

何遵卫,周章义,马凤翔. 4 个频率下不同生长等级国槐的电生理分析[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):281-283.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.080

# 4 个频率下不同生长等级国槐的电生理分析

何遵卫<sup>1</sup>, 周章义<sup>2</sup>, 马凤翔<sup>1</sup>

(1. 北京林业大学理学院, 北京 100083; 2. 北京林业大学林学院, 北京 100083)

**摘要:**以一年生国槐移栽苗为材料,运用 LCR 型电子测量仪测定 0.1、1、10、100 kHz 4 种频率下不同苗木等级国槐的复阻抗、等效电容、损耗系数和相角 4 个电学参数,对树木内在电生理学基础进行研究。结果表明,在 0.1、1、10、100 kHz 4 种频率下,随国槐苗木等级的增加,树体单位电容值越大,而单位阻抗值越小;在 0.1、1、10 kHz 频率下,3 个生长等级国槐的单位电容值和阻抗值相互间差异显著( $P < 0.05$ );100 kHz 下,强树和弱树间的单位电容值和阻抗值有极显著性差异( $P < 0.01$ );4 种频率下,中庸树和弱树的单位电容值在 0.01 水平上差异均不显著,强树和中庸树的单位阻抗值差异不显著( $P > 0.05$ );树体单位电容值的日变化与光合速率曲线基本吻合,单位电容和阻抗值能在一定程度上反映国槐的生理状态变化。

**关键词:**国槐;电容;阻抗;损耗系数;相角;生理分析

**中图分类号:** S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0281-03

林业生产和科研中,树木等级的合理量化将为林业经济管理提供重要依据。目前,判断树木树势的强弱一般是根据树木的种类生长特性如树冠密度、叶片色调与枯损等指标<sup>[1]</sup>,而植物的外在直观症状与其内在生理状况在时间上存在滞后性,一些观测判断为长势强的树会突然死亡<sup>[2]</sup>。植物受到逆境影响时,细胞的新陈代谢活动不稳定,会在生理电特性上有所反映。Macdougall 等首先将落叶树与健康树树体的电阻值和电容值进行比较,对树木的电容、电阻和树木的叶生物量、胸径、地径、材积量等进行线性分析,结果表明,健康树木与落叶树木相比,其电容值显著较高、电阻值显著较低;电容与胸径、地径和材积量等呈显著正相关,而电阻与叶生物量、材积量均呈非线性负相关<sup>[3-4]</sup>。梁军等提出树木干部“单位电容”的概念,研究叶片电容与叶片离子外渗电导率等的关系发现,健康树木与衰弱树木的单位电容存在明显差异,树体电容值大小与胸径、树种、病虫害、机械损伤等具有显著相关关系<sup>[5-6]</sup>。李兴伟等研究发现,健康树木的电容值显著高于衰弱树,不同树势、雌雄株、韧皮部与木质部的电容有显著差异,健康树木叶绿素含量高、外渗  $K^+$  量减少,树体电容大<sup>[7]</sup>。在干旱、种内竞争及杨树溃疡病胁迫下,树体干部电容减小,阻抗升高;马尾松的枯针率与树体干部电容呈显著正相关<sup>[8-9]</sup>。生物阻抗在瓜果无损检测<sup>[10]</sup>,桦树、杨树等树木抗寒性、高温和涝胁迫等逆境胁迫下的生理状况变化研究已取得较大进展<sup>[11-13]</sup>。

植物的电生理特征能反映其生命活动的内在表现,逐渐

成为判断树木生理状况的一项重要指标,但目前对于利用电生理指标探测树木生长势的机理和影响因子尚未弄清<sup>[14]</sup>。此外,电参数受到很多生理和环境因素影响,需要进一步开展研究。本试验着重探讨不同频率下阻抗、等效电容、损耗系数和相角 4 个电学参数与国槐树木等级的相关性变化,并与地径、树高等植物生长特性指标进行回归分析,为判断树木等级探寻一种更为简便、准确的方法,为电生理指标量化树木等级的应用提供更广泛的依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间与地点

