岩、其它土地)、难燃、可燃、易燃、强燃 5 个等级^[23]。

鲁绍伟(2006)通过燃烧系数对北京森林主要树种燃烧类型进行划分, 其中难燃主要树种为白榆(*Ulmus pumila*)、黑榆(*U. davidiana*)、刺槐、核桃楸(*Juglans mandshurica*)、山杏、白梨(*Pyrus bretschneideri*); 可燃主要树种为山杨(*Populus davidiana*)、糠椴(*Tilia mandshurica*)、落叶松(*Larix sp.*)、元宝枫、臭椿(*Ailanthus altissima*)、辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、暴马丁香(*Syringa reticulata*)、大叶白蜡(*Fraxinus rhynchophyll*)、黄栌、蒙桑(*Morus mongolica*)、小叶朴(*Celtis*); 易燃主要树种为油松、侧柏、华山松(*Pinus armandii*)、桦树(*Betula*); 强燃为灌木。

表 2 定性指标等级划分

| 评价指标 | 隶属等级 | | | | |
|--------|--------|--------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V |
| 群落结构 | 乔灌草复层林 | 乔灌草单层林 | 只有乔木 | 灌草 | 草本 |
| 土壤侵蚀等级 | 微度侵蚀 | 轻度侵蚀 | 中度侵蚀 | 强度侵蚀 | 严重侵蚀 |
| 森林火险等级 | 不燃 | 难燃 | 可燃 | 易燃 | 强燃 |
| 近自然度 | 一级 | 二级 | 三级 | 四级 | 五级 |

3.2.4 近自然度指标 近自然度是对森林自然化程度的一种量化描述, 表示森林接近自然状态的程度, 是在现实植物群落结构与自然群落之间的一个比较性描述。近自然度是根据外业调查中对具体地段上的不同植物群落的空间位置、物种组成、立地条件、演替阶段等因素的记录综合评定的。本文根据北京市森林资源二类调查技术规程将近自然度分为如下 5 个等级。I 级: 顶极群落森林; II 级: 由顶级种和先锋种组成的过度性群落森林; III 级: 先锋群落森林; IV 级: 含有非乡土树种的先锋群落森林; V 级: 引进树种或者由乡土树种组成但在不适合的立地上造林形成的森林群落。

3.3 定量指标分析及等级确定

3.3.1 植被总盖度指标 林下植被盖度具有重要生态作用, 它可以改变林地覆被状况, 保持水土, 增加雨水渗透, 改变土壤水热条件, 是维护地力的一个重要因素^[24], 也是体现森林生态系统完整性的一个重要指标。根据北京市森林资源二类调查技术规程, 植被总盖度分级情况见表 3。

3.3.2 林分郁闭度指标 它影响林内的光照、湿度、温度等林内气候条件进而影响林下植被的生长和枯落物的分解。不合理的郁闭度对其本身生长也不利。郁闭度的分级情况见表 3。

3.3.3 建群种比率指标 建群种是优势种中的最优者, 是群落的创造者、建设者。建群种所占数量的多少对森林生态系统健康有直接的影响。建群种比率较低的林分, 通常对不良环境的抵抗力强, 稳定性高于纯林, 林木生长迅速, 并能提高土壤地力。而且林分的建群种比率对整个林分的演替和发展起到一定指导作用。具体的建群种比率等级划分见表 3。

3.3.4 土壤厚度指标 土壤厚度能直接反映土壤的发育程度, 与土壤肥力密切相关, 是野外土壤肥力鉴别的重要指标。它既是土壤养分的补源, 又是土壤矿物质元素的储存库^[25]。土层较厚说明其能够提供给林分正向演替较为有利的环境, 林分持续健康发展的潜力较大。本文结合森林资源二类调查技术规程, 将土壤厚度划分为较薄、薄、中、较厚、厚 5 个等级, 具体土壤厚度划分情况见表 3。

