

干旱及种内竞争胁迫对树体电指标影响的研究

梁军, 屈智巍, 贾秀贞, 刘惠文, 张星耀*

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林保护学重点实验室, 北京 100091)

摘要: 研究结果表明, 对毛白杨扦插苗干旱胁迫第3天, 各处理出现超氧化物歧化酶(SOD)活性下降, 丙二醛(MDA)和可溶性糖含量增加; 树体干部阻抗升高、树体干部电容减小的变化; 对照处理则在第9天出现类似变化。在种内竞争胁迫15d后, 毛白杨扦插苗高密度栽培处理的地径、苗高、树体干部电容和单位电容等指标均显著小于低密度栽培处理, 而树体干部阻抗则显著高于低密度栽培处理。本研究为应用树体干部电容、树体干部阻抗和单位电容无损探测量化评价树木在干旱及种内竞争胁迫下的受害程度提供参考。

关键词: 树体干部电容; 树体干部阻抗; 电指标; 干旱胁迫; 种内竞争

中图分类号: S712

文献标识码: A

Influence of Drought and Intraspecific Competition on Trees' Electrical Indexes

LIANG Jun, QU Zhíwēi, JIA Xiúzhēn, LIU Huìwén, ZHANG Xīngyào

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF Key Laboratory and Forest Protection, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract The results showed that the trends of decrease of activity of SOD and increase of content of MDA and soluble sugar of all the treatments were observed from the third day after the cuttings of *Populus tomentosa* to be applied with drought stress. The trends of decrease of tree stem capacitance and increase of tree stem impedance were showed on slight and severe drought treatments from the third day after applied drought stress, while the similar changes were observed on the control from the ninth day. Under intraspecific competition, the stem diameter, height, tree stem capacitance and unit capacitance of high density treatment were significantly lower than that of low density treatment, while the tree stem impedance was significantly higher than that of low density treatment. The research of tree stem capacitance and impedance and unit capacitance would provide a theoretical basis for the quantitative assessment of the degree of damage caused by environmental stresses.

Key words tree stem capacitance; tree stem impedance; unit capacitance; drought stress; intraspecific competition

树木树势在林业科研生产中有着重要作用, 树木树势的合理量化指标为林业研究的相关分析提供了可行性, 也为林业经营管理提供了依据。上世纪60年代起, 国外已开展了利用树木电指标评价树势

及树木健康状况的研究, 我国在该领域的研究始于90年代, 已得到了越来越多科技工作者的重视。

目前的研究成果主要有: 树体干部电容与树木胸径、地径、材积生长量、树皮相对膨胀度等指标成

收稿日期: 2006-03-10

基金项目: 国家自然科学基金项目“林木健康状况评价的电指标生物学基础”(30471384)

作者简介: 梁军(1963-), 男, 宁夏中卫人, 研究员, 硕士生导师。

* 通讯作者。

正相关关系,且健康树木的电容值显著高于衰弱树木^[1-6]; 树木干部阻抗与叶生物量、材积生长量成非线性负相关关系,且衰弱树木的电阻值显著高于健康树木^[7-9]; 树木干部电容与树木干部阻抗成负相关关系^[10-11]; 树干电阻变化比某些树木病害感病症状的表现提前,从而具有风险预测价值^[12-13]。

目前,影响树木电指标的各种因素至今尚未完全搞清,这些因素主要集中在树木细胞组织、生理生化、生物学和生态四个方面,其中树木细胞组织的影响较为重要。此外,仅仅利用电指标本身来评价树势存在一定缺陷,尚需建立合理的基于电指标的综合指标。本文着重探讨了干旱及种内竞争胁迫下,树木相关电指标的变化趋势,为利用电指标定量评价树木健康状况提供依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

