

## 10 个红掌品种的抗寒性与耐热性评价

王宏辉<sup>1,3</sup>, 顾俊杰<sup>2</sup>, 房伟民<sup>1,①</sup>, 陈发棣<sup>1</sup>, 张栋梁<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 上海鲜花港企业发展有限公司, 上海 201303;  
3. 科尔沁区农业技术推广中心, 内蒙古 通辽 028000)

**摘要:** 采用低温半致死温度( $LT_{50}$ )评价低温条件下 10 个红掌(*Anthurium andraeanum* Lind.) 品种的抗寒性;并在测定高温(39 °C)处理 48 h 后各品种叶片生理指标的基础上,对这些指标的耐热系数和相关系数进行分析,采用主成分分析和隶属函数法综合评价了 10 个红掌品种的耐热性。结果表明:经过-1 °C、-3 °C、-5 °C、-7 °C 和-9 °C 的低温处理,10 个品种的叶片相对电导率(REC)均逐渐增大,其中,品种‘阿拉巴马’(‘Alabama’)的 REC 值呈“缓慢升高—迅速升高”的趋势,其他品种的 REC 值均呈“缓慢升高—迅速升高—平稳升高”的趋势;依据 Logistic 方程获得的各品种的  $LT_{50}$  值,10 个红掌品种的抗寒性由强至弱依次排序为‘阿拉巴马’,‘皇冠’(‘Royal champion’),‘马都拉’(‘Madural’),‘甜冠军’(‘Sweet champion’),‘特伦萨’(‘Turenza’),‘阿瓦托’(‘Avento’),‘阿瑞博’(‘Arebo’)和‘粉冠军’(‘Pink champion’),‘白冠军’(‘White champion’),‘骄阳’(‘Sierra’)。高温处理 48 h 对各品种叶片的生理指标均有一定影响,其中,REC 值和 CAT 活性明显高于对照(室温),MDA 含量高于或等于对照,它们的耐热系数均大于 100%;相对含水量、叶绿素和类胡萝卜素及脯氨酸含量均低于对照,它们的耐热系数均小于 100%;多数品种叶片的 SOD 和 POD 活性及可溶性蛋白质含量(SPC)低于对照,耐热系数也小于 100%;仅品种‘阿拉巴马’叶片的 SOD 和 POD 活性及 SPC 值略高于对照,耐热系数大于 100%;各指标的耐热系数间均存在一定的相关性。主成分分析结果显示:前 3 个主成分的累计贡献率达到 91.50%,其中,第 1 主成分定义为酶活性和渗透调节物质含量,第 2 主成分定义为光合色素含量,第 3 主成分定义为膜透性。根据耐热性综合评价值,10 个红掌品种耐热性由强至弱依次排序为‘阿拉巴马’、‘皇冠’、‘阿瓦托’、‘阿瑞博’、‘马都拉’、‘骄阳’、‘特伦萨’、‘粉冠军’、‘甜冠军’、‘白冠军’。研究结果表明:品种‘阿拉巴马’的抗寒性和耐热性均较强,可以在不同气候区推广种植。

**关键词:** 红掌; 低温半致死温度( $LT_{50}$ ); 抗寒性; 生理指标; 耐热性; 综合评价

中图分类号: Q945.78; S682.1<sup>+</sup>4 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2015)02-0040-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.02.06

**Evaluation on cold and heat resistances of ten cultivars of *Anthurium andraeanum*** WANG Honghui<sup>1,3</sup>, GU Junjie<sup>2</sup>, FANG Weimin<sup>1,①</sup>, CHEN Fadi<sup>1</sup>, ZHANG Dongliang<sup>2</sup> (1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Shanghai Flower Port Enterprise Development Co., Ltd., Shanghai 201303, China; 3. Extension Center of Agricultural Technology in Horqin, Tongliao 028000, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(2): 40-47

