

## 生物电阻抗技术评价大花月季的耐热性及抗寒性

崔睿航, 范少然, 焦美玲, 张 钢

(河北农业大学 园艺学院, 河北 保定 071000)

**摘 要:**以2年生大花月季品种“黑魔术”“金奖章”“全美小姐”当年生枝条为试材,采用电阻抗图谱(EIS)法研究了茎在4—8月的耐热性与9月至翌年1月的抗寒性,并对高温、低温胁迫下电阻抗参数的变化进行了详细研究,以期确定各电阻抗参数对温度胁迫的响应,并得到不经温度处理估测半致死温度的最适参数及响应回归方程。结果表明:胞外电阻率 $r_e$ 和弛豫时间 $\tau$ 随高温、 $r_e$ 随低温处理的变化曲线能用 Logistic 方程得到较好拟合结果;不经温度处理样本最适估测高温半致死温度的参数分别为“黑魔术”胞内电阻率 $r_i$ ( $r=0.795$ )、“金奖章” $r_i$ ( $r=0.809$ )、“全美小姐” $\tau$ ( $r=-0.858$ );最适估测低温半致死温度的参数分别为“黑魔术”弛豫时间发布系数 $\psi$ ( $r=0.967$ )、“金奖章” $r_e$ ( $r=-0.873$ )、“全美小姐” $\psi$ ( $r=0.922$ )。

**关键词:**大花月季;温度胁迫;电阻抗;半致死温度

**中图分类号:**S 685.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)22-0075-07

温度是植物生存的重要因素,是制约植物产量和品质的主要环境因子<sup>[1]</sup>。温度胁迫包括低温胁迫和高温胁迫。多数月季品种较抗寒,但相关研究指出大花月季抗寒性低于丰花、地被月季等品种<sup>[2]</sup>,自然低温也是月季向北推广的最大制约因素<sup>[3]</sup>,因此月季的抗寒性研究具有实践意义;月季生长忌高温,温度高于30℃时将进入半休眠状态,生长不良,病虫害加重,因此对月季的耐热性研究显得尤为重要<sup>[4]</sup>。叶片比茎更容易感受外界温度的变化,但该研究旨在丰富 EIS 法在植物抗逆性上的应用,及确定大花月季的半致死温度,因此选择茎作为试材。

植物在受到低温或高温胁迫时,细胞原生质膜的结构和功能首先受到破坏<sup>[5]</sup>,电阻抗图谱(electrical impedance spectroscopy, EIS)法能够快速、灵敏、非破坏性地收集到逆境胁迫下因细胞膜透性变化而产生的生理生化变化<sup>[6]</sup>,是生物工程研究领域的热点技术。该方法在植物抗寒性研究中已成熟运用,但在耐热性研究上报道较少,在月季耐热性研究上尚鲜见报道。研究月季的抗寒性、耐热性变化,能为进一步探究月季适应温度胁迫的机理提供参考依据,为进行月季耐温度胁迫分子

育种奠定理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验材料在河北农业大学标本园(北纬38°44′、东经116°35′)内定植,定植前施入有机肥,并用50%多菌灵可湿性粉剂800倍液对土壤进行喷施消毒处理,晾晒2d后,按30cm×50cm株行距将3个品种月季进行随机定植。试验地在试验期内极端高温39℃,极端低温-14℃。

### 1.2 试验材料

供试材料为2年生大花月季品种“黑魔术”(‘Magia Nera’),“金奖章”(‘Gold Medal’),“全美小姐”(‘Maria Callas’)的当年生枝条。为求得组织半致死温度设置包括对照(CK)、2个使样品失活温度和2个维持样品活性的温度,取样时间及处理温度见表1。随机取样,将所采

表1 耐热性及抗寒性研究中的不同温度设置

Table 1 Different temperatures setting of heat resistance and cold resistance

研究内容	日期	温度
Research content	Date/(年-月-日)	Temperature/℃
耐热性 Heat resistance	2014-04-12	CK 30 35 40 45 50 55
	2014-05-12	CK 30 35 40 45 50 55
	2014-06-13	CK 30 35 40 45 50 55
	2014-07-12	CK 36 40 44 48 55 60
	2014-08-12	CK 36 40 44 48 55 60
抗寒性 Cold resistance	2014-09-22	CK -4 -8 -12 -16 -22 -30
	2014-10-22	CK -4 -8 -12 -16 -22 -30
	2014-11-22	CK -6 -12 -18 -22 -26 -35
	2014-12-22	CK -6 -12 -18 -22 -26 -35
	2015-01-22	CK -8 -14 -20 -24 -28 -35