毛白杨(*Populus tomentosa* Carr)扦插苗。扦插器皿为普通白色花盆,盆高 26 cm,盆口直径 20 cm,盆底直径 18 cm,每盆装土 3.5 kg。土壤为黄土+河沙+草炭(体积比 4:2:1),土壤全 P 含量为 0.75 mg·g⁻¹,全 N 含量为 1.31 mg·g⁻¹,全 K 含量为 24.8 mg·g⁻¹,有机质含量为 1.24 mg·g⁻¹,速效 P 含量为 137.16 mg·L⁻¹,pH 值为 7.03。插穗来源于同一株林木,扦插时间为 2005 年 3 月。

1.2 实验方法

1.2.1 测定指标

1.2.1.1 树木干部电容 采用台湾茂迪生产的 MT4080A 型 LCR 电桥进行测定。测定频率为 1 KHz,电压为 1 V。测定毛白杨扦插苗时,将电容表两极相连的两个钢针一极刺入距地面 1 cm 的苗木主干处,另一极刺入苗木主干距地面 6 cm 处,刺入深度为 3 mm,且两个钢针处于同一垂直线上。钢针直径 1 mm,长 5 cm。树木干部电容单位为 nF。

1.2.1.2 树木干部阻抗 方法同树木干部电容,读取数据时将 LCR 电桥换为交流阻抗档位即可,测定单位为 kΩ。

1.2.1.3 单位电容 树木干部电容与树木胸径的比值即为单位电容,单位为 nF·cm⁻¹。

1.2.1.4 损耗因素 方法同树木干部电容的测定,在 LCR 电桥中可测得该指标。损耗因素反应了电容元件中存储能力和消耗能力的比例。

1.2.1.5 超氧化物歧化酶(SOD)活性 参考李合

生^[14]方法。

1.2.1.6 可溶性糖含量 参考邹琦^[15]方法测定。

1.2.1.7 丙二醛(MDA)含量 参考张志良等^[16]方法测定。

1.2.2 试验设计

1.2.2.1 干旱胁迫 试验场地设在中国林业科学研究院科研温室内。试验时间为 2005 年 6 月 27 日至 7 月 7 日。6 月 27 日开始进行水分胁迫处理,处理分 3 个水平,每个处理 15 株扦插苗:(1)CK(对照)——土壤含水量为田间持水量的 75% 左右;(2)W₁(轻度水分胁迫)——土壤含水量为田间持水量的 50% 左右;(3)W₂(重度水分胁迫)——土壤含水量为田间持水量的 25% 左右。处理开始后,每 2 d 称质量并补充失去的水分。于 6 月 27 日、6 月 29 日、7 月 1 日、7 月 3 日、7 月 5 日、7 月 7 日分别取样测各项生理指标及电指标。树木干部电容、树木干部阻抗和损耗因素等电指标采用全样测定,SOD 酶活性、可溶性糖含量和 MDA 含量则每处理随机抽取 3 株扦插苗的功能叶片分别测定。

1.2.2.2 种内竞争胁迫 试验设置两个处理,分别为 M₁——高密度栽培处理和 M₂——低密度栽培处理。高密度栽培处理株行距为 5 cm×5 cm,低密度栽培处理株行距为 10 cm×10 cm。于 2005 年 6 月 16 日将培养杯内栽培的毛白杨扦插苗按两处理要求的株行距进行移栽,每个处理栽种 6 排 6 行共 36 株。移栽前即 6 月 12 日测定苗高、地径、树木干部电容和树木干部阻抗等指标,移栽后每 15 d 测定一次上述各指标。由于外围苗木存在边界效应,故只测定内部 16 株扦插苗的各项指标。

1.2.3 数据分析 采用 SPSS10.0 对数据进行分析。作图采用 Microsoft Office Excel 2003。

2 结果和分析

2.1 干旱胁迫对树木生理指标及电指标的影响

SOD 酶能催化超氧化物阴离子自由基的歧化作用,维持活性氧代谢的平衡,保护膜结构,从而使植物在一定程度上忍耐、减缓或抵抗水分胁迫。试验结果显示(表 1),毛白杨扦插苗在干旱处理条件下,SOD 酶活性呈逐渐下降的趋势。其中对照的降幅为 15.79%,轻度水分胁迫处理 W₁的降幅为 18.88%,重度水分胁迫处理 W₂的降幅为 24.33%。