试验于 2014 年 4 月 7 日至 7 月 20 日在北京林业大学试验苗圃进行,该苗圃位于北京市西北,地理位置为  $116^{\circ}19'E$ 、 $40^{\circ}N$ ,海拔 50 m 左右。该区域为暖温带半湿润大陆性季风气候,全年平均气温约为  $13.5^{\circ}C$ ,年平均日照时数 2 000 ~ 2 800 h;风向有明显的季节性变化,冬季盛行西北风,夏季盛行东南风;年平均降水量为 500 ~ 650 mm,降水季节分配很不均匀,全年降水的 80% 主要集中在夏季,春旱冬旱情较重。

### 1.2 试验材料

2014 年 4 月于北京林业大学苗圃选择同一批一年生国槐幼苗进行移栽,设置 2 个小区,每个小区分 2 行种植 20 株,共 40 株;使用相同的土壤和肥料,进行相同的浇水、松土等田间管理;6—7 月,根据国槐树高、地径、冠幅等生长特性指标及叶绿素含量,将国槐划分为 3 个生长等级。

### 1.3 树体干部电容、阻抗、相角和损耗系数的测定

从 3 个等级的国槐中,每个等级随机选取 6 株,采用台湾茂迪电子生产的 MT4080A 型 LCR 电桥,分别测定频率为 0.1、1、10、100 kHz、电压为 1 V 时国槐树体干部的电容、阻抗、相角和损耗系数,采用四线测试夹具,每天上午 10:00 测 1 次,每隔 3 d 测 1 次,共测量 6 次。随机选取 15 株测量电参数日变化,测量时间段 08:00—18:00,每 2 h 测 1 次,连续测量 3 d。电桥开机后,先进行开路校正,再进行短路校正;测定

收稿日期:2015-04-06

基金项目:北京林业大学大学生科研训练计划(编号:X201410022129)。

作者简介:何遵卫(1989—),男,湖北潜江人,硕士研究生,从事植物生理生态研究。E-mail:hezunwei@126.com。

通信作者:马凤翔,副教授,硕士生导师,从事电磁场理论在林业中的应用研究。E-mail:mafengxiang@bjfu.edu.cn。

时,将仪表两极相连的 2 个钢针分别刺入距地 20、30 cm 的树干处,刺入深度 3 mm;电容、阻抗通过换挡读数。叶绿素含量测定参照杨敏文的方法<sup>[15]</sup>。

1.4 统计方法与数据分析

单位电容为树干电容与树木胸径的比值,单位为 nF/cm<sup>[6]</sup>;单位阻抗为树干阻抗与树木胸径的比值,单位为 kΩ/cm;相角以电阻和电抗的比值来表示。采用 SPSS 19.0 对数据进行分析,采用 Origin 7.5 作图,对个别苗木等级与电

学参数不符的值进行缺失处理。

2 结果与分析

2.1 国槐的树木等级及相关参数

由表 1 可见,4 个频率下,电容值均随生长级的提高而增大,阻抗值均随生长级的提高而减小,0.1 kHz 时,3 个等级的单位电容值分别为 7.3、5.3、4.3 nF/cm,单位阻抗值分别为 51.9、63.3、80.3 kΩ/cm。

表 1 不同等级国槐生长特性的相关参数

生长级	树高 (cm)	大枝枝数 (条)	最长枝		地径 (cm)	冠幅(cm)		0.1 kHz	
			长(cm)	直径(cm)		东西向	南北向	电容值(nF/cm)	阻抗值(kΩ/cm)
3(强树)	139.1	9.5	79.4	0.47	1.05	56.8	69.5	7.3	51.9
2(中庸树)	113.5	8.5	58.1	0.38	0.88	53.0	54.8	5.3	63.3
1(弱树)	89.1	6.5	26.5	0.34	0.73	53.3	48.4	4.3	80.3

