

钱 稷, 张海旺, 邱 葆, 等. 基于电阻抗图谱法测定桃树抗寒性[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(11): 102–104.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.11.027

基于电阻抗图谱法测定桃树抗寒性

钱 稷¹, 张海旺², 邱 葆¹, 陈海江¹

(1. 河北农业大学园艺学院, 河北保定 071001; 2. 辽宁省干旱地区造林研究所, 辽宁朝阳 122000)

摘要:对 3 个桃树品种分别进行冷冻处理, 采用电解质渗透法(EL)、电阻抗图谱法(EIS)进行抗寒性测定及相关分析。结果表明, 2 种方法测定 3 个桃树品种的抗寒性与其生产上表现的抗寒性强弱一致, 并且均随着外界温度的变化而变化。其中 EIS 参数中胞内电阻率(r_i)法测得的抗寒性和 EL 法测得抗寒性的相关性($r=0.890^{**}$)最高, 线性回归方程为 $y=0.8818x-2.2807$ ($r^2=0.8074$)。

关键词:桃树; 电阻抗图谱法; 抗寒性; 电解质渗透法; 抗寒锻炼; 脱锻炼

中图分类号: S662.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)11-0102-03

抗寒性是果树栽培与选育中的主要指标, 也是桃树重要的性能指标, 它决定了不同桃树品种适合栽培的区域以及温度要求。在农业生产实践中, 大约需要 10 年时间培育验证不同桃树品种的抗寒性, 长周期会给农民带来较大的经济风险^[1-3]。测定植物抗寒性的方法较多, 但是快速、准确, 又能应用在桃树抗寒性测定的方法鲜有报道。同时应用电阻抗图谱法、电解质渗透法测定桃树的抗寒性, 找出 2 种方法的相关性, 确定电阻抗图谱法和电解质渗透法相关性最优的参数, 以这个参数来快速测定桃树的抗寒性^[4-6]。本研究以抗寒性不同、生产上常见的 3 个桃品种为研究对象, 利用 2 种方法(EIS 和 EL)测定各品种在不同时期枝条抗寒性的变化, 并通过冷冻处理, 利用分布电路元素(distributed circuit element, DCE)模型^[7], 计算不同时期桃树枝条的电阻抗图谱(EIS)参数, 然

后将每个 EIS 参数和电解质渗透率(EL)参数进行相关性分析, 得出最优、最简便、最准确的体现桃树抗寒性的参数, 旨在为抗寒性快速评价提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料取自河北省辛集市石碑村, 分别为生产上抗寒性较强的桃树品种大久保、抗寒性较弱的桃树品种 21 世纪, 以及抗寒性中等的桃树品种北京 54 号。

2014 年 9 月中旬开始采样, 至第 2 年 5 月中旬结束, 其中抗寒锻炼时间为 2014 年 9 月—2015 年 1 月, 脱锻炼时间为 2015 年 1—5 月。每个品种选长势一致的 3 株植株作为试验对象, 每次采样从每株桃树上选择 30~40 cm 的枝条作为抗寒性测定对象。

1.2 方法

参照张钢等的方法^[8]进行冷冻处理, 温度处理见表 1。

根据 Wilner 测定 EL 的方法^[9], 对每个温度处理设置 4 次重复。参照 Zhang 等的方法^[10]测定 EIS, 每个温度处理设

收稿日期: 2016-09-14

基金项目: 国家桃产业技术体系建设项目(编号: CARS-31-3-02); 河北省科技计划(编号: 15227411、15227529)。

作者简介: 钱 稷(1983—), 男, 河北保定人, 博士研究生, 讲师, 主要从事逆境生理与环境调控研究。E-mail: qianji167@163.com。

[24] Vanstraelen M, Benková E. Hormonal interactions in the regulation of plant development[J]. Annual Review of Cell and Developmental Biology, 2012, 28(1): 463–487.

[25] Cho H Y, Chang C Y, Huang L C, et al. Indole-3-butyric acid suppresses the activity of peroxidase while inducing adventitious roots in *Cinnamomum kanehirae* [J]. Botanical Studies, 2011, 52(2): 153–160.

[26] Nag S, Saha K, Choudhuri M A. Role of auxin and polyamines in adventitious root formation in relation to changes in compounds involved in rooting[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2001, 20(2): 182–194.

[27] Husen A, Pal M. Metabolic changes during adventitious root primordium development in *Tectona grandis* Linn. f. (teak) cuttings as affected by age of donor plants and auxin (IBA and NAA) treatment[J]. New Forests, 2007, 33(3): 309–323.

[28] Ilczuk A, Jacygrad E. The effect of IBA on anatomical changes and antioxidant enzyme activity during the *in vitro* rooting of smoke tree

(*Cotinus coggygia* Scop.) [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 210: 268–276.

