

浙江农林大学学报, 2014, 31(5): 779 – 784

Journal of Zhejiang A & F University

doi:10.11833/j.issn.2095-0756.2014.05.019

黄帝陵古侧柏健康评价

杨 玲¹, 康永祥¹, 李小军², 王 富¹, 王丹阳¹, 郭 乐¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 陕西省黄帝陵管理局, 陕西 黄陵 727300)

摘要: 以黄帝陵轩辕庙内 19 株千年古侧柏 *Platycladus orientalis* 为研究对象, 在调查的基础上, 结合专家意见, 运用层次分析法(AHP, analytic hierarchy process)从树干、树冠及根系等 3 方面选取树干倾斜度、树皮完整程度、树干损伤程度、树干病虫害等 13 个评价指标, 并用 Delphi-AHP 法确定各指标相对权重, 建立古侧柏健康评价模型。且将黄帝陵古侧柏健康等级分为 4 级, 旨在无损评估古侧柏健康状况, 及时制定和调整保护与复壮方案。结果表明: 19 株古柏健康状况可分为健康、亚健康、不健康等 3 级, 其中以亚健康状态为主。评分结果表征树势强弱, 与实际调查情况一致; 并分析得出顶梢枯死、病虫害、树干损伤、立地条件差、人为干扰等是影响古侧柏健康程度的主要原因。表 6 参 13

关键词: 黄帝陵; 侧柏; 古树; 健康评价; 层次分析法

中图分类号: S758.8 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2014)05-0779-06

Health of ancient *Platycladus orientalis* in the Mausoleum of the Yellow Emperor

YANG Ling¹, KANG Yongxiang¹, LI Xiaojun², WANG Fu¹, WANG Danyang¹, GUO Le¹

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China; 2. Huangling Administration, Huangling 727300, Shaanxi, China)

Abstract: The purpose of this study was to evaluate the health of ancient *Platycladus orientalis* trees with non-destructive methods and to establish and adjust in a timely manner the relative protection and rejuvenation measures. Based on an open space survey and opinions of experts, health of the 19 ancient *P. orientalis* trees in the mausoleum of the Yellow Emperor was assessed. Thirteen evaluation indicators in terms of trunk, crown, and root, including stem gradient, bark integrity, trunk injury, and trunk pest were chosen using the Delphi-analytic hierarchy process (AHP) to determine relative indicator weights. Finally, a model for assessing ancient *P. orientalis* health was established and its health was divided into 4 grades. Results indicated 2 trees being healthy, 9 trees being sub-healthy, and 8 trees being unhealthy. The final scores symbolizing the health of the ancient trees were matched to the results of the open space survey with the main influences on tree health determined as dieback, pests and diseases, trunk injury, poor soil conditions, and interference, which can help to make the protection plan.[Ch, 6 tab. 13 ref.]

Key words: the Mausoleum of the Yellow Emperor; *Platycladus orientalis*; ancient tree; health evaluation; AHP

侧柏 *Platycladus orientalis* 为柏科 Cupressaceae 侧柏属 *Platycladus* 常绿乔木, 阳性树种, 耐寒耐旱耐瘠薄, 抗污染, 被认为是适应性强且长寿的树种之一。黄帝陵轩辕庙内现存古侧柏 19 株, 树龄均在千

收稿日期: 2013-12-09; 修回日期: 2014-02-24

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项(201404302); 西北农林科技大学重点科研专项(Z109021310)

作者简介: 杨玲, 从事古树名木保护研究。E-mail: woaisheji2011@126.com。通信作者: 康永祥, 教授, 博士, 博士生导师, 从事树木学及古树名木保护技术研究。E-mail: yxkang@nwsuaf.edu.cn