**Abstract:** Cold resistance of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* Lind. under low temperature condition was evaluated by semi-lethal low temperature ( $LT_{50}$ ). And on the basis of determining physiological indexes of leaf of each cultivar after high temperature (39 °C) treatment for 48 h, heat resistance coefficient and correlation coefficient of these indexes were analyzed, and heat resistance of ten cultivars of *A. andraeanum* was comprehensively evaluated by principal component analysis and subordinate function method. The results show that after low temperature treatment of -1 °C, -3 °C, -5 °C, -7 °C and -9 °C, relative electric conductivity (REC) of leaf of ten cultivars increases

收稿日期: 2014-08-22

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(L0201300245); 上海市科技兴农重点攻关项目[沪农科攻字(2011)第1-9号]

作者简介: 王宏辉(1989—),女,蒙古族,内蒙古通辽人,硕士研究生,主要从事种质资源与遗传育种相关研究。

①通信作者 E-mail: fangwm@njau.edu.cn

gradually, in which, REC value of cultivar ‘Alabama’ appears the trend of “increasing slowly – increasing quickly” and that of other cultivars appears the trend of “increasing slowly – increasing quickly – increasing stably”. According to  $LT_{50}$  of each cultivar obtained from Logistic equation, the order of cold resistance of ten cultivars from strong to weak is ‘Alabama’; ‘Royal champion’; ‘Madural’; ‘Sweet champion’; ‘Turenza’; ‘Avento’, ‘Arebo’ and ‘Pink champion’; ‘White champion’; ‘Sierra’. High temperature treatment for 48 h has a certain effect on physiological indexes of leaf of each cultivar. In which, REC value and CAT activity are obviously higher than those of the control (room temperature), MDA content is higher or equal to that of the control, and their heat resistance coefficients all are above 100%; relative water content and contents of chlorophyll, carotenoid and proline are lower than those of the control, and their heat resistance coefficients all are below 100%; activities of SOD and POD and soluble protein content (SPC) in leaf of most cultivars are lower than those of the control, and their heat resistance coefficients all are below 100%, while activities of SOD and POD and SPC value in leaf of only cultivar ‘Alabama’ are slightly higher than those of the control, and their heat resistance coefficients all are above 100%. And there is a certain correlation among heat resistance coefficients of each index. The result of principal component analysis shows that accumulative contribution rate of the first three principal components reaches 91.50%, in which the first principal component is defined as enzyme activity and osmoregulation substance content, the second does as photosynthetic pigment content, and the third does as membrane permeability. According to comprehensive evaluation value of heat resistance, the order of heat resistance of ten cultivars of *A. andraeanum* from strong to weak is ‘Alabama’, ‘Royal champion’, ‘Avento’, ‘Arebo’, ‘Madural’, ‘Sierra’, ‘Turenza’, ‘Pink champion’, ‘Sweet champion’, ‘White champion’. It is suggested that both cold resistance and heat resistance of cultivar ‘Alabama’ are stronger, and it can be planted widely in different climatic regions.

**Key words:** *Anthurium andraeanum* Lind.; semi-lethal low temperature ( $LT_{50}$ ); cold resistance; physiological index; heat resistance; comprehensive evaluation

红掌 (*Anthurium andraeanum* Lind.) 又名安祖花、花烛, 为天南星科 (Araceae) 花烛属 (*Anthurium* Schott) 常绿宿根植物, 是近年来国内外最流行的热带花卉之一。红掌原产于热带和亚热带雨林地区, 适宜生长温度为 14 °C ~ 35 °C, 温度过低或过高都会影响其生长发育, 致其观赏品质下降。中国北方冬季寒冷且倒春寒现象严重, 而南方夏季常有持续高温且部分地区最高气温可达 40 °C 以上, 限制了红掌在不同气候区的应用。因此, 筛选和培育抗寒性和耐热性强的品种是红掌推广栽培的有效手段之一。