[29] 周祥明, 刘玉堂, 赵宪争, 等. 合欢硬枝扦插生根解剖及相关酶活性变化研究[J]. 植物研究, 2016, 36(1): 58–61.

[30] Ribeiro R C, Feitoza R B B, Lima H R P, et al. Phytotoxic effects of phenolic compounds on *Calopogonium mucunoides* (Fabaceae) roots [J]. Australian Journal of Botany, 2015, 63(8): 679–686.

[31] De Klerk G J, Guan H Y, Huisman P, et al. Effects of phenolic compounds on adventitious root formation and oxidative decarboxylation of applied indoleacetic acid in *Malus* 'Jork 9' [J]. Plant Growth Regulation, 2011, 63(2): 175–185.

[32] 李晨晨, 周再知, 张金浩, 等. 外源 IBA 对裸花紫珠插穗营养物质含量及抗氧化酶活性的影响[J]. 热带作物学报, 2016, 37(11): 2113–2118.

[33] 郑 科, 郎南军, 曹福亮, 等. 麻疯树枝条扦插生长中多酚氧化酶、过氧化物酶的活性变化[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(4): 177–180.

表 1 冷冻处理温度设置

时期	日期 (月-日)		温度 (℃)						
抗寒锻炼	09-15	4	-6	-10	-15	-20	-25	-35	
	10-15	4	-8	-16	-20	-26	-34	-45	
	11-15	4	-8	-15	-22	-34	-45	-70	
	12-15	4	-8	-16	-25	-34	-43	-54	
脱锻炼	01-15	4	-10	-22	-34	-45	-55	-65	
	01-15	4	-10	-22	-34	-45	-55	-65	
	02-15	4	-8	-16	-25	-34	-45	-55	
	03-15	4	-8	-15	-22	-34	-42	-50	
	04-15	4	-8	-16	-22	-34	-42	-50	
	05-15	4	-6	-10	-15	-25	-35	-45	

定 8 次重复,得到 EIS 中的 4 个参数(胞外电阻率 r_e 、胞内电阻率 r_i 、弛豫时间 τ 、弛豫时间的分布系数 ψ)。利用 Logistic 方程,将 EIS 参数 r_e 、 r_i 、 τ 、 ψ 拟合出半致死温度,得到不同品种桃树的抗寒性。

表 2 胞外电阻率法测定枝条半致死温度

品种	半致死温度(℃)								
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
大久保	-15.12	-17.92	-25.18	-36.96	-40.09	-33.82	-23.23	-21.16	-10.08
北京 54 号	-9.67	-17.03	-22.97	-30.05	-34.13	-24.44	-25.78	-15.79	-8.00
21 世纪	-17.69	-17.28	-22.3	-24.3	-23.57	-20.39	-23.93	-12.52	-9.95

2.1.2 胞内电阻率法测定抗寒性 表 3 表明,利用 r_i 得到的 3 个品种抗寒性与胞外电阻率测得抗寒性变化趋势一致,在抗寒锻炼后期抗寒性达到最强,在脱锻炼末期达到最弱。其

表 3 胞内电阻率法测定枝条半致死温度

品种	半致死温度(℃)								
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
大久保	-16.19	-17.07	-30.28	-30.66	-34.76	-34.48	-32.11	-16.84	-10.07
北京 54 号	-12.06	-18.56	-28.34	-29.06	-29.29	-27.68	-24.30	-8.30	-8.22
21 世纪	-18.00	-17.53	-26.73	-27.32	-27.67	-26.00	-24.58	-15.16	-10.13

2.1.3 弛豫时间法测定抗寒性 由表 4 可以看出,抗寒锻炼期间和脱锻炼期间,弛豫时间法测得 3 个品种抗寒性与胞外电阻率、胞内电阻率法测得抗寒性变化趋势一致。在抗寒锻炼期间,21 世纪的半致死温度能够达到 -26.82℃,比其他品

表 4 弛豫时间法测定枝条半致死温度

品种	半致死温度(℃)								
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
大久保	-14.82	-17.08	-23.62	-30.09	-31.91	-26.28	-23.81	-16.62	-9.67
北京 54 号	-10.67	-16.65	-23.68	-28.89	-30.04	-23.89	-23.14	-9.48	-6.09
21 世纪	-19.35	-16.79	-25.34	-26.33	-26.82	-22.48	-21.49	-13.40	-10.81