年以上,以黄帝“手植柏”、汉武“挂甲柏”为代表的古柏不仅是珍贵的自然遗产,也是重要的历史文化遗产。然而,近年来,由于古侧柏树龄较高而自身生理机能下降,加上人为破坏、管理不善、环境污染、土壤板结和地表裸露、病虫害危害等原因,黄帝陵古柏日趋衰弱甚至死亡^[1]。开展古侧柏保护与复壮工作迫在眉睫,而健康评价是及时实施保护与复壮的基础与前提。无损健康诊断技术是古侧柏健康评价的关键,也是国内外学者研究的热点。关于古树健康评价主要集中在外部特征观察和树体内部检测两方面。外观特征主要指根据树干、树冠等形态或外貌状况来判断树木的生长势^[2-4];内部检测主要检测树木心腐程度、根系分布、根系吸收能力以及病虫害情况等^[5-6]。两者各有优缺点,前者直观便于操作,但健康判断结果相对滞后;而后者判断结果准确且具有预判功能,如应力波断层成像技术^[7],但需要昂贵的仪器设备,且检测对树体有一定的损伤。基于外观特征,谢媛媛等^[8]首次运用层次分析法对北京古树的健康状况进行了符合实际的评价,取得较为满意的评价结果。目前,未见有关黄帝陵古柏健康评价的研究报道。鉴于此,本研究针对黄帝陵古侧柏的生物学特性和生长现状,建立了较为完整的古树外观评价指标体系,运用层次分析法对黄帝陵古侧柏的健康状况进行评价,为进一步制定古侧柏的保护、恢复以及复壮方案提供参考依据。

1 评价体系的建立

1.1 层次分析结构

树木的枝叶、根等生长状况可反映树木的健康情况^[9]。因此,基于前人的研究现状^[10-12],采用层次分析法(AHP)将古侧柏健康程度作为层次分析的目标层(A);按照树木结构和外貌将指标分成树干、树冠、根部等3部分,作为体系的结构层(B);选择每个结构层中能普遍反映古侧柏健康状况的性状作为指标层(C),构成黄帝陵古侧柏健康评价指标体系(表1)。

1.2 评价指标的选择与分级描述

评价指标的选择依据科学性、全面性、代表性和实用性等基本原则,在不伤害树体的基础上,所选定的评价指标尽可能全面、系统地反应古侧柏生长健康状况。在确定指标时,各指标间尽可能相互独立,相互补充,并且要求直观便于测度。未采用立地条件、生长空间等导致古侧柏生长势弱原因的因子。具体评价指标见表1。指标评分按照5级分制,从优到差依次赋值5,4,3,2,1,对每个分级说明具体的得分标准,最终构成古侧柏健康评价模型(表2)。

1.3 权重的确定

采用Delphi-AHP法确定各指标权重^[13]。

1.3.1 建立判断矩阵 本研究在前人相关研究成果的基础上^[9],结合黄帝陵古侧柏的特殊性和专家意见,根据各类指标的作用程度以及重要性不同,构成 B_1 、 B_2 、 B_3 两两比较判断矩阵

$A_{B1-B3} = \{1, 1/2, 5; 2, 1, 6; 1/5, 1/6, 1\}$; C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 两两比较判断矩阵 $A_{C1-C5} = \{1, 1/6, 15, 1/4, 1/3; 6, 1, 2, 2, 3; 5, 1/2, 1, 2, 3; 4, 1/2, 1/2, 1, 2; 3, 1/3, 1/3, 1/2, 1\}$, $C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}$ 两两比较判断矩阵 $A_{C6-C12} = \{1, 1/6, 1/2, 1/3, 1/5, 1/5, 1/4; 6, 1, 4, 3, 2, 2, 2; 2, 1/4, 1, 1/2, 1/3, 1/3, 1/4; 3, 1/4, 2, 1, 1/2, 1/2, 1/4; 5, 1/2, 3, 2, 1, 1, 1/2; 5, 1/2, 3, 2, 1, 1, 1/2; 4, 1/2, 4, 4, 2, 2, 1\}$ 。判断矩阵的标度值及含义参考表3。

1.3.2 计算各指标相对权重并进行一致性检验 ①矩阵各列归一化处理: $u_{ij} = A_{ij} / \sum_{i=1}^n u_{ij}$ ($i, j = 1, 2, 3, \dots, n$)。

表1 古侧柏健康评价指标体系

Table 1 Assessment system of ancient *Platycladus orientalis* health

目标层	结构层	指标层
古侧柏 健康程度	树干 B_1	树干倾斜度 $C_1 /(^{\circ})$
		树皮完整程度 $C_2 /%$
		树干损伤程度 $C_3 /%$
		树干病虫害 $C_4 /%$
	树冠 B_2	冠径比 C_5
		冠形 $C_6 /%$
		顶梢枯死 $C_7 /%$
	树根 B_3	枯断枝、腐枝类型及比例 C_8
		结实量 $C_9 /%$
		枝叶生长量 C_{10} /cm
		叶失绿率 $C_{11} /%$
		病虫害 $C_{12} /%$
		根系裸露程度 $C_{13} /%$

