

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.01.010

# 电阻抗技术在银杏树干健康评估中的应用研究

胡月<sup>1,2</sup>, 吴道军<sup>1,2</sup>, 吕志远<sup>1,2</sup>,  
周涵宇<sup>1,2</sup>, 胡冲<sup>1,2</sup>, 田立超<sup>1,2</sup>

1. 重庆市风景园林科学研究院, 重庆 401329;  
2. 川渝共建乡土植物种质创新与利用重庆市重点实验室, 重庆 401329

**摘要:** 为评估银杏行道树树干健康程度, 降低树干断折倒伏风险, 本研究采用 PiCUS Tree Tronic 树木电阻抗断层成像仪分别对健康、干旱、腐烂银杏树干进行检测, 并与树干的目测结果进行比较。树干的断层扫描结果显示, 健康树干的电阻率为中间高四周低, 中部电阻率达  $1\,000 \Omega \cdot m$ , 四周电阻率约  $300 \Omega \cdot m$ ; 干旱的银杏树干整体呈现高电阻率, 平均电阻率达  $1\,000 \Omega \cdot m$  以上; 腐烂树干的电阻率差异与腐烂区域相关, 腐烂面积占比普遍高于目测结果, 说明电阻抗技术能够更准确地探测树干内部的健康状况, 该结果可为银杏树干健康评估提供指导。

**关键词:** 电阻抗; 断层扫描; 银杏; 树干腐烂

**中图分类号:**S608      **文献标志码:**A

**文章编号:**2097-1354(2024)01-0086-07

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Application of Electrical Impedance Technique in Health Assessment of *Ginkgo biloba* Trunk

HU Yue<sup>1,2</sup>, WU Daojun<sup>1,2</sup>, LV Zhiyuan<sup>1,2</sup>,  
ZHOU Hanyu<sup>1,2</sup>, HU Chong<sup>1,2</sup>, TIAN Lichao<sup>1,2</sup>

1. Chongqing Landscape and Gardening Research Institute, Chongqing 401329, China;

2. Chongqing Key Laboratory of Germplasm Innovation and Utilization of Native Plants, Chongqing 401329, China

**Abstract:** In order to evaluate the trunk health of *Ginkgo biloba* trees and reduce the risk of trunk breakage and collapse, this study used PiCUS Tree Tronic tree electrical impedance

收稿日期: 2023-11-29

基金项目: 重庆市城管科学 2021 第(16)号。

作者简介: 胡月, 硕士, 工程师, 主要从事农药制剂加工与园林病虫害防控技术研究。

通信作者: 田立超, 博士, 正高级工程师。

tomography to detect the state of healthy, dry and rotten of *Ginkgo biloba* trunks, respectively, and compared with the visual inspection results. The tomographic results showed that the resistivity of the healthy trunk was high in the middle and low in the periphery. The resistivity in the middle of trunk reached  $1\ 000\ \Omega \cdot m$ , and the resistivity around the trunk was about  $300\ \Omega \cdot m$ . The dry *ginkgo* stems showed high resistivity, with an average resistivity of more than  $1\ 000\ \Omega \cdot m$ . The difference on the resistivity of the decayed trunk was related to the size of decayed area, and the proportion of the decayed area was generally higher than that of the visual result, indicating that the electrical impedance technology can detect the health status of the trunk more accurately. The results can provide guidance for the health assessment of the trunk of *Ginkgo biloba*.