植物抗寒性研究可以采用生理指标、形态指标及细胞结构观察等方法, 其中, 测定低温条件下离体组织的相对电导率并确定其低温半致死温度 ( $LT_{50}$ ) 是抗寒性评价中一种常用、便捷的方法, 且对植株的伤害也较小<sup>[1]</sup>, 目前该方法已应用于茶梅品种 ‘小玫瑰’ (*Camellia hiemalis* ‘Shishi Gashira’)<sup>[2]</sup> 和菊花 [*Dendranthema morifolium* (Ramat.) Tzvel.]<sup>[3]</sup> 等植物的抗寒能力评价。有关低温对红掌生理指标影响的研究较多<sup>[4-6]</sup>, 但存在测定指标多、操作繁琐、涉及红掌品种较少以及取样过程对植株伤害较大等问题, 尚未见利用  $LT_{50}$  值评价红掌品种抗寒性的研究报道。

有关高温胁迫对红掌的影响研究主要集中在高温胁迫对红掌生理指标的影响, 并根据生理指标的耐热系数对红掌的抗热能力进行简单排序。曹冬梅等<sup>[7]</sup> 比较了不同高温条件下不同处理时间对红掌幼苗叶片中的叶绿素含量、类胡萝卜素含量、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、过氧化物酶 (POD) 活性、茉莉酸含量和超氧阴离子自由基含量的影响; 林晓红等<sup>[8]</sup> 研究了不同高温条件下 3 个红掌品种叶片相对含水量、相对电导率和丙二醛 (MDA) 含量等指标, 并根据其耐热系数对 3 个品种的抗热性进行简单排序。但这些研究存在一定的局限性, 指标多、贡献率不同, 且多个指标间具有相关性, 使各指标提供的信息发生重叠<sup>[9]</sup>。目前已广泛利用相关性分析、主成分分析和隶属函数等方法研究植物的抗逆性, 如小麦 (*Triticum aestivum* Linn.)<sup>[10]</sup>、大麦 (*Hordeum vulgare* Linn.)<sup>[11]</sup>、花生 (*Arachis hypogaea* Linn.)<sup>[12]</sup> 和欧洲油菜 (*Brassica napus* Linn.)<sup>[13]</sup> 等作物的抗旱性研究和水稻 (*Oryza sativa* Linn.)<sup>[14]</sup> 的抗热性研究等, 但尚未见利用这些方法评价红掌品种耐热性的相关研究报道。

作者测定了梯度低温条件下 10 个红掌品种叶片相对电导率的变化, 并采用 Logistic 方程计算各品种

的  $LT_{50}$  值,以比较它们的抗寒能力;同时测定了高温(39℃)条件下10个红掌品种叶片生理指标的变化并计算耐热系数,通过相关性分析、主成分分析和隶属函数法等多变量统计分析相结合的方法,对10个红掌品种的耐热性进行综合评价,以期筛选出优良的红掌抗寒和耐热品种,为红掌的推广应用以及杂交育种亲本的选择提供基础研究数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试的10个红掌品种分别为‘皇冠’(‘Royal champion’)、‘白冠军’(‘White champion’)、‘粉冠军’(‘Pink champion’)、‘甜冠军’(‘Sweet champion’)、‘马都拉’(‘Madural’)、‘特伦萨’(‘Turenza’)、‘骄阳’(‘Sierra’)、‘阿瑞博’(‘Arebo’)、‘阿瓦托’(‘Avento’)和‘阿拉巴马’(‘Alabama’),均为2013年在上海鲜花港企业发展有限公司栽培生长至株龄5个月的主栽盆花品种,引自荷兰安祖公司。样株为同一批株高约11 cm的穴盘苗,每盆1株,每个品种120盆。将供试植株置于南京农业大学牌楼实验基地的RXZ-430A智能人工气候室(宁波江南仪器厂)中培养,昼温25℃~28℃、夜温0℃~23℃,空气相对湿度70%~80%,光照度10 000~15 000 lx,光照时间12 h·d<sup>-1</sup>;视植株生长情况浇水和施肥。