**第一作者简介:**崔睿航(1990-),男,河北唐山人,硕士研究生,研究方向为观赏作物抗性生理生态。E-mail:946766243@qq.com。

**责任作者:**张钢(1959-),男,博士,教授,现主要从事观赏作物抗性生理生态的教学与科研工作。E-mail:zhanggang1210@126.com。

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31272190)。

**收稿日期:**2016-08-09

样品用清水去除表面污渍,再用去离子水清洗 3 遍。洗后吸干水分,然后分别装于封口袋中,放入 4℃ 冰箱暂存,准备温度处理。

### 1.3 试验方法

1.3.1 耐热性研究 高温处理采用水浴法。将清洗过的枝条随机分放到按处理温度标记好的锥形瓶内,向瓶内注入 50 mL 左右去离子水(确保水面没过试材),然后于水浴锅中按照设定温度进行处理,以 6℃·h<sup>-1</sup> 的速率升温,至设定温度时保持 2 h。处理完毕的枝条自然冷却至室温,随后放置于 4℃ 冰箱,保持 2~4 h 后用于电导、电阻抗的测定。

1.3.2 抗寒性研究 抗寒性研究参照金明丽等<sup>[7]</sup>的方法,使用变温冰箱进行温度处理。将材料分装到封口袋后,向袋内喷入少量去离子水,以免材料发生过冷。按照所设置的温度梯度,以 6℃·h<sup>-1</sup> 的速率降温,至设定温度时保持 4 h。处理完毕的枝条再升温到 4℃(升温速率同降温速率),于 4℃ 下保持 2~4 h 后用于电导、电阻抗的测定。

### 1.4 项目测定

电阻抗的测定:从茎段中部节间切取 15 mm 用于电阻抗测定。测定前量出样本直径。参照 ZHANG 等<sup>[8]</sup>的方法,用阻抗仪(E4980A,USA)测定样本在 42 个频率(80 Hz~1 MHz)下的电阻值和容抗值,并做出电阻和容抗随频率变化曲线,即 EIS。根据 EIS 确定适用等效电路。试验设 8 次重复。大花月季茎段的 EIS 为单弧,用单-DCE(distributed circuit element)模型分析<sup>[8]</sup>。等效电

路参数用 LEVM 8.06(Macdonald JR)软件<sup>[9]</sup>进行拟合。EIS 各参数的数学解释及计算公式参阅文献<sup>[10]</sup>。

相对电导率的测定及半致死温度的计算参照王刘环等<sup>[11]</sup>的方法。

### 1.5 数据分析

将各 EIS 参数(胞外电阻率  $r_e$ 、胞内电阻率  $r_i$ 、弛豫时间  $\tau$ 、弛豫时间分布系数  $\psi$ )随温度变化用 Microsoft Excel 2003 作图,参照 Logistic 方程,用 SPSS 19.0 软件计算耐热性和抗寒性,给出与 Logistic 方程的拟合优度及各参数与温度变化之间的相关系数;统计试验周期内各 EIS 参数变化,建立不经温度处理估算耐热性、抗寒性的数学模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 EIS 参数的变化

2.1.1 耐热性研究周期内 EIS 参数的变化 从图 1 可以看出,在 4—8 月,3 个品种大花月季茎的各 EIS 参数均发生了变化。其中“黑魔术”“金奖章” $r_e$ 呈现‘M’型变化,总体有升高趋势,“全美小姐” $r_e$ 则表现为先上升后平稳,3 个品种间差异分析显示仅在 5 月“金奖章”与其它 2 种月季存在显著差异( $P<0.05$ )。 $r_i$ 变化类似,也有逐渐上升趋势,其中 5 月时“全美小姐”显著低于其它 2 个品种( $P<0.01$ ),6 月时显著高于其它 2 个品种( $P<0.01$ )。 $\tau$ 除“黑魔术”在 7 月异常升高( $P<0.01$ )外,其它时期表现出小幅的下降,品种间无差异。 $\psi$ 变化趋势不明显,品种间无差异。