3.4 评价指标权重的确定

在确定评价指标体系的基础上, 各指标的权重直接影响着综合评价的结果, 科学计算各指标的权重是森林生态系统健康评价过程中的一个重要步骤。权重的确定无法用数学解析方法直接推求。本文征询了来自北京林业大学、中国林科院、北京市园林绿化局、西山林场等单位近 15 位专家的意见。本研究在参考专家意见的基础上, 采用层次分析法(analytical

hierarchy process, AHP) 来推算各个指标的权重。文中 3 个指标集是来自研究对象健康属性的 3 个方

面, 同等重要, 因此赋予相同的权重^[11], 具体分析处理结果见表 4。

表 3 定量指标等级划分

| 评价指标 | 隶属等级 | | | | |
|-------|------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | I | II | III | IV | V |
| 植被总盖度 | [80, 100] | [60, 80] | [40, 60] | [20, 40] | [0, 20] |
| 林分郁闭度 | [0.5, 0.7] | [0.3, 0.5] 或 (0.7, 0.8] | [0.2, 0.3] 或 (0.8, 0.9] | [0.1, 0.2] 或 (0.9, 0.95] | [0, 0.1] 或 (0.95, 1.0] |
| 建群种比率 | (0, 0.7) | [0.7, 0.85] | [0.85, 0.95] | [0.95, 1) | 1 |
| 土壤厚度 | (60, 90] | [45, 60] | (25, 45] | (15, 25] | [0, 15] |

表 4 小班健康评价指标权重层次分析

| 准则层权重 (W _i) | 完整性 B ₁ | 稳定性 B ₂ | 可持续性 B ₃ | 层次总排序 权重 |
|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------|
| | 0.333 3 | 0.333 3 | 0.333 3 | |
| 群落结构 C ₁ | 0.427 5 | | | 0.142 5 |
| 植被总盖度 C ₂ | 0.128 7 | | | 0.042 9 |
| 林分郁闭度 C ₃ | 0.286 5 | | | 0.095 5 |
| 建群种比率 C ₄ | 0.157 3 | | | 0.052 4 |
| 土壤侵蚀等级 C ₆ | | 0.5 | | 0.166 7 |
| 森林火险等级 C ₇ | | 0.5 | | 0.166 7 |
| 土壤厚度 C ₈ | | | 0.598 7 | 0.199 6 |
| 近自然度 C ₉ | | | 0.401 3 | 0.133 8 |

4 北京西山林场森林生态系统健康快速评价

应用上述评价指标体系对北京西山林场进行森林生态系统健康评价。以森林小班为评价单元, 依据表 2—3 的各项指标等级的划分标准, 计算林场 367 个小班的森林生态系统健康综合分值。依据表 1 进行森林生态系统健康等级划分, 评价结果见表 5。应用 ArcGIS 9.2 绘制西山林场森林生态系统健康评价等级图(图 1)。

小班为 258 个, 面积为 4 460.27 hm², 约占林场小班总面积的 72.68%。不健康的小班为 33 个, 面积为 442.16 m², 约占林场小班总面积的 7.2%。大多数小班都处于亚健康状态。因此, 北京市西山林场整体处于亚健康状态, 所以需要进行森林的可持续经营, 逐步提高森林生态系统健康等级, 更好地发挥森林的经济、社会、生态效益。

表 5 北京市西山林场小班马健康评价结果统计

| 小班健康分级类型 | 优质 | 健康 | 亚健康 | 不健康 | 疾病 |
|------------------------|-------|----------|----------|--------|-------|
| | (I 级) | (II 级) | (III 级) | (IV 级) | (V 级) |
| 数量健康分级 | 0 | 76.00 | 258.00 | 33.00 | 0 |
| 数量百分比/% | 0 | 20.71 | 70.30 | 8.99 | 0 |
| 面积健康分级/hm ² | 0 | 1 234.66 | 4 460.27 | 442.16 | 0 |
| 面积百分比/% | 0 | 20.12 | 72.68 | 7.20 | 0 |

5 结论

(1) 本文通过运用森林资源二类清查数据建立森林生态系统健康快速评价体系。确定 3 类 8 个指标。完整性指标选取群落结构、植被总盖度、林分郁闭度、建群种比率指标。稳定性指标选取土壤侵蚀等级、森林火险等级指标。可持续性指标选取土壤厚度、近自然度指标。指标均可从森林资源二类清查数据中直接或者通过简单的计算获取。通过所建立的

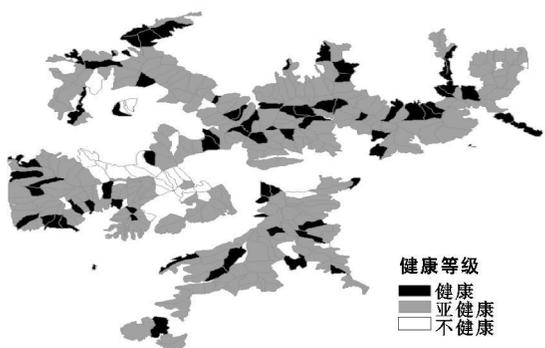


图 1 北京市西山林场森林生态系统健康评价等级

在北京市西山林场 367 个小班中, 没有优质健康森林小班, 健康的小班为 76 个, 面积为 1 234.66 hm², 约占林场总小班总面积的 20.12%。亚健康的