**Key words:** electrical impedance; tomography; *Ginkgo biloba*; trunk rot

银杏(*Ginkgo biloba* L.)为银杏科银杏属,其树姿挺拔、形态秀丽,在重庆地区广泛应用于园林景观绿化、盆景及行道树栽植<sup>[1]</sup>。由于病虫害、根系生境、气候变化等因素的综合影响,银杏树干常出现腐烂、空洞等现象<sup>[2]</sup>,不仅影响城市景观,还易发生断折和倒伏,给行人、车辆安全带来严重威胁。掌握银杏树干健康状况可及时开展银杏保护工作,避免安全事故发生<sup>[3]</sup>。树干无损检测技术是树干健康评价的优选方法,当前检测技术主要包括应力波、阻抗仪和电阻技术<sup>[4]</sup>。德国 Argus 公司的 PiCUS Tree Tronic 树木电阻抗断层成像仪是新型树干诊断仪,可利用电阻层析成像(ERT)原理检测木材的电阻抗性,通过电阻率差异分析树木中的树液流动情况,并计算获得了树木截面的二维电阻率图像,从而快速分析树木健康情况<sup>[5]</sup>。目前国内已有使用该仪器对树木进行分析的研究,如岳小泉等<sup>[4]</sup>采用 PiCUS Tree Tronic 测量仪检测水曲柳和北京杨,结果显示电阻断层成像法对木材早期腐朽的检测比较敏感,对预防植物树干腐烂具有重要指导。国外也有报道采用 PiCUS Tree Tronic 测量仪监测苹果树在不同生长季节的树干蓄水动态,发现生长季节变化会影响树干水分,并通过电阻率值差异进行体现<sup>[6]</sup>,但 PiCUS Tree Tronic 在园林植物树干健康检测中的研究和应用还非常少。

本研究以银杏为研究对象,采用 PiCUS Tree Tronic 树木电阻抗断层成像仪对健康、干旱和树干明显腐烂的银杏行道树树干进行检测,分析不同条件下断层扫描图像及电阻率值差异,并将目测腐烂占比与仪器检测腐烂占比进行对比分析,可为评估银杏树干健康提供科学依据,提升园林植物精细化、信息化管理水平。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验器械:德国 Argus 公司生产的 PiCUS Tree Tronic 树木电阻抗断层成像仪,镀锌钉子、锤子、胸径尺、ACS30B 型电子天平、PiCUS 分析软件。

处理植物:2022 年 7 月 1 日至 2023 年 10 月 31 日,对重庆市机场路、金州大道、碧湖路、桃源大道银杏行道树进行检测。

### 1.2 试验方法

分别选择健康、干旱、树干腐烂的银杏行道树各 10 株,采用 Argus PiCUS Tree Tronic 树木电阻抗断层成像仪检测树干,根据植物树干情况选择 2 处不同测试点高度,先用卷尺测量植物测量高度及测量点周长,并在树干上敲击钉子 8~12 颗(根据树干直径调整),将仪器测量线连接至对应钉子处,在仪器中输入植物种类、树高、测量高度、周长等,待数据输入完成后点击设备检测按钮进行电阻抗检测。检测完成后保存数据,去掉钉子,然后将数据文件上传到电脑

进行分析。分析过程包括图像分析和电阻率值差异分析。

### 1.3 数据处理与统计学分析

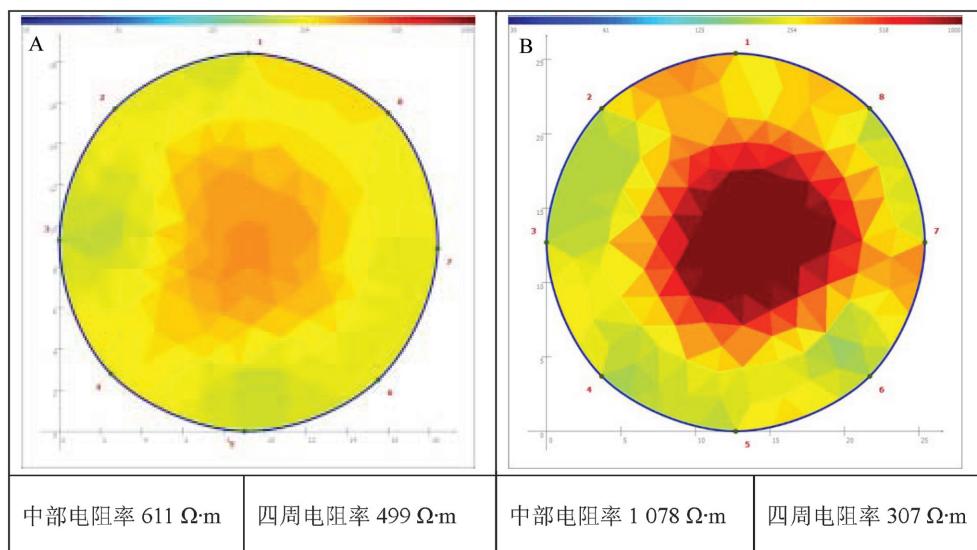
将所得电阻图像与植物树干进行对比，分析树干健康与断层扫描图像关系，以 PiCUS 分析软件统计断层扫描图，分别在断层扫描图中心、左上、右上、左下、右下采用 5 点取样法统计各区域电阻率值，分析不同植物、不同区域电阻率值差异，并采用 SPSS PASW Statistics 18 软件统计电阻率值数据，以 Duncan 氏新复极差法进行方差分析。通过断面腐烂宽度及深度计算腐烂面积，通过植物周长计算总面积，然后用腐烂面积除以总面积计算目测腐烂占比；断层扫描图异常电阻率值占比通过 Adobe Photoshop 软件像素统计获得。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型银杏树树干断层扫描图分析