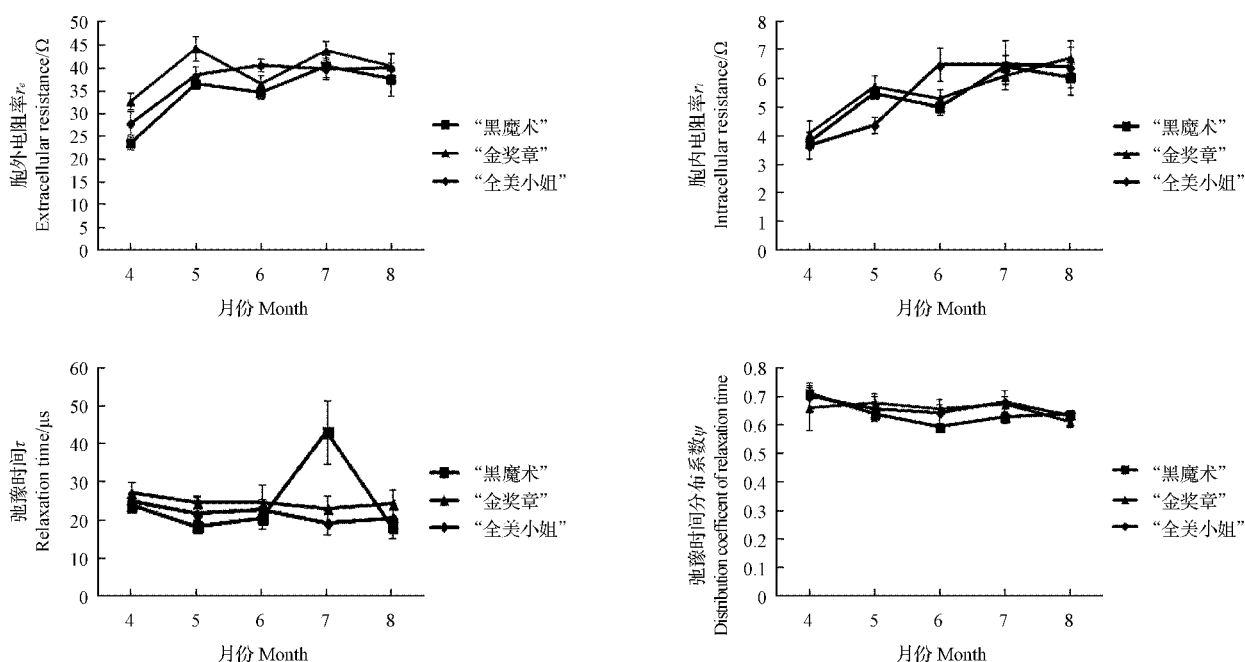


图 1 耐热性研究周期内各 EIS 参数的变化

Fig. 1 Variation of EIS parameters in the heat resistance research period

2.1.2 抗寒锻炼期间 EIS 参数变化 由图 2 可知,随着抗寒锻炼的进行,3 个品种各 EIS 参数均发生规律性变化。其中  $r_e$  均逐渐上升,且在 1 月时大幅增加,品种间差异分析显示,1 月时“黑魔术”与其它 2 个品种间存在极显著差异( $P<0.01$ )。 $r_i$  同样表现出增高趋势,且 1 月时升高幅度较大,“黑魔术”与“金奖章”间差异显著( $P<0.05$ )。3 个品种  $\tau$  的变化规律不同,仅“黑魔术”有递增

趋势。 $\psi$  均表现出下降趋势,品种间无差异。

## 2.2 人工控温对 EIS 参数的影响

2.2.1 高温处理下 EIS 参数的变化 图 3 表明,随着处理温度的增加,3 个品种各 EIS 参数均表现出减小的趋势。其中  $r_e$  在 55 °C 时急剧减小; $r_i$  在 55 °C 时几乎减小为 0; $\tau$  在 48 °C 时急剧减小,55 °C 时几乎减小为 0; $\psi$  一直小幅下降。品种间在个别温度处理时存在差异,但并未得到一致规律。