2.2 不同树势等级国槐的叶绿素含量

由表 2 可见,叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素含量均随树木等级升高而增大;不同生长等级的国槐叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素总量有显著性差异( $P<0.05$ )。国槐强树植物叶绿素含量越高,光合效率越高,树木生长更健康,等级也越高。

表 2 不同等级国槐的叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量

生长级	叶绿素含量(mg/g)		
	叶绿素 a	叶绿素 b	总叶绿素
1	25.3±2.5aA	10.8±1.5aA	36.1±4.0aA
2	36.1±2.0bAB	11.7±1.1bAB	47.8±3.1bAB
3	41.0±1.8cB	12.5±0.9cB	53.5±2.7cB

注:同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示处理间差异极显著( $P<0.01$ )。下表同。

2.3 树木等级与电学参数分析

2.3.1 不同等级国槐的单位电容值 由表 3 可见,在 0.1、1、10 kHz 频率下,3 个生长等级国槐的单位电容值相互间差异显著( $P<0.05$ );100 kHz 下,强树和弱树间的单位电容值有极显著性差异( $P<0.01$ );4 种频率下,中庸树和弱树的单位电容值在 0.01 水平上差异均不显著。

表 3 不同等级国槐的单位电容值比较

生长级	单位电容值			
	0.1 kHz (nF/cm)	1 kHz (nF/cm)	10 kHz (nF/cm)	100 kHz (pF/cm)
1	4.3±0.7aA	0.85±0.15aA	0.09±0.03aA	22.0±4.9aA
2	5.8±0.2bAB	1.11±0.21bB	0.15±0.03bB	28.5±7.1abAB
3	7.3±0.9cB	1.53±0.32cB	0.26±0.05cB	31.9±0.8bB

2.3.2 不同等级国槐的单位阻抗值 由表 4 可见,在 4 种频率下,强树和中庸树的单位阻抗值差异不显著( $P>0.05$ );1、10、100 kHz 频率下,强树和弱树的单位阻抗值呈极显著性差异( $P<0.01$ );在 0.1 kHz 频率下,强树、中庸树与弱树相比,其单位阻抗值差异极显著( $P<0.01$ )。由表 5 和表 6 可见,3 个树木等级下国槐的损耗系数、相角值在 4 个频率下差异均不显著。

2.3.3 树木等级与电学参数的相关性分析 由表 7 可见,单位电容值及单位阻抗值与树势等级的相关系数随频率升高而逐渐减小,除 100 kHz 频率下单位电容值与树势等级在 0.05 水平上呈显著相关,其他均在 0.01 水平上呈显著相关;单位

表 4 不同等级国槐的单位阻抗值比较

生长级	不同频率单位阻抗值(kΩ/cm)			
	0.1 kHz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
1	80.2±10.0aA	58.5±7.6aA	38.7±8.3aA	24.9±4.7aA
2	56.6±5.1aA	45.0±9.5abAB	28.3±6.5abAB	17.6±2.6abAB
3	51.9±3.8bB	34.8±2.8bB	16.5±3.2bB	15.5±1.0bB

表 5 不同等级国槐的相角值比较

生长级	不同频率相角值(°)			
	0.1 kHz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
1	-12.2±0.8aA	-17.5±1.5aA	-18.2±1.3aA	-19.0±1.6aA
2	-11.9±1.1aA	-17.6±1.7aA	-18.3±1.5aA	-19.3±1.9aA
3	-13.9±2.2aA	-19.0±0.4aA	-18.5±1.2aA	-18.1±1.7aA

表 6 不同等级国槐的损耗系数比较

生长级	不同频率损耗系数			
	0.1 kHz	1 kHz	10 kHz	100 kHz
1	4.7±0.3aA	3.2±0.3aA	3.1±0.3aA	2.9±0.3aA
2	4.8±0.4aA	3.2±0.4aA	3.0±0.2aA	2.9±0.3aA
3	4.2±0.3aA	3.0±0.1aA	3.0±0.2aA	3.1±0.3aA