#### 2.1.1 健康银杏

对树干无腐烂、未受干旱及病虫为害的银杏行道树开展树干断层扫描分析，建立标准健康树木断面图片库。比对显示健康银杏断层扫描图主要为中间干燥、四周均匀型，典型扫描图像如图 1 所示。图 1 左侧图中部电阻率为  $611 \Omega \cdot m$ ，稍高于四周平均电阻率，右侧图中部电阻率达  $1078 \Omega \cdot m$ ，四周电阻率平均约  $300 \Omega \cdot m$ 。

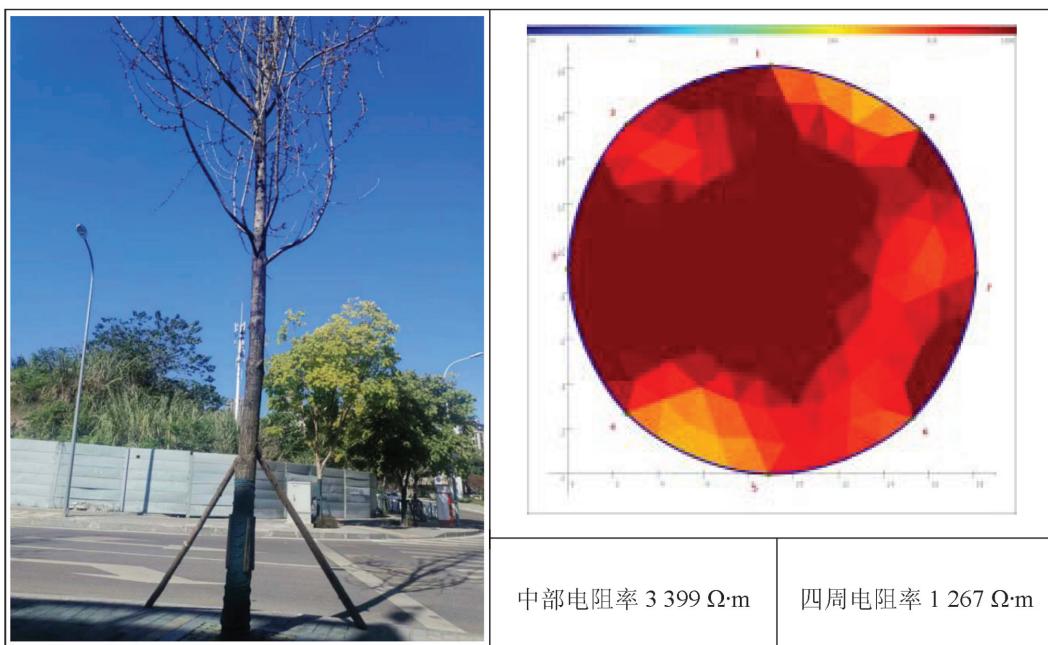


A 为中部较湿润健康银杏，B 为中部较干燥健康银杏；不同颜色代表不同电阻率值，颜色由蓝至红，电阻率值逐渐增大。

图 1 健康银杏断层扫描图

#### 2.1.2 干旱银杏

银杏干旱胁迫的典型扫描图如图 2 所示，图中各区域颜色较均匀，说明干旱胁迫条件下银杏树干整体均呈现缺水的状态，中部电阻率可达  $3000 \Omega \cdot m$  以上，四周电阻率值约为  $1200 \Omega \cdot m$ ，与图 1 对比可知，干旱银杏树干中部电阻率明显高于健康银杏树干电阻率，干旱银杏四周电阻率明显高于健康银杏四周电阻率，说明干旱胁迫的银杏树干电阻率明显增高。