植物遭受逆境胁迫后常发生脂膜过氧化作用,MDA 是该作用的最终分解产物,其含量可以反映植

物遭受逆境伤害的程度。可溶性糖作为一种渗透调节物质在干旱胁迫下其含量也常发生变化。试验结果显示(表 1),毛白杨扦插苗在干旱胁迫下,MDA 和可溶性糖含量总体上呈逐渐上升的趋势,其中,对

照的 MDA 和可溶性糖含量增幅分别为 50.00% 和 150.15%,处理 W₁的 MDA 和可溶性糖含量增幅分别为 56.25% 和 166.94%,处理 W₂的 MDA 和可溶性糖含量增幅分别为 114.29% 和 197.88%。

表 1 干旱胁迫下各处理 SOD 酶活性、MDA 和可溶性糖含量

日期(月-日)	CK			W ₁			W ₂		
	SOD / ($\mu \cdot g^{-1}$)	MDA / ($\mu\text{mol} \cdot g^{-1}$)	可溶性糖 / ($\text{mg} \cdot g^{-1}$)	SOD / ($\mu \cdot g^{-1}$)	MDA / ($\mu\text{mol} \cdot g^{-1}$)	可溶性糖 / ($\text{mg} \cdot g^{-1}$)	SOD / ($\mu \cdot g^{-1}$)	MDA / ($\mu\text{mol} \cdot g^{-1}$)	可溶性糖 / ($\text{mg} \cdot g^{-1}$)
06-27	358.13	0.012	6.64	345.06	0.016	7.44	355.81	0.014	6.59
06-29	349.72	0.018	9.00	335.00	0.021	11.18	347.87	0.022	14.79
07-01	342.76	0.021	8.79	304.65	0.025	10.45	313.17	0.024	15.45
07-03	315.35	0.021	19.27	289.33	0.031	19.80	276.16	0.027	21.26
07-05	332.61	0.020	20.47	290.37	0.026	18.03	272.94	0.031	20.21
07-07	301.57	0.018	16.61	279.91	0.025	19.86	269.23	0.030	19.63

注:无特殊说明时,增、降幅均按照以下公式计算:(最后 1 天测定值 - 第 1 天测定值) × 100% / 第 1 天测定值

干旱胁迫对毛白杨扦插苗树体干部电容、树体干部阻抗和损耗因素的影响如表 2 所示。毛白杨扦插苗树体干部电容在干旱胁迫下呈逐渐减小的趋势,其中对照的树体干部电容在 7 月 3 日前持续增大,之后减小,总体呈减小趋势,降幅为 9.32%,处理 W₁的树体干部电容在 7 月 3 日前减小与增大交替出现,之后持续减小,降幅为 39.47%,处理 W₂则持续减小,降幅为 44.59%。毛白杨扦插苗树体干部阻抗在干旱胁迫下的变化较复杂,其中对照的树

体干部阻抗先减小后增大,但总体呈减小趋势,降幅为 17.62%;处理 W₁在 7 月 3 日前减小与增大交替出现,7 月 3 日后则迅速增大,总体呈增大趋势,增幅为 5.12%;处理 W₂只在 6 月 29 日前呈减小趋势,之后持续增大,总体亦呈增大趋势,增幅为 24.03%。在损耗因素指标上,各处理均呈逐渐下降的趋势,其中对照的降幅为 20.29%,处理 W₁的降幅为 29.40%,处理 W₂的降幅为 24.42%。

表 2 干旱胁迫下各处理树体干部电容、树体干部阻抗和损耗因素

日期(月-日)	CK			W ₁			W ₂		
	干部阻抗 /K Ω	干部电容 /nF	损耗因素	干部阻抗 /K Ω	干部电容 /nF	损耗因素	干部阻抗 /K Ω	干部电容 /nF	损耗因素
06-27	42.91	1.61	20.45	45.27	1.52	22.55	40.67	1.57	21.25
06-29	33.22	1.69	20.90	35.73	1.46	18.89	32.78	1.55	18.61
07-01	32.47	1.70	19.41	37.40	1.58	17.91	33.15	1.52	18.32
07-03	27.78	1.74	17.74	29.35	1.43	20.44	33.39	1.33	16.26
07-05	30.85	1.62	17.84	43.81	1.07	17.03	46.99	1.04	17.52
07-07	35.35	1.46	16.30	47.59	0.92	15.92	50.45	0.87	16.06