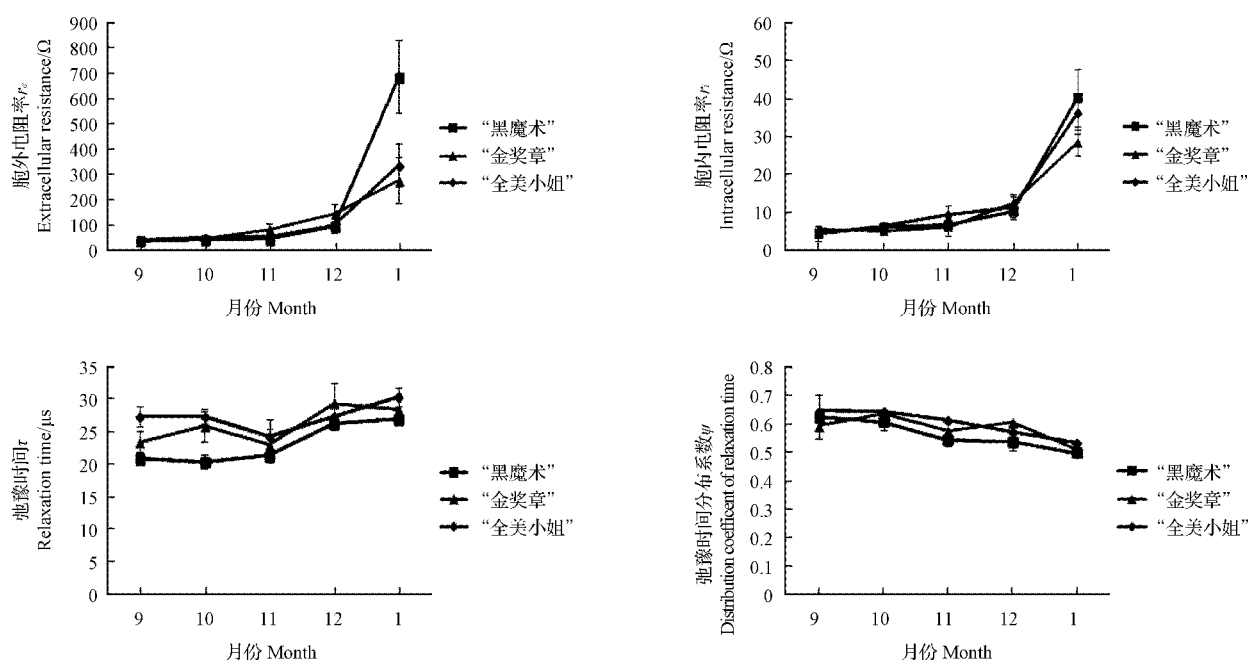


图 2 抗寒锻炼期间各 EIS 参数的变化

Fig. 2 Variation of EIS parameters during the cold acclimation

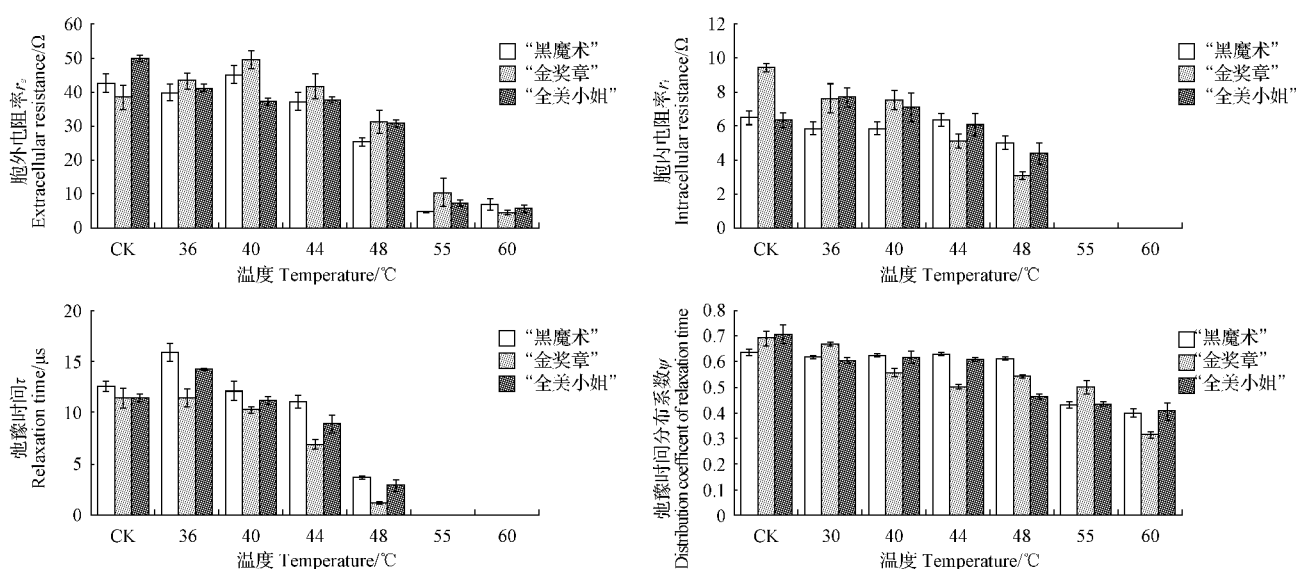


图 3 8 月不同高温处理下 EIS 参数的变化

Fig. 3 Change of EIS parameters at different high temperatures test in August

2.2.2 低温处理下 EIS 参数的变化 从图 4 可以看出,随着处理温度的降低,3 个品种各 EIS 参数表现出不同

规律。其中,  $r_e$  逐渐降低,在 -17 °C 时下降明显;  $r_i$  未表现出明显变化趋势;  $\tau$  逐渐减小,同样在 -17 °C 时下降

明显, -35℃以后, 几乎为0;  $\psi$  变化不明显。

### 2.3 半致死温度的确定

对不同温度处理下4个电阻抗参数随温度变化进行非线性回归分析, 结果表明, 高温处理下, 3个品种的  $r_e$ 、 $\tau$  的变化分布接近S型曲线, 拟合所得半致死温度具有变异区间; 低温处理下仅  $r_e$  变化的分布接近S

型曲线, 拟合所得半致死温度具有变异区间(表2)。 $r_e$ 、 $\tau$  拟合得到的高温半致死温度表明  $r_e$ 、 $\tau$  均与温度变化呈负相关, 各品种均在8月时耐热性达到最强(表3、4)。 $r_e$  对低温半致死温度拟合结果表明  $r_e$  与温度变化呈正相关, 各品种抗寒性均逐渐增强, 到1月时达到最强(表5)。