表 7 4 个频率下国槐的电学参数与树木等级的相关性分析

频率 (kHz)	单位电容值		单位阻抗值	
	$P$ 值	显著性检验 (双侧)	$P$ 值	显著性检验 (双侧)
0.1	0.910 **	0.000	-0.855 **	0.001
1	0.891 **	0.000	-0.838 **	0.001
10	0.791 **	0.000	-0.822 **	0.001
100	0.677 *	0.016	-0.802 **	0.003

注: \*、\*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上呈显著相关。

电容值与树势等级呈正相关,单位阻抗值与树势等级呈负相关。

2.4 电学参数与生理参数的回归分析

试验结果表明,0.1 kHz 时,国槐树体的单位电容值、单位阻抗值与地径有着密切的关系,国槐等效电容和复阻抗与地径在 0.01 水平上呈显著相关,决定系数  $r^2$  分别为 0.713、0.629, $F$  值分别 10.6、10.3( $P<0.001$ ),得到以地径为自变量,树体电容、复阻抗为因变量的线性方程分别为: $y=8.8x-2.6$ 、 $y=-78.5x+136$ ;国槐树体电容、阻抗与树高也在 0.01

水平上呈显著相关,决定系数 $r^2$ 分别为0.65、0.60, $F$ 值分别20.2、18.3( $P < 0.001$ ),得到以树高为自变量,树体电容、复阻抗为因变量的线性方程分别为: $y = 0.04x + 1.6$ 、 $y = -0.38x + 105.4$ 。

## 2.5 国槐树体单位电容的日变化

由图1可见,频率为0.1 kHz时,国槐树体单位电容值1 d内呈双峰型曲线变化,随着温度升高和光线加强,单位电容值分别在10:00、16:00时出现峰值。这与光合速率的变化曲线基本吻合。

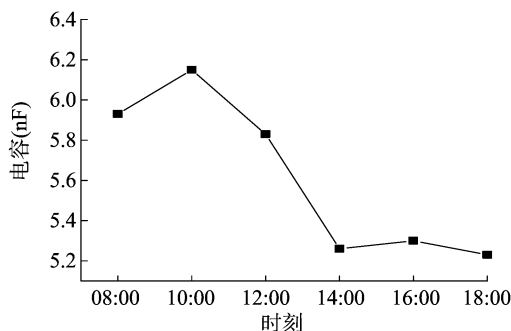


图1 0.1 kHz 时国槐树体单位电容值的日变化

## 3 结论与讨论

细胞质膜是细胞的绝缘层,使细胞具有存储电荷的功能<sup>[16]</sup>。健康的树木细胞质内的离子储存量多,所以树势强的苗木电容值大,而离子活动越强烈,树体的阻抗值会越小。低频电流只在胞外间隙流动,阻抗由胞外电阻组成,而高频电流能直接通过胞内、胞内和胞外电阻形成一个并联电路<sup>[17-18]</sup>。随频率升高,树势等级与电容值的相关系数减小,这说明胞外的电荷存储量更能反映树木的生长势强弱,胞内电荷存储量对其影响不大,这需要用连续的频率进行验证。树木等级与损耗系数相关性不显著,这反映不同树势的国槐在电场作用下因极化的滞后效应而消耗的能量差异不显著。相角与国槐树木生长等级的差异性不显著,这可能是细胞中离子活动的复杂性使得电阻和电抗的测量值差异很大,因而不能反映出树木的生理状态。

试验结果表明,在0.1、1、10、100 kHz 4种频率下,随国槐苗木等级的增加,树体单位电容值越大,而单位阻抗值越小;在0.1、1、10 kHz 频率下,3个生长等级国槐的单位电容值和阻抗值相互间差异显著( $P < 0.05$ );100 kHz下,强树和弱树间的单位电容值和阻抗值有极显著性差异( $P < 0.01$ );4种频率下,中庸树和弱树的单位电容值在0.01水平上差异均不显著,强树和中庸树的单位阻抗值差异不显著( $P > 0.05$ )。以MT4080A LCR METER作为测量仪器,频率为0.1 kHz时可较好地度量不同生长势国槐树木的电容和阻抗,而其他科研人员多采用频率为1 kHz<sup>[6]</sup>。线性回归分析显示,电容值、阻抗值和树木地径、树高等呈较好的线性关系。国槐单位电容值的日变化与其光合速率的变化曲线基本一致,而电容和阻抗呈负相关,则国槐单位阻抗值的日变化与光合速率的变