在时间顺序上,各处理 SOD 酶活性、MDA 含量和可溶性糖含量 3 个生理指标在第 2 个观测日即已出现了明显的变化,对照在第 5 个观测日才出现树体干部阻抗升高、树体干部电容减小的变化,处理 W₁的电指标虽然在第 3 个观测日即出现树体干部阻抗升高的变化,在第 2 个观测日出现树体干部电容减小的变化,但波动性较大,处理 W₂的树体干部电容从第 2 个观测日即发生持续性降低,而树体干部阻抗则在第 3 个观测日开始持续增大。说明对照中,上述 3 个生理指标的变化比树木电指标的变化提前 6 d 左右;在轻度和重度干旱胁迫下,生理指标

变化较之电指标变化提前 2 d 左右。

在变化幅度上,重度干旱胁迫下,MDA 含量、可溶性糖含量、树体干部电容和树体干部阻抗的变化幅度均大于轻度干旱胁迫。因此,这 4 个指标可以指示植物受到干旱胁迫的程度,由于电指标易于测定且对苗木的损伤较小,是理想的评价指标。

在干旱胁迫研究中,SOD 酶活性、MDA 含量、可溶性糖含量等指标是常测定的生理生化指标,但鲜有人注意到在干旱胁迫过程中树木电指标的变化规律,本研究提供了有意义的开拓和尝试。

2.2 种内竞争对树木生长及电指标的影响

种内竞争对毛白杨扦插苗地径、苗高的影响如图 1 和图 2 所示。高密度栽培处理下,毛白杨扦插苗地径和苗高的增长较低密度栽培处理明显缓慢,增幅分别为 67.31% 和 78.49% (最后 1 个测定日相对于第 1 个测定日的增减幅,下同);低密度栽培处理下,地径和苗高的增幅分别为 111.51% 和 152.05%。方差分析结果显示,除 6 月 12 日两处理的地径、苗高无显著差异,其它测定日的苗木地径和苗高在 0.05 水平上差异均显著。