表2 古侧柏健康评价模型

Table 2 Ancient *Platycladus orientalis* health assessment model

结构层	指标层	评价指标含义	权重	评价等级含义
古侧柏健康程度	树干 B_1 树干倾斜度 (0.342) $C_1 /(^{\circ})$	因风吹、光照不均、土壤塌陷、栽植不规范或修剪不当等原因造成古侧柏树干形成一定程度的倾斜或偏冠, 影响树体的稳定性。	0.017	1: 树干倾斜度 $>20^{\circ}$; 2: $15^{\circ}\sim20^{\circ}$; 3: $10^{\circ}\sim15^{\circ}$; 4: $5^{\circ}\sim10^{\circ}$; 5: 树干通直、树干倾斜度 $\leq 5^{\circ}$ 。
	树皮完整程度 $C_2 /%$	树皮有防寒、防暑、防病虫害、运输有机养分等功能。树皮破坏将使树体自身产生的有机养分无法运送到根部, 从而使根系生长受阻, 导致树木生长不良。	0.129	1: 树皮缺失严重, 保留 $<25\%$; 2: 保留 $25\%\sim50\%$; 3: 保留 $50\%\sim75\%$; 4: 保留 $>75\%$; 5: 树皮保留完整、无损伤。
	树干损伤程度 $C_3 /%$	指树干基部腐朽、有树穴、明显的伤口、树干劈裂、中空等。树干损伤危害树体生长及其稳定性, 降低对自然灾害及病虫害的抗性, 从而导致树干腐烂, 甚至整株死亡。	0.094	1: 树干空洞, 或劈裂面积大; 2: 树干损伤或腐朽程度大、有大树穴; 3: 树干有明显伤口或腐朽、无树穴, 或有劈裂; 4: 树干有轻微损伤, 无树穴, 无劈裂; 5: 树干无明显损伤, 无腐朽、无树穴、无劈裂。
	树干病虫害 $C_4 /%$	指树干上发生的病菌或虫害侵染。病害、虫害易侵染树势较弱的植物; 且一旦发生, 容易造成大面积的危害, 是造成古侧柏直接死亡的主要原因之一。	0.063	1: 树干病虫侵害极其严重, 病虫害率 $>30\%$; 2: $21\%\sim30\%$; 3: $11\%\sim20\%$; 4: $5\%\sim10\%$; 5: 不超过 5% 。
	树冠 B_2 冠径比 (0.577) C_5	冠径比也称为树冠系数, 指树冠直径与树干胸径之比。冠径比越大, 说明枝叶生长繁茂, 长势好。	0.038	1: 冠径比值 <7 ; 2: $7\sim8$; 3: $9\sim10$; 4: $11\sim12$; 5: >13 。
	冠形 $C_6 /%$	指树冠饱满度与均匀度。树冠是从外观评价树木健康与否最为广泛使用、最直观的指标之一, 树体缺冠是树体生长状态不佳的明显指标。	0.021	1: 树冠缺失极其严重, 树枝极为不均且长势很差; 2: 树冠缺失严重, 枝叶分布凌乱、长势较差; 3: 树冠有一定程度缺失, 枝叶分布不均; 4: 树冠有少许缺失, 树冠总体形状较为规则; 5: 树冠饱满、均匀对称, 冠形优美, 无偏冠现象。
	顶梢枯死 $C_7 /%$	指树冠从顶端向下逐渐枯死的现象。顶梢枯死是反映古侧柏衰弱的良好指标。在测定时, 通过目测树干主枝顶梢枯死比例, 以及枯死程度, 并据此分级 ^[11] 。	0.165	1: $>60\%$ 顶梢枯死; 2: $40\%\sim60\%$ 顶梢枯死; 3: $20\%\sim40\%$ 顶梢枯死; 4: $<20\%$ 顶梢枯死; 5: 几乎无枯死。
	枯断枝、腐枝类型及比例 $C_8 /%$	指树冠内干枯死亡、腐烂以及由于修剪不当或风折、雪压等因素造成的断枝。且通过判断枯断枝、腐枝类型及比例来划分等级。	0.033	1: 树干枯断枝数量 $>30\%$, 且含主枝; 2: 树干枯断枝数量 $20\%\sim30\%$, 类型多为中级枝和大枝; 3: 树干枯断枝数量 $10\%\sim20\%$, 类型多为中级枝; 4: 树干枯断枝数量 $5\%\sim10\%$, 类型主要是小枝条和中级枝; 5: 树干枯断枝数量 $<5\%$, 且均为小枝。
结实量	生长势良好的树木体内营养物质充实, 当年抽生新梢、结果还能产生花芽保证次年结果量。反之, 生长势较弱的树木体内营养物质有限, 结果量大会导致次年花芽分化和新梢生长减少。	0.049	1: 较之上年结果枝条 $<10\%$, 甚至不结实; 2: 结果枝条 $10\%\sim20\%$, 果实小; 3: 结果枝条约 $20\%\sim35\%$, 果实较小; 4: 结果枝条约 $35\%\sim50\%$, 果实较大; 5: 结果枝条 $>50\%$, 果实大。	
	枝叶生长量 C_{10}/cm	健康古侧柏体内营养物质充实, 能够抽生新梢, 且越健康, 枝叶生长量越长。	0.089	1: 当年生枝叶平均生长量 $<6\text{ cm}$; 2: $6\sim8\text{ cm}$; 3: $8\sim9\text{ cm}$; 4: $10\sim12\text{ cm}$; 5: $>12\text{ cm}$ 。