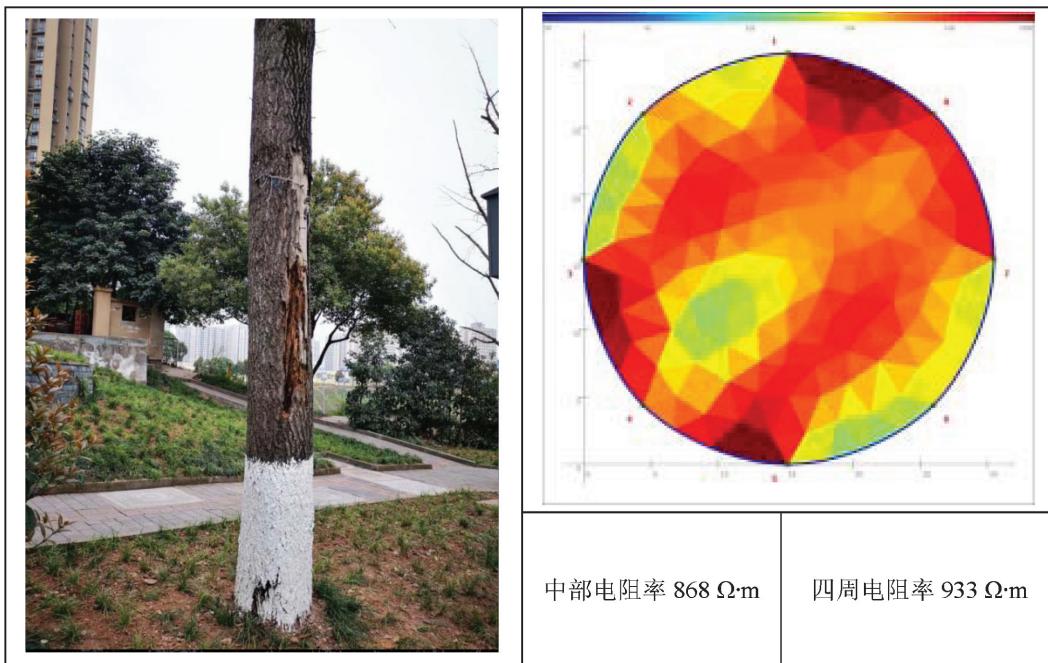


图中不同颜色代表不同电阻率值,颜色由蓝至红,电阻率值逐渐增大.

图 2 干旱银杏断层扫描图

### 2.1.3 树干腐烂银杏

树干腐烂银杏的典型扫描图如图 3 所示,由图可知各区域颜色差别较大,其中红色区域为植物树干损伤部位,说明植物树干腐烂区域电阻会发生明显变化,电阻率值差异受病虫危害情况而变,受害部位越严重,与正常电阻率差异越大.



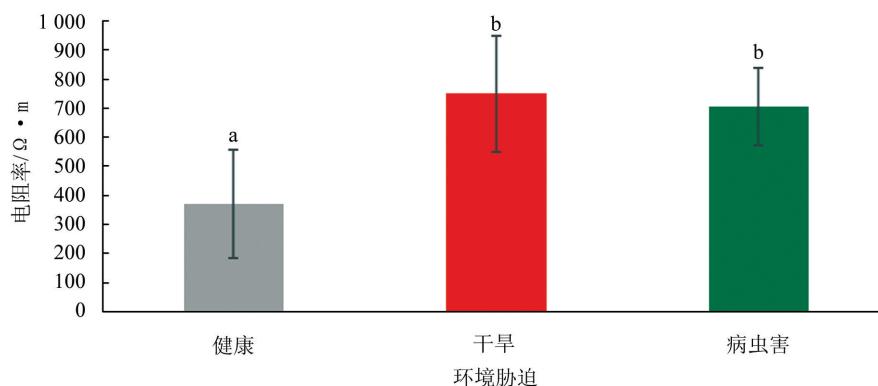
图中不同颜色代表不同电阻率值,颜色由蓝至红,电阻率值逐渐增大.