### 1.2 方法

1.2.1 梯度低温处理及相对电导率测定 2013年5月,每个品种随机选择4株样株,采集植株上部健康且长势一致的第1片成熟叶,剪碎后混合,平均分成5组,设3次重复。用干净纱布包裹叶片,放入玻璃试管中,置于4℃冰箱中过夜。次日进行低温处理,设置-1℃、-3℃、-5℃、-7℃和-9℃共5个处理。将9610型低温循环仪(美国PolyScience公司)的温度降至4℃,放入试管后按照2℃·h<sup>-1</sup>的降温速率降至设置的低温后维持1.5 h,然后置于4℃冰箱中解冻、备用。每处理材料分为4等份,作为4次重复,加入20 mL蒸馏水,室温放置24 h后摇匀并分别用DDS-320电导仪(上海康仪仪器有限公司)测定电导率;然后置于沸水浴中处理20~25 min,自然冷却至室温并稳定2 h,再次测定电导率,计算叶片相对电导率。

1.2.2 高温处理及生理指标的测定 分别选择各品

种健康且生长一致的植株,置于温度39℃的人工气候室内高温处理48 h,对照则置于室温条件下培养,每处理5盆,4次重复。处理48 h后剪取5株植株上部第1片成熟叶,放入自封袋置于冰盒中带回南京农业大学花卉育种实验室进行各项生理指标测定。

采用电导仪法<sup>[15]208-209</sup>测定相对电导率,采用称重法<sup>[15]14-15</sup>测定叶片相对含水量,采用紫外分光光度法<sup>[15]74-76</sup>测定叶绿素含量,采用酸性茚三酮比色法<sup>[15]228-230</sup>测定脯氨酸含量,采用考马斯亮蓝比色法<sup>[15]142-143</sup>测定可溶性蛋白质含量,采用硫代巴比妥酸法<sup>[15]210-211</sup>测定MDA含量,采用NBT光还原比色法<sup>[15]211-213</sup>测定SOD活性,采用愈创木酚比色法<sup>[15]217-218</sup>测定POD活性,采用紫外分光法<sup>[15]214-215</sup>测定过氧化氢酶(CAT)活性。

### 1.3 数据计算和统计分析

根据公式“相对电导率=(处理后电导率/加热煮沸后电导率)×100%”计算相对电导率,依据相对电导率拟合Logistic方程并计算 $LT_{50}$ 值。拟合获得的Logistic方程为 $y=K/(1+ae^{-bt})$ 。其中: $y$ 为相对电导率; $T$ 为处理温度; $K$ 为 $y$ 的最大值; $a$ 和 $b$ 为方程参数, $a$ 表示曲线对原点的相对位置, $b$ 反映 $T$ 与 $y$ 之间的对应关系<sup>[16]</sup>。通过回归相关通径分析软件求得 $a$ 和 $b$ 值及相关系数 $R$ ,并依据Logistic方程曲线的拐点确定 $LT_{50}$ 值。

采用高温处理48 h后的各项生理指标测定值进行各品种耐热性综合评价。按照公式“某指标的耐热系数=(高温处理组该指标的平均值/对照组该指标的平均值)×100%”计算各指标的耐热系数。根据各生理指标的耐热系数进行主成分分析,并对各品种的耐热性进行综合评价。各综合指标隶属函数值( $U_j$ )<sup>[17]</sup>的计算公式为 $U_j=(CI_j-CI_{jmin})/(CI_{jmax}-CI_{jmin})$ , $j=1,2,\dots,n$ ;式中, $CI_j$ 为各品种第 $j$ 个综合指标, $CI_{jmin}$ 和 $CI_{jmax}$ 分别为所有品种第 $j$ 个综合指标的最小值和最大值。各综合指标权重( $W_j$ )<sup>[9]</sup>的计算公式为 $W_j=P_j/\sum_{j=1}^n P_j$ , $j=1,2,\dots,n$ ;式中, $P_j$ 为各品种第 $j$ 个综合指标的贡献率。各品种耐热性综合评价值( $D$ )的计算公式为 $D=\sum_{j=1}^n (U_j W_j)$ , $j=1,2,\dots,n$ 。

采用EXCEL 2007软件和SPSS 20.0统计分析软件进行各项数据的计算和分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 10个红掌品种的抗寒性分析