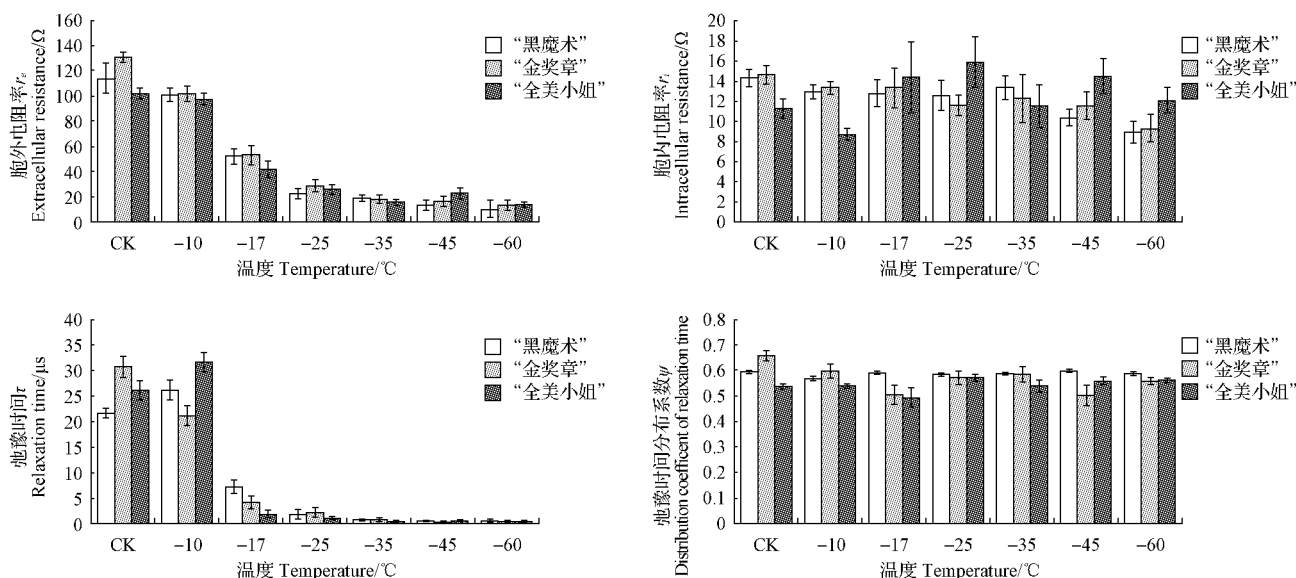


图4 12月不同低温处理下EIS参数的变化

Fig. 4 Change of EIS parameters at different low temperatures test in December

表2

电阻抗参数拟合的半致死温度情况

Table 2

Semi-lethal temperature estimated by EIS parameters

品种 Variety	胞外电阻率( $r_e$ )		胞内电阻率( $r_i$ )		弛豫时间( $\tau$ )		弛豫时间分布系数( $\psi$ )	
	耐热	抗寒	耐热	抗寒	耐热	抗寒	耐热	抗寒
“黑魔术”	✓	✓	—	—	✓	—	—	—
“金奖章”	✓	✓	✓	—	✓	—	—	—
“全美小姐”	✓	✓	—	—	✓	✓	—	—

注:“✓”表示可计算出半致死温度且具有温度变异区间;“—”表示不可计算出半致死温度或不具有温度变异区间。

Note:“✓” means the half lethal temperature and temperature variation range can be calculated;“—” means that it can not be calculated the half lethal temperature or not with temperature variation range.

表3

耐热性研究周期内  $r_e$  拟合所得半致死温度

Table 3

Semi-lethal temperatures estimated by  $r_e$  during the heat resistance research

品种	日期	半致死温度	温度变化区间	决定系数	相关系数
Variety	Date/(年-月-日)	Semi-lethal temperature/℃	Change interval/℃	$R^2$	$r$
“黑魔术”	2014-04-12	38.159	36.953~39.662	0.905	-0.763
	2014-05-12	39.164	37.737~40.590	0.927	-0.869
	2014-06-13	46.825	45.448~48.202	0.857	-0.640
	2014-07-12	46.873	45.445~48.301	0.902	-0.759
	2014-08-12	48.159	47.162~49.228	0.880	-0.679
“金奖章”	2014-04-12	34.283	33.971~35.482	0.912	-0.818
	2014-05-12	36.910	35.002~37.763	0.943	-0.872
	2014-06-13	42.886	40.412~44.763	0.761	-0.570
	2014-07-12	43.047	42.116~44.528	0.963	-0.907
	2014-08-12	45.235	43.229~46.807	0.912	-0.833
“全美小姐”	2014-04-12	37.111	34.881~39.019	0.658	-0.507
	2014-05-12	37.658	36.511~38.692	0.884	-0.667
	2014-06-13	39.014	38.310~40.279	0.923	-0.853
	2014-07-12	41.881	37.881~44.072	0.594	-0.487
	2014-08-12	41.625	38.335~42.701	0.711	-0.519

表 4 耐热性研究周期内  $\tau$  拟合所得半致死温度

Table 4 Semi-lethal temperatures estimated by  $\tau$  during the heat resistance research