图 3 树干腐烂银杏断层扫描图

## 2.2 不同类型银杏树树干电阻率值分析

### 2.2.1 平均电阻率值分析

对不同类型银杏树干的断层扫描图进行综合分析,结果如图4所示。图中健康银杏平均电阻率值为 $370.85\Omega\cdot m$ ,干旱胁迫银杏平均电阻率值为 $751.19\Omega\cdot m$ ,树干腐烂的银杏平均电阻率值为 $705.90\Omega\cdot m$ ,干旱胁迫银杏及树干腐烂银杏平均电阻率值明显高于健康银杏,差异均具有统计学意义。

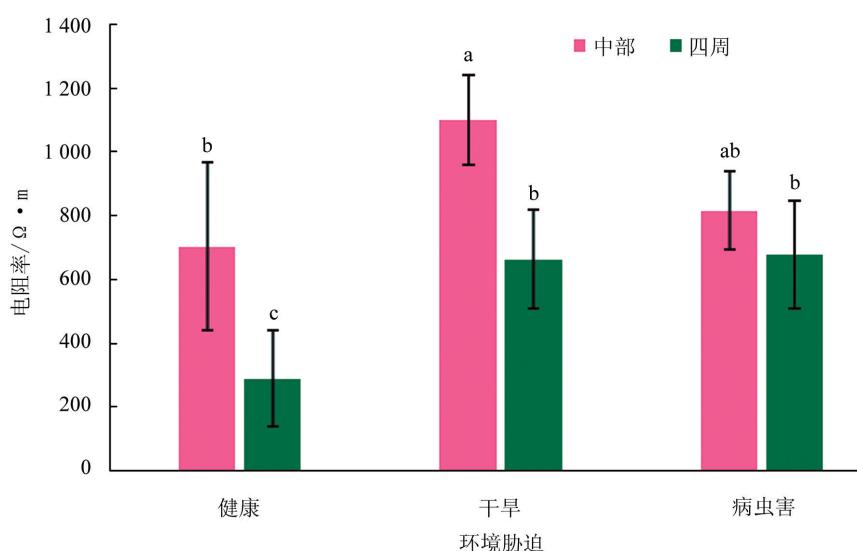


图中小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义( $p<0.05$ )。

图4 不同生长环境条件下银杏树干的电阻率值

### 2.2.2 不同区域电阻率值统计

对获得的植物断面断层扫描电阻率值数据进行汇总整理,分别对中间区域和四周区域电阻率值进行统计。由图5可知,健康银杏树干中部区域整体电阻率值为 $703.25\Omega\cdot m$ ,明显高于四周电阻率值,说明健康银杏中部区域较四周干燥。干旱胁迫银杏中部电阻率值也明显高于四周电阻率值,中部电阻率值平均可达 $1000\Omega\cdot m$ 以上,且干旱银杏中部电阻率明显高于健康银杏中部电阻率,差异均具有统计学意义,但干旱银杏与病虫害银杏四周电阻率比较,差异无统计学意义。病虫害导致树干腐烂银杏的电阻率中部与四周比较,差异无统计学意义,主要与腐烂区域具有随机性有关。



小写字母不同表示组间数据比较差异具有统计学意义( $p<0.05$ )。

图5 不同生长环境条件下银杏不同区域树干的电阻率值

### 2.3 腐烂银杏树干目测与仪器检测腐烂程度比较

对重庆市渝北区桃源大道、机场路、碧湖路树干存在腐烂的10株银杏进行断层扫描检测,结果如图6所示。图中树干目测腐烂与仪器检测腐烂占比密切相关,相关系数达96.95%。其中目测腐烂占比普遍低于电阻抗检测腐烂占比,说明植物树干腐烂情况会进一步延伸至树干内部,即腐烂除表面发生变化外,内部化学成分也可能发生了变化。