2.1.4 弛豫时间分布系数法测定抗寒性 弛豫时间分布系数在 DCE 模型中是根据弛豫时间得出的另一个参数,其变化规律完全和弛豫时间相同,所以利用 ψ 估测桃树品种的抗寒性与利用弛豫时间法估测的完全一致。如表 5 所示,21 世纪的半致死温度在 12 月份(-20.46℃)、1 月份(-19.95℃)比其他品种高,即抗寒性较弱,较不耐寒;大久保在 1 月份的半致死温度为 -26.76℃,在所有测试品种中最低。

2.2 电解质渗透率法测定半致死温度

利用 EL 方法测得 3 个品种在抗寒锻炼期间和脱锻炼期

1.3 数据处理

应用 Excel 2003、SPSS 13.0、SigmaPlot 等软件对所得到的参数进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 电阻抗图谱法测定抗寒性结果

2.1.1 胞外电阻率法测定抗寒性 由表 2 可见,在抗寒锻炼期间,随着试验时间延长,抗寒锻炼深入,利用 r_e 参数得到 3 个桃品种的半致死温度也在升高,抗寒锻炼后期,各品种抗寒性均达到最强;1 月大久保、北京 54 号的半致死温度达到最低值,而 21 世纪在 12 月达到最低值,其抗寒性总体弱于另外 2 个品种。在抗寒性锻炼期间,大久保抗寒性整体高于其他 2 个品种,这与生产实践中的表现相同。随着气温转暖,脱锻炼逐渐深入,各品种的抗寒性均在减弱,在 5 月份达到最弱。大久保、21 世纪在 1 月份的半致死温度分别为 -40.09、-23.57℃,两者相差 16.52℃;在 5 月份差值最小,为 0.13℃。

中 21 世纪在抗寒锻炼末期半致死温度为 -27.67℃,明显高于其他品种,即抗寒性较弱,较不耐寒;大久保在抗寒锻炼末期半致死温度为 -34.76℃,抗寒性最强。

种高,抗寒性差,不耐寒;大久保的半致死温度最低,达到 -31.91℃,在 3 个品种中表现出最强的抗寒性,这也与实际生产中抗寒性的表现相同。

间的半致死温度。如表 6 所示,大久保、北京 54 号的半致死温度在 1 月份达到最低,且前者温度要低于后者。而 21 世纪的半致死温度在 2 月达到最低值,这也是脱锻炼的开始,其温度为 -29.43℃。所以在抗寒锻炼期间,大久保表现出最好的抗寒性,而 21 世纪表现出最差的抗寒性,这也与生产实践中所得到的结论一致。

2.3 EL 法测定抗寒性与 EIS 参数法测定抗寒性的相关性 分析表明,EIS 参数法估测抗寒性与 EL 法估测抗寒性呈极显著正相关,其中相关性最高的为 r_i 法,相关系数 $r =$

表 5 弛豫时间分布系数法测定枝条半致死温度

品种	半致死温度(℃)								
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
大久保	-16.02	-19.52	-28.49	-29.92	-26.76	-23.62	-22.76	-16.96	-10.44
北京 54 号	-16.35	-19.45	-17.86	-25.77	-26.35	-23.57	-22.69	-20.30	-11.58
21 世纪	-17.91	-19.16	-19.72	-20.46	-19.95	-17.04	-20.66	-15.89	-6.43

表 6 电解质渗透率法测定枝条半致死温度

品种	半致死温度(℃)								
	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月
大久保	-9.71	-19.60	-37.71	-34.58	-36.89	-35.36	-27.76	-18.38	-13.05
北京 54 号	-10.40	-19.49	-22.52	-29.04	-29.36	-28.48	-25.09	-16.01	-12.54
21 世纪	-10.53	-20.20	-23.79	-25.79	-24.26	-29.43	-23.86	-17.29	-11.06

0.890,其次为 r_e 法、 ψ 法、 τ 法,相关系数分别为 0.878、0.825、0.836(表 7)。进一步通径分析表明,冷冻处理 EIS 法测定抗寒性对枝条抗寒性响应较大, r_e 法、 r_i 法、 τ 法、 ψ 法直接通径系数依次为 0.451、0.958、-0.674、0.232,说明在 EIS 参数中 r_i 影响最大。回归方程如下:

$$EL=0.451r_e+0.958r_i-0.674\tau+0.232\psi。$$
 (1)

为了进一步说明 EIS 参数可以表现桃品种的抗寒性,建立了 EL、EIS 参数之间的回归方程。由表 8 可以看出,EIS 各参数和 EIS 建立的线性回归方程其 r^2 值都大于 0.6,说明 EIS 参数可以很好地用线性关系表现 EL。

表 7 EL 法与 EIS 法测定半致死温度相关分析

方法	相关系数 r	直接通径系数 β
r_e 法	0.878 **	0.451
r_i 法	0.899 **	0.958
τ 法	0.826 **	-0.674
ψ 法	0.835 **	0.232