表2 (续)

结构层	指标层	评价指标含义	权重	评价等级含义
树干 B ₂ (0.577)				1: 叶片呈现明显的黄褐色, 且面积>30%; 2: 叶片大面积呈现黄绿色, 且局部出现黄褐色叶片20%~30%; 3: 叶片呈现黄绿色, 占10%~20%; 4: 少许叶色表现反常, 失绿率5%~10%; 5: 叶片基本保持原有绿色, 失绿率<5%。
古侧柏健康程度	叶失绿率 C ₁₁ /%	叶片的正常与否直接影响树体光合作用, 从而影响树体健康。反之, 叶色是否正常也能反应树体健康与否。	0.089	
	病虫害 C ₁₂ /%	指枝叶上发生的病菌或虫害侵染。病虫害发生的程度直接表征树体健康程度。	0.133	1: 枝叶病虫侵害极其严重, 病虫害率>30%; 2: 21%~30%; 3: 11%~20%; 4: 5%~10%; 5: <5%。
树根 B ₃ (0.081)	根系裸露程度 C ₁₃ /%	指以树干为中心, 直径2 m内根系裸露情况。根系裸露易造成损伤, 从而影响根系的正常生长及吸收水分和养分。	0.081	1: 根系裸露>1/4; 2: 裸露1/6~1/4; 3: 裸露1/8~1/6; 4: 裸露<1/8; 5: 无根系裸露损伤。

②求判断矩阵各元素之和: $\bar{w}_i = \sum_{i=1}^n A_{ij}$ ($i=1, 2, 3 \dots, n$)。③

归一化处理: $\bar{w}_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^n \bar{w}_i$ ($i=1, 2, 3, \dots, n$)。④根据 $A_w = \lambda_{\max} w'$, 求出最大特征值及其特征向量 λ : $\lambda = \frac{1}{n} \sum_i \frac{(A_w)}{w_i}$ 。

⑤一致性检验: 随机一致性比率 $R_{\text{CR}} = I_{\text{CR}} / I_{\text{RI}}$, 其中, $I_{\text{CR}} = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$, I_{RI} 参见表4。 $R_{\text{CR}} < 0.1$, 证明判断矩阵有满意的一致性。⑥得出综合权重: 根据③求得特征向量值, 即为权重值(表2)。

2 结果与分析

2.1 综合评价分值的确定

通过健康综合评价指数法, 即: $V = \sum_{i=1}^n x_i y_i$, 得出综合健康评价分值。其中, V 表示古侧柏健康综合评价指数, x_i 表示某评价因子的权重值, y_i 表示古侧柏在某评价因子下的得分值, n 为因子数。

2.2 评价结果与健康分级

严格按照评分标准, 通过问卷调查和专家打分, 最终求得加权平均数, 得到黄帝陵轩辕庙内19株古侧柏健康评价结果(表5)。并将评价结果划分为I(健康)、II(亚健康)、III(不健康)、IV(濒死)等4级(表6)。

2.3 结果

根据评价结果可以看出: 黄帝陵轩辕庙内古侧柏大致分为健康、亚健康、不健康等3类, 其中以亚健康为主。结合调查结果, 健康古柏5号和11号生长势良好, 树干无明显损伤; 树冠饱满枝繁叶茂, 叶色正常; 病虫害发生率小于5%; 树基周围草坪面积较大, 除苔藓外无其他寄生植物, 人为干扰相对较小。而不健康的1号(手植柏)、7号、12号(将军柏)、13号等古柏生长势较差, 顶梢枯死和叶片失绿严重, 病虫害发生较为严重; 其中12号和13号, 16号, 17号古柏树干脱皮和损伤较严重, 枯枝量