2.1.1 叶片相对电导率的变化 不同低温条件下10个红掌品种叶片的相对电导率见表1。由表1可见:随处理温度逐渐降低,10个红掌品种叶片的相对电导率均逐渐升高,但各品种相对电导率的变幅不同。总体上看,除品种‘阿拉巴马’的相对电导率呈“缓慢升高—迅速升高”的趋势外,其他品种的相对电导率均呈“缓慢升高—迅速升高—平稳升高”的类“S”型曲线,其中品种‘白冠军’、‘粉冠军’、‘特伦萨’、‘骄

阳’、‘阿瑞博’和‘阿瓦托’的相对电导率在-3℃与-5℃间急剧上升,变幅较大,分别增加了5.3、5.4、6.2、3.3、5.5和5.4倍;而品种‘皇冠’、‘甜冠军’和‘马都拉’的相对电导率在-5℃与-7℃间增幅较大,分别增加了5.3、4.1和4.2倍;品种‘阿拉巴马’的相对电导率则在-7℃与-9℃间增幅较大,增加了2.3倍。因相对电导率变化幅度越大则叶片细胞膜受害越严重,表明该红掌品种对低温越敏感,据此,初步认定品种‘阿拉巴马’的抗寒性最强,品种‘皇冠’、‘甜冠军’和‘马都拉’的抗寒性次之,品种‘白冠军’、‘粉冠军’、‘特伦萨’、‘骄阳’、‘阿瑞博’和‘阿瓦托’的抗寒性较弱。

表1 低温条件下10个红掌品种叶片的相对电导率( $\bar{X} \pm SE$ )

Table 1 Relative electric conductivity of leaf of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* Lind. under condition of low temperature ( $\bar{X} \pm SE$ )

品种 Cultivar	不同低温条件下叶片的相对电导率/% Relative electric conductivity of leaf under conditions of different low temperatures				
	-1℃	-3℃	-5℃	-7℃	-9℃
皇冠 Royal champion	10.85±1.31	11.15±2.01	16.42±0.24	86.77±0.56	92.08±0.19
白冠军 White champion	13.37±0.15	16.62±1.42	88.46±0.61	90.72±1.15	98.21±0.25
粉冠军 Pink champion	13.56±0.28	16.71±0.61	89.97±0.41	92.48±0.61	98.39±0.28
甜冠军 Sweet champion	13.66±0.04	14.34±0.22	21.76±0.29	89.63±0.39	94.39±0.27
马都拉 Madural	10.52±0.21	15.43±0.35	20.98±1.52	87.54±0.56	94.21±0.35
特伦萨 Turenza	12.21±0.32	14.06±0.72	87.40±1.04	91.83±0.51	96.25±0.39
骄阳 Sierra	14.18±0.41	26.80±0.81	89.74±0.84	94.59±1.24	98.69±1.41
阿瑞博 Arebo	13.32±4.27	16.26±0.09	89.94±0.34	92.43±0.84	96.83±0.51
阿瓦托 Avento	12.45±0.34	16.61±0.50	89.02±0.27	93.05±0.15	96.54±0.42
阿拉巴马 Alabama	10.37±0.52	12.69±0.42	19.82±1.45	38.91±0.16	89.59±0.36

2.1.2 Logistic方程及 $LT_{50}$ 值的确定 上述10个红掌品种叶片相对电导率随温度降低的变化趋势(类“S”型曲线)总体上符合Logistic回归方程<sup>[1]</sup>,该曲线的拐点温度即为 $LT_{50}$ 值, $LT_{50}$ 值与抗寒性呈负相关关系, $LT_{50}$ 值越低抗寒性越强,反之则抗寒性越弱。

依据不同低温条件下10个红掌品种叶片的相对电导率拟合Logistic方程,结果见表2。由表2可见:10个品种Logistic方程的相关系数为0.956~0.996,均达到显著( $P<0.05$ )或极显著( $P<0.01$ )水平,它们的 $LT_{50}$ 值为-9.24℃~-3.20℃。其中,品种‘阿拉巴马’的 $LT_{50}$ 值最低,为-9.24℃;而品种‘特伦萨’、‘阿瓦托’、‘阿瑞博’、‘粉冠军’、‘白冠军’和‘骄阳’的 $LT_{50}$ 值较高,为-3.46℃~-3.20℃;品种‘皇冠’、‘马都拉’和‘甜冠军’的 $LT_{50}$ 值居中,为-5.68℃~-5.60℃。根据 $LT_{50}$ 值,10个红掌品种的抗寒性由强至弱依次排序为‘阿拉巴马’、‘皇冠’、‘马都拉’、