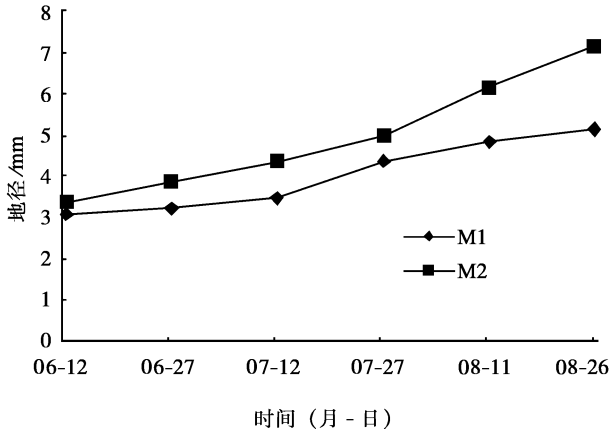


图 1 种内竞争胁迫下苗木地径随时间变化趋势

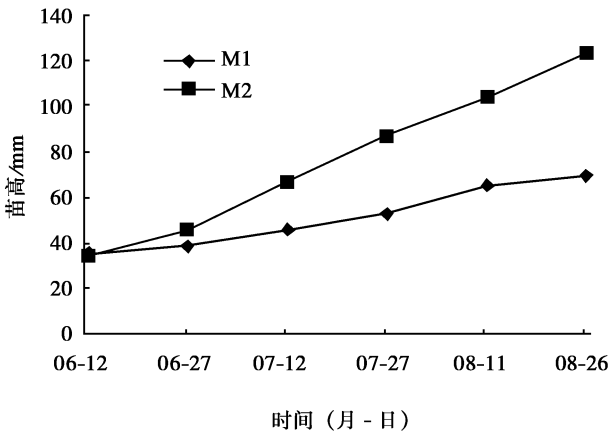


图 2 种内竞争胁迫下苗高随时间变化趋势

种内竞争对毛白杨扦插苗树体干部电容的影响如图 3 所示。高密度栽培处理下,毛白杨扦插苗树体干部电容逐渐减小,1 个月(7 月 12 日)树体干部电容又逐渐增大,总体呈增大趋势,增幅为 35.99%;低密度栽培处理下,树体干部电容则呈逐渐增大的趋势,增幅为 210.63%。方差分析结果显示,除 6 月 12 日两处理的树体干部电容无显著差异,其它测定日的树体干部电容在 0.05 水平上差异显著。

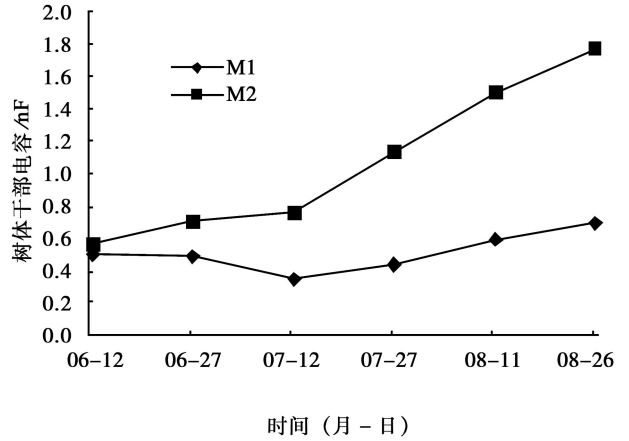


图 3 种内竞争胁迫下树体干部电容随时间变化趋势

种内竞争对毛白杨扦插苗树体干部阻抗的影响如图 4 所示。高密度栽培处理下,毛白杨扦插苗树体干部阻抗逐渐增大,1 个月(7 月 12 日)树体干部阻抗又迅速下降,降幅为 16.39%。低密度栽培处理下,树体干部阻抗基本呈逐渐下降的趋势,降幅达 62.96%。方差分析结果显示,除 6 月 12 日两处理的树体干部阻抗无显著差异,其他测定日的树体干部阻抗在 0.05 水平上差异显著。

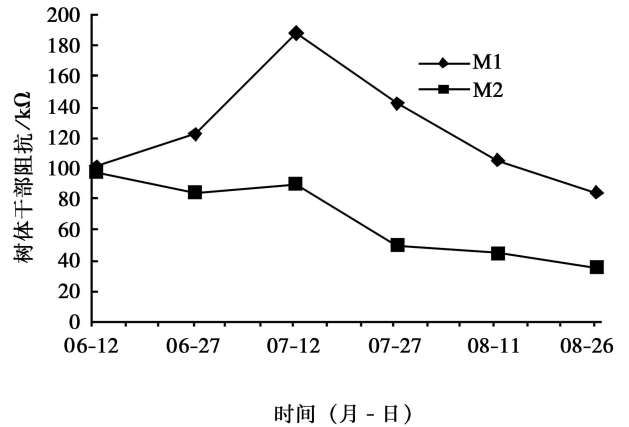


图 4 种内竞争胁迫下树体干部阻抗随时间变化趋势

由于树体干部电容与树木胸径成正相关,为了排除胸径对树体干部电容的影响,利用单位电容引入作为评价指标。种内竞争对毛白杨扦插苗单位电容的影响如图 5 所示。高密度栽培处理下,毛白杨扦插苗单位电容大体呈降低的趋势,降幅为 41.18%。低密度栽培处理下,单位电容则大体呈增大的趋势,增幅为 41.18%。方差分析结果显示,除 6 月 12 日两处理的单位电容无显著差异,其他测定日的单位电容在 0.05 水平上差异显著。