指标体系可对较大范围的森林生态系统健康状况进行快速评价。

(2) 将所选指标分为定性指标和定量指标, 逐个分析并确定其隶属等级。根据指标实际情况赋予分值, 运用综合模型对森林生态系统健康进行评价。指标权重的确定运用层次分析法, 将定量分析与定性分析有机结合, 系统分析, 使计算更具客观性, 避免了因主观因素而造成的误差。本研究所建立的森林生态系统健康快速评价体系, 为北京地区的森林生态系统健康监测和评估, 制定森林可持续经营的规划和决策提供方法和依据。

(3) 北京市西山林场整体处于亚健康状态。林场健康的森林小班主要由人工阔叶近熟林和人工针叶中龄林组成, 处于低海拔地区, 群落结构较复杂, 郁闭度合理, 火险等级较低; 亚健康的森林小班主要由人工针叶幼龄林组成, 处于低海拔地区, 一般群落结构较简单, 但火险等级较高; 不健康的森林小班一般群落结构单一, 郁闭度较大, 火险等级较高。

西山林场森林基本上都是 20 世纪 50 年代以后营造的人工林, 部分林分结构简单, 树种单一, 森林生态效能低, 林分稳定性差。近年来部分立地条件较差的刺槐林更是出现了衰老退化的现象, 应对其枯死木、濒死木进行清理, 通过疏伐降低其密度, 以减小林分对水分的需求。对群落结构单一, 郁闭度过大的亚健康和不健康的针叶纯林, 应该首先通过疏伐来降低林分郁闭度, 提高林木质量和灌草盖度, 适当补植乡土树种或顶级阔叶树种(如栓皮栎、蒙古栎等), 从而达到调整林分结构组成的目的, 并使其最终形成复层、异龄、混交林。

[参 考 文 献]

- [1] 李静锐, 张振明, 罗凯, 等. 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): 173-176.
- [2] 马立. 北京山地森林健康综合评价体系的构建和应用[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [3] Blatner K A, Keegan C E, O'Laughlin, et al. Forest health management policy: A case study in southw estern Idaho[M]// Sampson R N. Assessing forest ecosystem health in the land west New York: Food Product s Press, 1993, 317-338.
- [4] Kolb T E, Wagner M R, Cvington W W. Concepts of forest health: utilitarian and ecological perspectives[J]. Journal of Forestry, 1994, 92(7): 63-65.
- [5] 陈小梅, 王军. 森林健康评价研究综述[J]. 广东林业科技, 2007, 23(4): 61-65.
- [6] 沈照仁. 森林利用: 火灾与森林健康的关系[J]. 世界林业动态, 2003b(18): 3-6.
- [7] Christine Stone, Coops N C. Assessment and monitoring of damage from insects in Australian eucalypt forests and commercial plantations[J]. Australian Journal of Entomology, 2004, 43: 283-291.
- [8] John W Coulston, Mark J Ambrose, Riitters K H, et al. Forest Health Monitoring 2002 National Technical RePort General Technical Report SRS-84[R]. Asheville N C. Southern Research Station USDA Forest Service, 2005.
- [9] 孔红梅. 森林生态系统健康理论与评估指标体系研究[D]. 沈阳: 中国科学院应用生态研究所, 2002.
- [10] 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森林生态环境与保护研究所, 2006.
- [11] 甘敬. 北京山区森林健康评价研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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, 105.
- [15] 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, 2009.
- [16] 姬文元. 森林小班水平的川西米亚罗林区云冷杉林群落健康评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [17] 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: 76-102.
- [18] 王雄宾, 余新晓, 谷建才, 等. 华北土石山区油松林生态系统健康评价[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 97-102.
- [19] 周文华, 王如松. 基于熵权的北京城市生态系统健康模糊综合评价[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3244-3251.
- [20] 高志亮. 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): 77-82.
- [21] 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.
- [22] 王树森. 华北土石山区基于森林植被演替规律的森林健康的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2005.
- [23] 鲁绍伟, 余新晓, 刘凤芹, 等. 北京八达岭林场森林燃烧性及防火措施研究[J]. 北京林业大学学报, 2006, 28(3): 109-112.
- [24] 盛炜彤. 不同密度杉木人工林林下植被发育与演替的定位研究[J]. 林业科学研究, 2001, 14(5): 463-471.
- [25] 王绍强, 朱松丽, 周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J]. 地理研究, 2001, 20(2): 161-167.