‘甜冠军’、‘特伦萨’、‘阿瓦托’、‘阿瑞博’和‘粉冠军’、‘白冠军’、‘骄阳’,与依据相对电导率对10个红掌品种抗寒性的排序结果基本一致。

### 2.2 10个红掌品种耐热性的综合评价

2.2.1 高温处理后生理指标的变化 高温(39℃)处理48h后10个红掌品种叶片生理指标的测定结果见表3。结果显示:高温处理后10个红掌品种叶片生理指标的变化不同。其中,所有品种的叶片相对电导率和CAT活性明显高于对照(室温),叶片相对含水量、叶绿素和类胡萝卜素含量、脯氨酸含量均低于对照;MDA含量高于对照或与对照一致;而多数品种叶片的SOD和POD活性及可溶性蛋白质含量低于对照,仅品种‘阿拉巴马’叶片的SOD和POD活性及可溶性蛋白质含量略高于对照。

2.2.2 耐热系数及其相关性分析 高温(39℃)处理48h后10个红掌品种叶片各生理指标的耐热系数

表 2 低温条件下 10 个红掌品种的 Logistic 方程和低温半致死温度 ( $LT_{50}$ ) 及抗寒性排序  
 Table 2 Logistic equation, semi-lethal low temperature ( $LT_{50}$ ) and order of cold resistance of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* Lind. under condition of low temperature

品种 Cultivar	Logistic 方程 <sup>1)</sup> Logistic equation <sup>1)</sup>	相关系数 <sup>2)</sup> Correlation coefficient <sup>2)</sup>	$LT_{50}/^{\circ}\text{C}$	抗寒性排序 Order of cold resistance
皇冠 Royal champion	$y=97.95/(1+169.49e^{-0.9032T})$	0.958*	-5.68	2
白冠军 White champion	$y=90.72/(1+290667.20e^{-3.7174T})$	0.993**	-3.38	9
粉冠军 Pink champion	$y=92.25/(1+294361.00e^{-3.7202T})$	0.995**	-3.39	6
甜冠军 Sweet champion	$y=102.40/(1+90.62e^{-0.8046T})$	0.957*	-5.60	4
马都拉 Madural	$y=102.90/(1+79.89e^{-0.7729T})$	0.956*	-5.67	3
特伦萨 Turenza	$y=90.82/(1+457815.50e^{-3.7667T})$	0.996**	-3.46	5
骄阳 Sierra	$y=90.96/(1+100961.30e^{-3.5954T})$	0.988*	-3.20	10
阿瑞博 Arebo	$y=92.19/(1+302877.80e^{-3.7238T})$	0.996*	-3.39	6
阿瓦托 Avento	$y=91.43/(1+300724.40e^{-3.7206T})$	0.996**	-3.39	6
阿拉巴马 Alabama	$y=169.53/(1+55.55e^{-0.4348T})$	0.978*	-9.24	1

<sup>1)</sup>  $y$ : 相对电导率 Relative electric conductivity;  $T$ : 处理温度 Treatment temperature.

<sup>2)</sup> \*:  $P<0.05$ ; \*\*:  $P<0.01$ .