化曲线呈相反趋势,树体单位电容和单位阻抗值均能一定程度上反映树木的生理状态。因此,用电容和阻抗来量化树木等级是一种便捷、准确的方法。

本试验对一年生国槐的阻抗、电容等电学参数进行了调查,若能更全面广泛地调查不同树种、不同树龄、不同环境下树木的电容、阻抗等电生理参数,形成一个量化树木等级的标准体系,这对林业产业的发展具有深远的意义。

## 参考文献:

- [1] DB11/T 478—2007 古树名木评价标准[S]. 北京:北京市质量技术监督局,2007.
- [2] Campbell R W, Sloan R J. Forest stand responses to defoliation by the gypsy moth[J]. Forest Science, 1997, 23(19): a0001 - z0001.
- [3] Macdougall R G, MacLean D A, Thompson R G. The use of electrical capacitance to determine growth and vigor of spruce and fir trees and stands in New Brunswick[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1988, 18(5): 587 - 594.
- [4] Piene H, Fensom D S, Meisaac J E, et al. Electrical - resistance and capacitance measurements on young, spaced and unspaced, defoliated and protected, balsam fir trees[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1984, 14(6): 811 - 817.
- [5] 曹兵, 许浩, 宋恒. 几种造林树种生长势的初步研究[J]. 宁夏农学院学报, 2003, 24(3): 11 - 13.
- [6] 梁军, 屈智巍, 贾秀贞, 等. 树体电容的生理学研究[J]. 林业科学, 2006, 42(1): 90 - 95.
- [7] 李兴伟, 周章义, 张俊楼, 等. 探测树势的电测技术——电容法[J]. 广东林业科技, 2002, 18(1): 19 - 24.
- [8] 梁军, 屈智巍, 刘惠文, 等. 杨树溃疡病及松材线虫病对树干部电指标的影响[J]. 林业科学, 2006, 42(12): 68 - 72.
- [9] 梁军, 屈智巍, 贾秀贞, 等. 干旱及种内竞争胁迫对树体电指标影响的研究[J]. 林业科学研究, 2007, 20(1): 105 - 110.
- [10] 蔡骋, 李晓龙, 马惠玲, 等. 基于生物阻抗特性的苹果新鲜度无损测定[J]. 农业机械学报, 2013, 44(2): 147 - 152.
- [11] 董军生, 张军, 周素锐, 等. 电阻抗法测定杨树无性系抗寒性[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(3): 105 - 108.
- [12] 郝征, 张钢, 李亚. 不同高温胁迫对白桦幼苗几个生理生化指标和电阻抗图谱参数的影响[J]. 西北植物学报, 2010, 30(9): 1844 - 1851.
- [13] 孟昱, 弓瑞娟, 邸葆, 等. 涝胁迫下白桦叶和茎含水量的电阻抗图谱估测[J]. 植物学报, 2014, 49(1): 105 - 113.
- [14] 游崇娟, 王建美, 田呈明. 植物病害检测领域的电生理学研究进展[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 118 - 122, 153.
- [15] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨[J]. 光谱实验室, 2002, 19(4): 478 - 481.
- [16] 周章义. 一项值得研究的树势探测技术——电容法[J]. 山东林业科技, 2000(6): 38 - 42.
- [17] Repo T, Laukkanen J, Silvennoinen R. Measurement of the tree root growth using electrical impedance spectroscopy[J]. Silva Fennica, 2005, 39(2): 159 - 166.
- [18] 唐友林. 植物的寒害、抗寒性与电阻参数的研究[J]. 植物生理学通讯, 1982(2): 7 - 11, 14.