品种	日期	半致死温度	温度变化区间	决定系数	相关系数
Variety	Date/(年-月-日)	Semi-lethal temperature/℃	Change interval/℃	$R^2$	$r$
“黑魔术”	2014-04-12	40.432	39.852~41.573	0.706	-0.621
	2014-05-12	41.622	39.193~44.051	0.724	-0.572
	2014-06-13	45.260	42.759~47.760	0.630	-0.592
	2014-07-12	42.607	41.950~43.264	0.966	-0.842
	2014-08-12	46.307	42.961~48.193	0.648	-0.592
“金奖章”	2014-04-12	37.824	34.070~34.112	0.647	-0.527
	2014-05-12	37.919	36.501~38.772	0.862	-0.740
	2014-06-13	42.120	38.777~45.383	0.588	-0.469
	2014-07-12	43.993	41.339~46.142	0.607	-0.510
	2014-08-12	45.622	42.731~47.634	0.714	-0.539
“全美小姐”	2014-04-12	39.484	38.884~40.853	0.829	-0.702
	2014-05-12	38.513	34.026~41.521	0.523	-0.396
	2014-06-13	42.008	39.771~44.315	0.694	-0.531
	2014-07-12	44.374	41.789~46.508	0.548	-0.470
	2014-08-12	44.500	41.632~46.819	0.510	-0.422

表 5 抗寒性研究周期内  $r_e$  拟合所得半致死温度

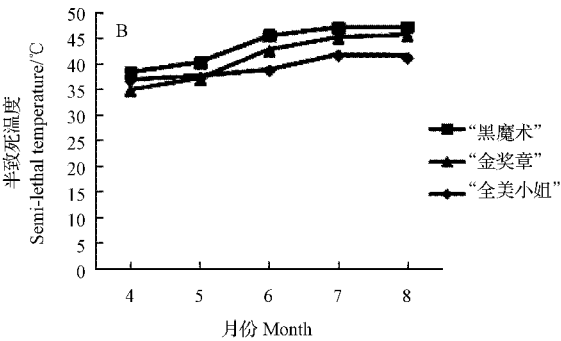
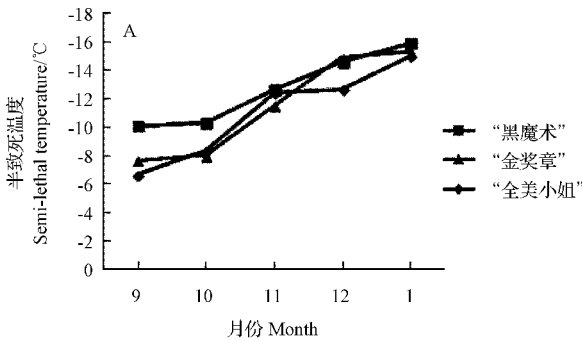
Table 5 Semi-lethal temperatures estimated by  $r_e$  during the cold resistance research

品种	日期	半致死温度	温度变化区间	决定系数	相关系数
Variety	Date/(年-月-日)	Semi-lethal temperature/℃	Change interval/℃	$R^2$	$r$
“黑魔术”	2014-09-22	-8.157	-9.012~-7.363	0.795	0.802
	2014-10-22	-8.464	-8.875~-8.403	0.959	0.858
	2014-11-22	-13.062	-14.055~-12.069	0.935	0.862
	2014-12-22	-15.132	-16.754~-13.510	0.895	0.857
	2015-01-22	-15.473	-16.455~-14.491	0.963	0.894
“金奖章”	2014-09-22	-7.669	-9.001~-6.152	0.704	0.743
	2014-10-22	-8.013	-9.254~-7.435	0.967	0.903
	2014-11-22	-11.556	-13.197~-10.452	0.919	0.867
	2014-12-22	-14.881	-15.744~-13.127	0.972	0.908
	2015-01-22	-15.307	-17.118~-14.166	0.940	0.884
“全美小姐”	2014-09-22	-6.629	-8.114~-4.807	0.878	0.870
	2014-10-22	-8.330	-9.714~-6.992	0.843	0.733
	2014-11-22	-12.414	-13.667~-11.802	0.867	0.811
	2014-12-22	-12.660	-14.008~-10.729	0.853	0.796
	2015-01-22	-14.993	-15.419~-13.633	0.961	0.903

2.4 未经温度处理估测半致死温度

为确定不经温度处理估测半致死温度的回归方程,将电导法求得的耐热性与抗寒性分别和 EIS 参数做了非线性回归分析。图 5 表明在各研究周期内,随着时间

推移,各品种耐热性及抗寒性均有所提升,抗寒性提升更显著。非线性回归分析显示部分 EIS 参数可用于不经温度处理直接估测半致死温度(表 6)。



注:A. 低温,B. 高温。

Note: A. Low temperature, B. High temperature.