表 3 高温处理 48 h 后 10 个红掌品种叶片生理指标的变化<sup>1)</sup>  
 Table 3 Change of physiological indexes of leaf of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* Lind. after high temperature treatment for 48 h<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	相对电导率/% Relative electric conductivity		相对含水量/% Relative water content		丙二醛 含量/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$ MDA content		叶绿素 含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Chlorophyll content		类胡萝卜素 含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Carotenoid content	
	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T
皇冠 Royal champion	16.40	21.40	82.90	60.34	0.01	0.01	1.88	1.48	0.30	0.26
白冠军 White champion	20.27	32.93	81.95	55.85	0.01	0.02	1.96	1.14	0.30	0.24
粉冠军 Pink champion	20.06	32.19	81.98	55.23	0.01	0.02	1.96	1.16	0.30	0.24
甜冠军 Sweet champion	19.79	31.53	81.36	55.91	0.01	0.02	1.95	1.17	0.29	0.24
马都拉 Madural	16.89	26.75	82.67	65.66	0.01	0.01	1.90	1.39	0.30	0.27
特伦萨 Turenza	17.77	26.54	82.41	56.96	0.01	0.02	1.89	1.24	0.30	0.26
骄阳 Sierra	17.14	25.40	82.09	61.14	0.01	0.02	1.88	1.29	0.30	0.24
阿瑞博 Arebo	16.48	21.86	83.11	61.08	0.01	0.01	1.88	1.45	0.31	0.26
阿瓦托 Avento	15.57	20.31	83.48	64.58	0.01	0.01	1.92	1.53	0.31	0.23
阿拉巴马 Alabama	15.11	18.96	83.79	60.65	0.01	0.01	1.98	1.17	0.33	0.30

  

品种 Cultivar	SOD 活性/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$ SOD activity		POD 活 性/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ POD activity		CAT 活 性/ $\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ CAT activity		脯氨酸 含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Proline content		可溶性蛋白质 含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Soluble protein content	
	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T	CK	T
皇冠 Royal champion	137.04	132.26	146.10	142.08	56.96	99.23	138.99	128.73	87.42	76.06
白冠军 White champion	134.87	100.14	101.00	70.93	49.27	65.11	104.74	87.27	79.63	40.06
粉冠军 Pink champion	134.86	101.63	101.54	73.21	42.57	68.97	104.69	88.11	81.17	41.68
甜冠军 Sweet champion	134.62	102.51	101.75	76.67	52.57	69.56	107.53	89.73	81.60	41.90
马都拉 Madural	135.39	122.18	138.16	113.44	52.37	87.67	127.53	116.87	85.39	72.62
特伦萨 Turenza	137.23	107.52	115.47	89.07	47.60	73.37	106.48	91.82	83.78	48.93
骄阳 Sierra	134.25	106.39	127.53	102.02	58.51	80.37	110.68	93.48	84.55	49.16
阿瑞博 Arebo	135.81	128.00	143.83	133.99	54.91	92.99	131.02	119.23	86.21	69.15
阿瓦托 Avento	140.13	139.23	153.70	137.27	71.91	118.74	148.53	131.78	88.20	78.87
阿拉巴马 Alabama	153.40	155.26	170.17	175.46	74.37	135.46	172.94	154.21	89.03	96.42

<sup>1)</sup> CK: 室温处理 Room temperature treatment; T: 高温 ( $39^{\circ}\text{C}$ ) 处理 High temperature ( $39^{\circ}\text{C}$ ) treatment.

见表 4; 各指标耐热系数的相关性分析结果见表 5。

表 4 结果表明: 10 个红掌品种叶片的相对电导率、MDA 含量和 CAT 活性的耐热系数均大于 100%,

而相对含水量、叶绿素含量、类胡萝卜素含量和脯氨酸含量的耐热系数均小于 100%; 大多数品种的 SOD 活性、POD 活性和可溶性蛋白质含量的耐热系数小于

表4 高温处理48 h后10个红掌品种叶片生理指标的耐热系数<sup>1)</sup>Table 4 Heat resistance coefficient of physiological indexes of leaf of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* Lind. after high temperature treatment for 48 h<sup>1)</sup>