表3 判断矩阵标度值及其含义

Table 3 Values of A_{ij} and their implications

A_{ij}	含义
1	A_i 与 A_j 同等重要
3	A_i 比 A_j 稍微重要
5	A_i 比 A_j 明显重要
7	A_i 比 A_j 非常重要
9	A_i 比 A_j 及其重要
2, 4, 6, 8	1~3, 3~5, 5~7, 7~9的中间值
$A_{ji} = 1/A_{ij}$	表示 A_j 比 A_i 不重要程度

表4 平均随机一致性指标 R_{RI} 的值Table 4 Values of the average random consistency index R_{RI}

n	R_{RI}
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51

较大; 7号, 12号, 13号树基周围草坪面积相对较小, 且被践踏板结; 生长空间因建筑物部分受阻, 叶片烟尘污染严重。

表5 古侧柏健康评价结果

Table 5 Results of ancient *Platycladus orientalis* health assessment

编号	树高/m	胸径/m	冠幅/m	分值	健康等级
1	19.5	2.675	18.0	2.879	Ⅲ
2	17.5	1.433	17.4	2.963	Ⅲ
3	11.5	1.051	16.5	3.543	Ⅱ
4	16.5	1.656	12.3	3.291	Ⅱ
5	17.5	1.592	14.9	4.227	Ⅰ
6	17.5	1.115	11.7	3.727	Ⅱ
7	16.5	1.497	14.7	2.893	Ⅲ
8	19.5	1.178	13.3	3.154	Ⅱ
9	15.5	1.592	12.1	3.824	Ⅱ
10	18.5	1.847	15.3	3.470	Ⅱ
11	16.5	1.656	17.8	4.090	Ⅰ
12	15.0	1.624	12.9	2.695	Ⅲ
13	11.5	1.401	11.1	2.324	Ⅲ
14	12.0	1.401	12.5	2.746	Ⅲ
15	14.5	1.592	16.0	3.106	Ⅱ
16	16.5	1.338	13.3	2.490	Ⅲ
17	16.5	1.720	13.0	2.947	Ⅲ
18	16.0	1.688	15.2	3.426	Ⅱ
19	15.5	1.242	12.2	3.977	Ⅱ

3 结论与讨论

本研究在调查的基础上, 结合专家意见及前人研究现状选取黄帝陵古侧柏健康评价指标, 并通过层次分析法确定各指标相对权重, 构建完成黄帝陵古柏健康评价模型, 为今后古柏健康状况评价提供方法借鉴, 为进一步制定古侧柏保护与恢复技术方案提供基础资料。

本研究评价指标选择上, 摒弃传统树木健康评价系统中的立地土壤条件、生长空间、寄生等间接因素, 而将它们作为可能影响古侧柏衰弱死亡原因进行分析研究。权重赋值方面, 邀请专家根据标度值对各指标做相对重要性判断以建立两两矩阵, 使各指标的重要性排序更合理准确; 结构层因根系部分只选择了地面可观察的根部裸露情况, 未对地下根系生长更新及健康情况进行调查, 所以根系指标权重(0.081)相对树干(0.342)、树冠(0.577)较低。指标层因顶梢枯死是树木衰老最明显最直接的特征之一, 顶梢枯死权重(0.159)相对较大; 而树干倾斜(0.016)与古柏健康程度相关性最小, 因此权重较小。

评价结果显示, 黄帝陵古侧柏以亚健康状态为主。评价结果的分值大小与树势强弱成正相关, 相同健康等级的古柏健康程度存在不同。例如, 同为亚健康状态19号与15号古侧柏分值差距较大, 说明15号树树势相对较弱, 甚至接近不健康状态; 而同为不健康的1号手植柏和12号将军柏分值也有差距, 证明12号古侧柏树势较弱, 此评价结果与实际调查结果一致, 表明指标体系有较好的适用性。结合调查结果, 经分析顶梢枯死、病虫害、树干损伤、立地条件差和人为干扰等是影响黄帝陵古侧柏健康状况的主要原因。在保护过程中应加强养护管理和病虫害防治, 适度改善立地土壤条件等。