图 5 半致死温度变化

Fig. 5 Change of semi-lethal temperatures

表 6

EIS 参数与半致死温度的相关性

Table 6

Relation between EIS parameters and semi-lethal temperatures

研究类别 Research type	品种 Variety	EIS 参数 EIS parameter	回归方程 Regression equation	决定系数 $R^2$	相关系数 $r$
耐热性 Heat resistance	“黑魔术”	$r_e$	$y=0.009x^2-0.076x+35.263$	0.613	0.781
		$r_i$	$y=0.001x^2+3.134x+27.033$	0.633	0.795
		$\tau$	—	—	—
		$\phi$	$y=-505.820x^2+597.970x-130.830$	0.556	0.714
		$r_e$	—	—	—
	“金奖章”	$r_i$	$y=0.018x^2+3.717x+19.950$	0.655	0.809
		$\tau$	$y=-0.051x^2-0.084x+74.456$	0.642	-0.801
		$\phi$	—	—	—
		$r_e$	—	—	—
		$r_i$	$y=0.116x^2+0.182x+34.800$	0.727	0.852
抗寒性 Cold resistance	“全美小姐”	$\tau$	$y=0.127x^2-6.510x+120.760$	0.782	-0.858
		$\phi$	—	—	—
		$r_e$	$y=0.000x^2-0.084x-7.619$	0.890	-0.749
		$r_i$	$y=0.021x^2-1.116x-5.318$	0.926	-0.787
		$\tau$	$y=0.117x^2-6.341x+70.236$	0.903	-0.944
	“黑魔术”	$\phi$	$y=-126.670x^2+190.230x-79.364$	0.944	0.967
		$r_e$	$y=0.000x^2-0.120x-3.407$	0.993	-0.873
		$r_i$	$y=0.039x^2-1.606x-1.332$	0.908	-0.785
		$\tau$	$y=-0.392x^2+19.520x-251.490$	0.756	-0.737
		$\phi$	—	—	—
	“金奖章”	$r_e$	$y=0.000x^2-0.127x-3.403$	0.748	-0.740
		$r_i$	$y=0.027x^2-1.360x-1.189$	0.974	-0.792
		$\tau$	—	—	—
		$\phi$	$y=594.200x^2-638.550x+156.930$	0.914	0.922

注:“—”表示  $r$  过小,不宜作为估测参数。

Note:“—” means  $r$  is too low, which can not be an estimating parameter.

### 3 讨论与结论

细胞膜透性的变化可以通过 EIS 参数表现出来<sup>[12]</sup>。植物为应对自然高温会在生理形态上发生一系列变化:木本植物树干木栓层会加厚,细胞含水量会下降,可溶性糖含量或盐浓度会增加,细胞膜透性会发生改变,因此必然能引起 EIS 信息的变化。在该试验耐热性研究周期内各品种未经高温处理的 EIS 各参数变化呈现出一定规律,其中  $r_e$ 、 $r_i$  均在 5 月显著升高( $P<0.01$ ),随后变化趋势虽不一致,但均有上升的趋势,半致死温度的计算结果也逐渐升高,这表明大花月季为适应自然高温存在锻炼过程。随着自然温度的下降,光照时间的缩短,植物将进入抗寒锻炼,半致死温度的计算表明大花月季的抗寒性逐渐升高,到 1 月时达到最高。已有较多文献证实 EIS 参数随着抗寒锻炼进行会发生规律性变化,该试验结果表明  $r_e$ 、 $r_i$  呈现增大趋势,而  $\phi$  表现出了小幅的下降,这与对蒿柳(*Salix viminalis* L.)<sup>[13]</sup>、欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)<sup>[8]</sup>的部分研究结果相同。

该试验同时测定了不同温度处理下 EIS 参数的变化。结果表明, $r_e$ 、 $\tau$  可求出高温半致死温度,说明 EIS 参数能有效反映出高温对植物细胞的伤害,刘易超等<sup>[14]</sup>对菊花(*Chrysanthemum morifolium*)EIS 参数在高温胁迫

下的变化研究结果也指出  $r_e$  是指示样品耐热性的最佳参数;确定了  $r_e$  可指示植物抗寒性,这与董军生等<sup>[15]</sup>用 EIS 法测定了抗寒锻炼期间 7 种杨树无性系的抗寒性的结果相同,王爱芳等<sup>[16]</sup>对樟子松(*Pinus sylvestris* L. var. *mongolica* Litv.), VÄINÖLÄ 等<sup>[17]</sup>对杜鹃的研究也指出 EIS 法可用来估测抗寒性。

该试验中各时期不同的 EIS 参数均呈现出一定的变化规律,这表明为适应自然温度变化大花月季的细胞组织结构和生理指标产生了响应性改变,并反映到了 EIS 信息中。不同品种用于估测半致死温度的最佳 EIS 参数不尽相同,最适估测高温半致死温度的参数分别为“黑魔术” $r_i$  ( $r=0.795$ )、“金奖章” $r_i$  ( $r=0.809$ )、“全美小姐” $\tau$  ( $r=-0.858$ );最适估测低温半致死温度的参数分别为“黑魔术” $\phi$  ( $r=0.967$ )、“金奖章” $r_e$  ( $r=-0.873$ )、“全美小姐” $\phi$  ( $r=0.922$ )。王刘环等<sup>[11]</sup>对 3 种丰花月季品种的抗寒性研究结果同样未得到统一的最佳参数,这可能是由于月季的遗传成分复杂,不同品种对自然变温的响应存在差异。