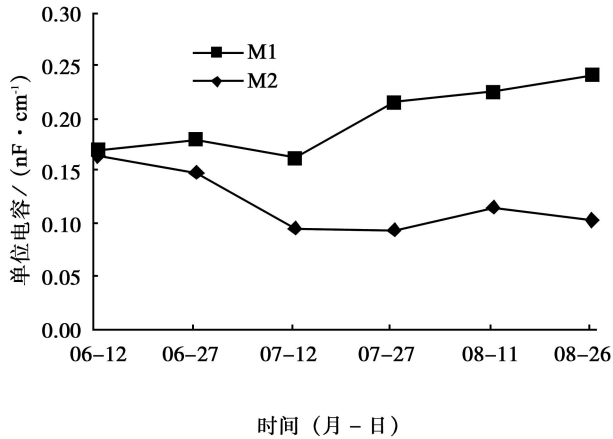


图 5 种内竞争胁迫下单位电容随时间变化趋势

竞争过程中的各处理死亡苗木株数列于表 3。高密度处理下在 7 月 27 日出现明显的自然稀疏现象, 自然稀疏之前, 苗木竞争激烈, 生长受抑, 长势差; 自然稀疏之后, 苗木生长空间增大, 生长势强。从地径和苗高的生长趋势中, 难于直观地发现竞争胁迫下苗木的生长势变化, 而树体干部电容和树体干部阻抗则可对苗木生长势变化予以较直观地反映。当树体干部电容呈减小趋势时, 表明苗木生长受抑, 反之则未受抑, 且树体干部电容值越大, 苗木长势越好。当树体干部阻抗呈增大趋势时, 表明苗木生长受抑, 反之则未受抑, 且树体干部阻抗越小, 苗木长势越好。单位电容与树体干部电容在反映苗木生长势上略有差异, 但整体趋势大致相同。

表 3 各测定日死亡苗木株数

调查日期 (月-日)	06-12	06-27	07-12	07-27	08-11	08-26
M ₁	0	1	1	4	5	7
M ₂	0	0	0	0	0	1

3 结论和讨论

在本干旱胁迫试验条件下, 毛白杨扦插苗的 SOD 酶活性、树体干部电容和损耗因素等指标呈逐渐下降的趋势, 而 MDA 含量、可溶性糖含量及树体干部阻抗呈逐渐上升的趋势; 对照 SOD 酶活性、MDA 含量和可溶性糖含量等生理指标的变化明显早于电指标的变化, 而在轻度和重度胁迫下, 电指标变化则同步于或略晚于 (少于 2 d) 生理指标变化; 重度干旱胁迫下 MDA 含量、可溶性糖含量、树体干部电容和树体干部阻抗 4 个指标的变化幅度均大于轻度胁迫, 具有较好的指示干旱胁迫严重程度的作用, 特别是电指标, 由于其易于探测且对树木损伤小, 科研价值较大, 应用前景广泛。

苗木在种内竞争过程中, 胁迫 15 d 后, 高密度栽培处理的毛白杨扦插苗地径、苗高、树体干部电容和单位电容均显著低于低密度栽培处理, 而树体干部阻抗则显著高于低密度栽培处理; 当树体干部电容减小或树体干部阻抗增大时, 苗木生长受抑, 反之则未受抑。树体干部电容、树体干部阻抗和单位电容可明显反映出两个密度处理苗木在生长过程中的差异。

植物体在遭受干旱胁迫时会产生大量活性氧自由基, 对细胞组织产生氧化损伤, SOD 酶是清除活性氧的重要保护性酶。不同的植物材料、水分胁迫方式和胁迫程度, SOD 酶活性的变化是不同的^[17]。王霞等^[18]对 8 种柽柳 (*Tamarix* spp.) 的 SOD 酶活性在干旱胁迫下的变化进行研究, 发现 SOD 酶活性呈先增大后减小的趋势。曾福礼等^[19]发现干旱胁迫下小麦 (*Triticum aestivum* L.) 叶片 SOD 酶活性逐渐下降的现象。左仲武等^[20]研究发现水分胁迫导致油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.) 幼苗 SOD 和 CAT 酶活性下降, MDA 含量升高。