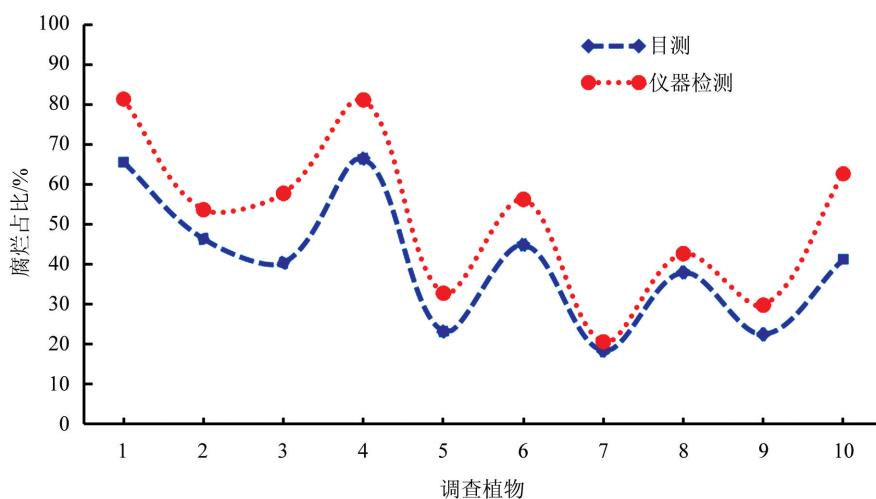


图6 目测树干腐烂与仪器检测腐烂程度比较

## 3 结论与讨论

树干是树木的输导、支撑组织,其健康关乎树木长势和折断风险。本文采用PiCUS Tree Tronic树木电阻抗断层成像仪检测了不同条件银杏树干,结果显示健康银杏断层扫描图整体出现中间高四周低现象,Divakara等<sup>[7]</sup>采用PiCUS Tree Tronic仪器对榧树进行检测也发现,测试结果横截面内部为高电阻率,而外部的值较低,与本文研究结果基本一致,说明银杏属于心材含水量低、四周含水量高的类型。

2022年7—9月,重庆地区持续极端高温天气,导致大量行道树死亡,对干旱银杏进行断层扫描发现,电阻抗图整体呈现高电阻率,说明干旱植物由于内部含水量减少,电阻率显著增大<sup>[8]</sup>。白蚁、日灼、木腐菌等均是导致银杏树干腐烂的重要因素<sup>[9-10]</sup>,检测结果显示断层扫描图电阻率值分布不规律,中空腐烂区域多呈现高电阻率。干旱及腐烂银杏与健康银杏电阻率值对比分析发现,非健康的树干通常存在电阻率异常区域。与树干外观检测相比,使用PiCUS Tree Tronic树木电阻抗断层成像仪能检测到树干内部是否有腐烂发生以及发生严重程度,且对树木无损伤,具有较大的应用潜力。然而,树木电阻抗断层成像仪的应用对操作人员有较高要求,不仅要分析树干的电阻率值和分布情况<sup>[11]</sup>,还需结合植物种类、树皮损伤、倾斜度、病虫害发生情况等进行综合分析,进而对树木做出科学可靠的健康评估。

### 参考文献:

- [1] 王琳.随州和安陆银杏古树种核变异的分子遗传基础[D].武汉:华中农业大学,2008.

- [2] 冯秀萍, 翟爱侠. 银杏古树救治与复壮[J]. 中国花卉园艺, 2013(22): 47.
- [3] 向见, 吴道军. 大树断折风险诊断及安全措施[J]. 现代农业科技, 2017(17): 165-166.
- [4] 岳小泉, 王立海, 王兴龙, 等. 电阻断层成像、应力波及阻抗仪3种无损检测方法对活立木腐朽程度的定量检测[J]. 林业科学, 2017, 53(3): 138-146.
- [5] BALÁŠ M, GALLO J, KUNEŠ I. Work Sampling and Work Process Optimization in Sonic and Electrical Resistance Tree Tomography[J]. Journal of Forest Science, 2020, 66(1): 9-21.
- [6] GÖCKE L, RUST S, WEIHS U, et al. Combining Sonic and Electrical Impedance Tomography for the Nondestructive Testing of Trees[C]//Proceedings of the 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, 2007: 31-42.
- [7] DIVAKARA B, NIKHITHA C U, SETHY A K. Exploring the Possibilities of Quantifying Heartwood of *Tectona grandis* Linn. f. using Electrical Resistivity Tomography (ERT) for Trneimprovement[J]. Brazilian Journal of Forestry Research, 2019, 39: 413.
- [8] 代永欣, 王林, 万贤崇. 干旱导致树木死亡机制研究进展[J]. 生态学杂志, 2015, 34(11): 3228-3236.
- [9] 胡宇, 周晓楠. 银杏树茎腐病及其防治措施[J]. 现代农业, 2011(4): 33.
- [10] 蒋家文. 银杏白蚁危害及防治技术[J]. 经济林研究, 1992, 10(1): 80-82.
- [11] 夏聪, 黄华枝, 龚志勤, 等. Picus在华南地区古树健康状况与安全性评估中的应用研究[J]. 河北林业科技, 2015(3): 24-26, 30.

责任编辑 苏荣艳