综上所述,大花月季的耐热性及抗寒性可采用 EIS 法进行评价,通过对 EIS 参数的检测可以判断大花月季细胞组织受温度胁迫后的生理状态及损伤情况。

## 参考文献

- [1] 王涛,田雪瑶,谢寅峰,等.植物耐热性研究进展[J].云南农业大学学报,2013,28(5):719-726.
- [2] 姚斌.月季的抗性试验研究与选优[J].现代园艺,2013(6):16.
- [3] 王玉全.丰花月季抗寒性研究[J].园艺与种苗,2012(7):32-34,46.
- [4] 曾尚文.月季耐湿热性研究综述[J].南方林业科学,2015,43(4):25-28.
- [5] 李素华,姬金凤.利用电导法鉴定几种野生花卉的抗寒性和耐热性[J].贵州农业科学,2012,40(11):182-184.
- [6] 田洪润,高荣孚,王华芳.以电阻抗谱法研究植物细胞膜透性生物学[J].广东农业科学,2013(5):142-144.
- [7] 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.
- [8] ZHANG G, RYYPÖ A, REPO T. The electrical impedance spectroscopy of Scots pine needles during cold acclimation[J]. Physiologia Plantarum, 2000, 115:385-392.
- [9] REPO T, ZHANG M I N, RYYPÖ A. 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, 45:823-833.
- [10] 张军,赵慧娟,张钢,等.电阻抗图谱法在刺槐种植资源抗寒性测定中的应用[J].植物遗传资源学报,2009,10(3):419-425.
- [11] 王刘环,弓瑞娟,张钢.抗寒锻炼期间丰花月季茎的电阻抗参数与抗寒性的关系[J].河北农业大学学报,2015,38(1):48-52.
- [12] MACDONALD J R, JOHNSON W B. Fundamentals of impedance spectroscopy[M]//BARSOUKOV E, MACDONALD J R, eds. Impedance Spectroscopy: Theory, Experiment and Applications. Hoboken, N J, USA: John Wiley & Sons, 2005:1-26.
- [13] REPO T, LEINONEN M, PAAKKONEN T. Electrical impedance analysis of shoots of Scots pine: Intracellular resistance correlates with frost hardiness[C]//Proceedings of the Finnish-Japanese Workshop on Molecular and Physiological Aspects of Cold and Chilling Tolerance of Northern Crops. Jokioinen, Finland, 1998:27-30.
- [14] 刘易超,肖建忠,杨际双.高温胁迫对菊花电阻抗图谱参数的影响[J].植物科学学报,2012,30(2):198-203.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] VÄINÖLÄ A, REPO T. Impedance spectroscopy in frost hardiness evaluation of *Rhododendron* leaves[J]. Annals of Botany, 2000, 86:799-805.

## Evaluation of Heat Resistance and Cold Resistance of Grandiflora Roses by Bioelectrical Impedance Technology

CUI Ruihang, FAN Shaoran, JIAO Meiling, ZHANG Gang

(College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000)

**Abstract:** The one-year-old shoots in two-year-old grandiflora roses ‘Magia Nera’ ‘Gold Medal’ ‘Maria Callas’ were used as materials. The heat resistance of stems from April to August and the cold resistance of stems from September to the next January were measured by the method of electrical impedance spectroscopy (EIS). And the changes of EIS parameters in high temperature and low temperature stresses were studied in detail. The aims of the present study were to determine the response of EIS parameters to temperature stress, and to obtain the best EIS parameters for estimating the semi-lethal temperatures without temperature test. The results showed that under high temperature stress test, the changes of extracellular resistance  $r_e$  and relaxation time  $\tau$  could be well fitted by Logistic equation; and under low temperature stress test,  $r_e$  could be well fitted by Logistic equation. For the samples without temperature test, the best EIS parameters to estimate the semi-lethal of high temperature stress were intracellular resistance  $r_i$  ( $r=0.795$ ),  $r_i$  ( $r=0.809$ ) and  $\tau$  ( $r=-0.858$ ) for ‘Magia Nera’ ‘Gold Medal’ and ‘Maria Callas’ respectively. The best EIS parameters to estimate the semi-lethal of low temperature stress were relaxation time distribution coefficient of  $\psi$  ( $r=0.967$ ),  $r_e$  ( $r=-0.873$ ) and  $\psi$  ( $r=0.922$ ) for ‘Magia Nera’ ‘Gold Medal’ and ‘Maria Callas’ respectively.

**Keywords:** grandiflora roses; temperature stress; electrical impedance; semi-lethal temperature