本研究以毛白杨扦插苗叶片为研究对象, 测定间隔为 2 d 连续测定 11 d 发现受干旱胁迫的毛白杨扦插苗 SOD 酶活性呈逐渐下降的趋势。

目前的研究表明, 苗木的电指标全年均处于动态变化之中, 在生长季节, 电容持续增大, 阻抗持续减小的趋势是一种正常的动态变化。在苗木进入冬季休眠期的过程中, 其电容不再增大, 而是逐渐减小, 阻抗则逐渐增大, 这一动态变化在该时期亦正常。本研究中, 处于生长季的苗木在胁迫因素的作用下出现电容减小阻抗增大的异常变化, 说明电指标具有指示苗木健康状况的作用。其机理, 一般推测与细胞膜透性和树体内带电离子的含量有关, 有待于进一步证实。

本文为应用树体干部电容、树体干部阻抗和单位电容无损探测量化评价树木在干旱及种内竞争胁迫下的受害程度提供了参考。

参考文献:

- [1] 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
- [2] MacDougall R G, Thompson R G, Pinc H. Stem electrical capacitance and resistance measurements as related to total foliar biomass of balsam fir trees [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1987, 17

- (9): 1 071 ~ 1 074
- [3] Lekas T M, MacDougall R G, MacLean D A, *et al*. Seasonal trends and effects of temperature and rainfall on stem electrical capacitance of spruce and fir trees [J]. Canadian Journal of Forest Research 1990, 20(7): 970~ 977
- [4] 梁军, 屈智巍, 刘惠文, 等. 树木电容的生理学研究 [J]. 林业科学, 2006, 42(1): 90~ 95
- [5] 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
- [6] 金树德, 张世芳, 郑荣良. 从玉米生理电特性诊断旱情 [J]. 农业工程学报, 1999, 15(3): 91~ 95
- [7] Blanchard R O, Shortle W C, Davis W. Mechanism relating cambial electrical resistance to periodic growth rate of balsam fir [J]. Canadian Journal of Forest Research 1983, 13(3): 472~ 480
- [8] Piene H, Thompson R G, McIsaac J E, *et al*. Electrical resistance measurements on young balsam fir trees in relation to specific volume increment, foliar biomass and ion content of bark and wood [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1984, 14(2): 177~ 180
- [9] Dixon M A, Thompson R G, Fensom D S. Electrical resistance measurements of water potential in avocado and white spruce [J]. Canadian Journal of Forest Research 1978, 8(1): 73~ 80
- [10] Piene H, Fensom D S, McIsaac 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
- [11] 高保山, 董燕南, 王保柱. 树木生命力的电特性分析 [J]. 河北农业大学学报, 1997, 20(1): 71~ 73
- [12] Davis W, Shortle W, Shigo A. Potential hazard rating system for fir stands infested with budworm using cambial electrical resistance [J]. Canadian Journal of Forest Research 1980, 10(4): 541~ 544
- [13] Blanchard R O, Carter J K. Electrical resistance measurements to detect Dutch elm disease prior to symptom expression [J]. Canadian Journal of Forest Research 1980, 10(1): 111~ 114
- [14] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003
- [15] 邹琦. 植物生理学试验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [16] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学试验指导 (第三版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003
- [17] 时忠杰, 胡哲森, 李荣生. 水分胁迫与活性氧代谢 [J]. 贵州大学学报 (农业与生物科学版), 2002, 21(2): 140~ 145
- [18] 王霞, 侯平, 尹林克, 等. 土壤水分胁迫对柞柳体内膜保护酶及膜脂过氧化的影响 [J]. 干旱区研究, 2002, 19(3): 17~ 20
- [19] 曾福礼, 张明凤, 李玉峰. 干旱胁迫下小麦叶片微粒体活性氧自由基的产生及其对膜的伤害 [J]. 植物学报, 1997, 39(12): 1 105~ 1 109
- [20] 左仲武, 刘彦超, 刘志龙. 水分胁迫下水杨酸对油松幼苗叶片膜脂过氧化作用的影响 [J]. 西北林学院学报, 2003, 18(4): 24~ 25