古侧柏的生长受诸多内因和外因影响, 作为一个古侧柏健康初步评价体系不可能涉及所有的因素。

表6 古侧柏健康等级表

Table 6 Grade division of ancient *Platycladus orientalis* health

健康等级	综合指数
I (健康)	>4.0
II (亚健康)	3.0~4.0
III (不健康)	2.0~3.0
IV (濒死)	<2.0

本研究以不损害古树为前提,尝试从外在易观测、综合的树体形态指标来反映古侧柏的健康状况,为科学管理及保护古侧柏提供新思路。在实践工作中,可根据本评价体系得出的评价结果,针对不健康、濒危的古侧柏还应结果相关仪器,测定能表征古侧柏衰弱程度的生理和分子指标,以进一步准确分析影响古侧柏健康的关键因子。同时,加强养护管理,及时制定和调整古侧柏的保护与复壮技术方案。

参考文献:

- [1] 刘铭汤,戴建昌.黄帝陵古侧柏死亡原因调查[J].西北林学院学报,1995,10(2):109-111.
LIU Mingtang, DAI Jianchang. On death of *Platycladus orientalis* in Huangdiling Tomb [J]. *J Northwest For Coll*, 1995, 10(2): 109 - 111.
- [2] 池敏杰,刘海桑,游思洋,等.古榕树健康诊断初探[J].亚热带植物科学,2010,39(3):21-23.
CHI Minjie, LIU Haisang, YOU Siyang, et al. The diagnosis of the ancient trees of *Ficus microcarpa* [J]. *Subtrop Plant Sci*, 2010, 39(3): 21 - 23
- [3] 刘静鹤,辛国旗,邱晓军,等.古树名木健康安全分析及复壮养护技术[J].中国园艺文摘,2009,25(11):63-64.
LIU Jinghe, XIN Guoqi, QIU Xiaojun, et al. The ancient and famous trees in health and safety analysis and re-juvenation maintenance technology [J]. *Chin Hort Abstract*, 2009, 25(11): 63 - 64.
- [4] MATTHECK C, BRELOER H, LONADEL D, et al. *The Body Language of Trees: A Handbook for Failure Analysis* [M]. London: HMSO Publications Centre, 1994: 203.
- [5] 刘颂颂,叶永昌,朱纯,等.东莞市古树名木健康状况初步研究[J].广东园林,2008,30(1):55-56.
LIU Songsong, YE Yongchang, ZHU Chun, et al. A preliminary study in the healthy condition of ancient and famous trees in Dongguan, Guangdong [J]. *Guangdong Landsc Arch*, 2008, 30(1): 55 - 56.
- [6] RINN F, SCHWEINGRUBER F H, SCHÄR E. RESISTOGRAPH and X-ray density charts of wood comparative evaluation of drill resistance profiles and X-ray density charts of different wood species [J]. *Holzforschung*, 1996, 50(4): 303 - 311.
- [7] 梁善庆,胡娜娜,林兰英,等.古树名木健康状况应力波快速检测与评价[J].木材工业,2010,24(3):13-15.
LIANG Shanqing, HU Nana, LIN Lanying, et al. Rapid defect detection and structural assessment of ancient and famous trees [J]. *China Wood Ind*, 2010, 24(3): 13 - 15.
- [8] 谢媛媛,吴海龙,黄灏峰,等.北京古树健康评价[J].林业资源管理,2012(6):71-75.
XIE Yuanyuan, WU Hailong, HUANG Haofeng, et al. Ancient trees' health evaluation in Beijing [J]. *For Resour Manage*, 2012(6): 71 - 75.
- [9] 翁殊斐,黎彩敏,庞瑞君.用层次分析法构建园林树木健康评价体系[J].西北林学院学报,2009,24(1):177-181.
WENG Shufei, LI Caimin, PANG Ruijun. Establishment of landscaping tree health assessment model using analytic hierarchy process [J]. *J Northwest For Univ*, 2009, 24(1): 177 - 181.
- [10] 王晓晖.北京古树生态监测与评价[D].北京:北京林业大学,2011:19-29.
WANG Xiaohui. *Ecological Monitoring and Assessment on the Ancient Trees in Beijing* [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2011: 19 - 29.
- [11] 汪瑛.北京市行道树结构分析与健康评价[D].北京:中国林业科学研究院,2011:43-44.
WANG Ying. *The Structural Analysis and Health Assessment of Roadside Trees in Beijing* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2011: 43 - 44.
- [12] 刘瑜,徐程扬.古树健康评价研究进展[J].世界林业研究,2013,26(1):37-42.
LIU Yu, XU Chengyang. Research progress in ancient trees health assessment [J]. *World Fore Res*, 2013, 26(1): 37 - 42.
- [13] 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.