注:“ ** ”表示在 0.01 水平上极显著相关。

表 8 EL 法与 EIS 法参数回归方程

EL 与 EIS 参数	回归方程	r^2
r_e 与 EIS 参数	$y=0.873\ 8x-1.794\ 6$	0.770 3
r_i 与 EIS 参数	$y=0.881\ 8x-2.280\ 7$	0.807 4
τ 与 EIS 参数	$y=0.719\ 7x-4.025\ 1$	0.715 2
ψ 与 EIS 参数	$y=0.531\ 0x-7.797\ 9$	0.696 6

3 结论与讨论

前人研究发现,EIS 参数能用于金叶女贞^[11]、苹果^[12]、欧洲赤松^[13]、樟子松^[14] 抗寒性的测定,胞外电阻率 r_e 、弛豫时间 τ 、胞内电阻率 r_i 与 EL 法测定的抗寒性有很高的相关性。本研究发现,EL 和 EIS 参数法测定 3 个桃树品种的抗寒性均随着外界温度的变化而变化,所测 3 个品种的抗寒性与生产上抗寒性表现一致。相关性分析表明,EIS 参数法测定的抗寒性与 EL 法测定的半致死温度呈极显著线性正相关,其中利用 EIS 参数 r_e 、 r_i 、 τ 、 ψ 测得不同桃树品种在不同时期的抗寒性与 EL 法测定的抗寒性相关系数分别为 0.878、0.899、0.826、0.835。直接通径系数越大,即自变量对因变量的影响越大,越能反映出因变量的变化趋势^[2,15]。本研究结果表明,不同桃树品种经过冷冻处理后,利用 EIS 法得到胞外电阻率 r_e 、胞内电阻率 r_i 、弛豫时间 τ 、弛豫时间分布系数 ψ ,能够很好地表现桃树的抗寒性,因此 r_e 、 r_i 、 τ 、 ψ 是快速而简单测定冷

冻处理桃树枝条抗寒性的重要参数,其中 r_i 是快速测定桃树抗寒性的最佳参数。

参考文献:

[1]汪祖华,庄恩及. 中国果树志:桃卷[M]. 北京:中国林业出版社,2001.

[2]张文宝,郭继英. 北京市平谷区桃树冻害情况分析[J]. 北京农业,2010(10):52-54.

[3]张素敏. 二十一世纪桃冻害预防综合管理技术[J]. 中国果树,2012(1):75.

[4]李亚青,张 钢,郗书鹏,等. 白皮松枝条和针叶的电阻抗参数与抗寒性的相关性[J]. 林业科学,2008,44(4):28-34.

[5]李 亚,张 钢,张玉星,等. 水杨酸对大叶黄杨枝条抗寒性和电阻抗图谱参数的影响[J]. 生态学杂志,2010,29(3):460-466.

[6]金明丽,徐继忠,张 钢. 苹果砧木枝条电阻抗参数与其抗寒性的关系[J]. 园艺学报,2011,38(6):1045-1051.

[7]Repo T,Zhang G,Ryyppö A,et al. The electrical impedance spectroscopy of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) shoots in relation to cold acclimation[J]. Journal of Experimental Botany,2000,51(353):2095-2107.

[8]张 钢,肖建忠,陈段芬. 测定植物抗寒性的电阻抗图谱法[J]. 植物生理与分子生物学报,2005,31(1):19-26.

[9]Wilner J J. Note on an electrolytic procedure for differentiating between frost injury of roots and shoots in woody plants[J]. Canadian Journal of Plant Science,1959,39:512-513.

[10]Zhang G,Ryyppö A,Vapaavuori E. Quantification of additive response and stationarity of frost hardiness by photoperiod and temperature in Scots pine[J]. Canadian Journal of Forest Research,2003,33(9):1772-1784.

[11]刘 辉,张 钢. 短日照对金叶女贞茎抗寒性和电阻抗参数图谱参数的影响[J]. 华北农学报,2008,23(2):173-179.

[12]金明丽. 苹果砧木实生后代抗寒性鉴定[D]. 保定:河北农业大学,2011.

[13]Repo T,Zhang M,Ryyppo A,et al. Effects of freeze-thaw injury on parameters of distributed electrical circuits of stems and needles of scots pine-seedlings at different stages of acclimation[J]. Journal of Experimental Botany,1994,45(6):823-833.

[14]王爱芳,张 钢,魏士春,等. 不同发育时期樟子松的电阻抗参数与抗寒性的关系[J]. 生态学报,2008,28(11):5741-5749.

[15]杜家菊,陈志伟. 使用 SPSS 线性回归实现通径分析的方法[J]. 生物学通报,2010,45(2):4-6.