品种 Cultivar	各指标的耐热系数/% Heat resistance coefficient of different indexes									
	REC	RWC	MDA	Chl	Car	SOD	POD	CAT	Pro	SPC
皇冠 Royal champion	130.46	72.79	116.36	78.54	88.13	96.51	97.25	174.21	92.62	87.01
白冠军 White champion	162.43	68.15	139.21	58.12	80.23	74.25	70.23	132.15	83.32	50.31
粉冠军 Pink champion	160.47	67.37	138.25	59.29	81.21	75.36	72.10	162.00	84.16	51.35
甜冠军 Sweet champion	159.36	68.72	138.58	60.07	82.35	76.15	75.35	132.32	83.45	51.35
马都拉 Madural	158.37	79.42	118.47	73.27	89.25	90.24	82.11	167.41	91.64	85.05
特伦萨 Turenza	149.35	69.12	141.52	65.45	87.15	78.35	77.14	154.14	86.23	58.40
骄阳 Sierra	148.21	74.48	141.79	68.50	79.35	79.25	80.00	137.37	84.46	58.14
阿瑞博 Arebo	132.62	73.49	129.24	77.00	85.06	94.25	93.16	169.36	91.00	80.21
阿瓦托 Avento	130.41	77.36	122.32	79.76	73.26	99.36	89.31	165.13	88.72	89.42
阿拉巴马 Alabama	125.46	72.38	113.47	59.17	90.13	101.21	103.11	182.15	89.17	108.30

<sup>1)</sup> REC: 相对电导率 Relative electric conductivity; RWC: 相对含水量 Relative water content; MDA: 丙二醛含量 MDA content; Chl: 叶绿素含量 Chlorophyll content; Car: 类胡萝卜素含量 Carotenoid content; SOD: SOD 活性 SOD activity; POD: POD 活性 POD activity; CAT: CAT 活性 CAT activity; Pro: 脯氨酸含量 Proline content; SPC: 可溶性蛋白质含量 Soluble protein content.

表5 高温处理48 h后10个红掌品种叶片各生理指标耐热系数的相关系数<sup>1)</sup>Table 5 Correlation coefficient of heat resistance coefficient of physiological indexes of leaf of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* Lind. after high temperature treatment for 48 h<sup>1)</sup>

指标 Index	各指标耐热系数间的相关系数 Correlation coefficient among heat resistance coefficients of different indexes									
	H <sub>REC</sub>	H <sub>RWC</sub>	H <sub>MDA</sub>	H <sub>Chl</sub>	H <sub>Car</sub>	H <sub>SOD</sub>	H <sub>POD</sub>	H <sub>CAT</sub>	H <sub>Pro</sub>	H <sub>SPC</sub>
H <sub>REC</sub>	1.000									
H <sub>RWC</sub>	-0.382	1.000								
H <sub>MDA</sub>	0.668	-0.601	1.000							
H <sub>Chl</sub>	-0.546	0.726	-0.466	1.000						
H <sub>Car</sub>	-0.149	0.002	-0.427	-0.071	1.000					
H <sub>SOD</sub>	-0.886	0.651	-0.908	0.629	0.246	1.000				
H <sub>POD</sub>	-0.936	0.458	-0.834	0.493	0.404	0.936	1.000			
H <sub>CAT</sub>	-0.709	0.411	-0.821	0.438	0.485	0.826	0.797	1.000		
H <sub>Pro</sub>	-0.670	0.634	-0.834	0.738	0.530	0.844	0.794	0.836	1.000	
H <sub>SPC</sub>	-0.820	0.640	-0.943	0.485	0.385	0.972	0.925	0.846	0.823	1.000

<sup>1)</sup> H<sub>REC</sub>: 相对电导率的耐热系数 Heat resistance coefficient of relative electric conductivity; H<sub>RWC</sub>: 相对含水量的耐热系数 Heat resistance coefficient of relative water content; H<sub>MDA</sub>: 丙二醛含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of MDA content; H<sub>Chl</sub>: 叶绿素含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of chlorophyll content; H<sub>Car</sub>: 类胡萝卜素含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of carotenoid content; H<sub>SOD</sub>: SOD 活性的耐热系数 Heat resistance coefficient of SOD activity; H<sub>POD</sub>: POD 活性的耐热系数 Heat resistance coefficient of POD activity; H<sub>CAT</sub>: CAT 活性的耐热系数 Heat resistance coefficient of CAT activity; H<sub>Pro</sub>: 脯氨酸含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of proline content; H<sub>SPC</sub>: 可溶性蛋白质含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of soluble protein content.

100%,仅品种‘阿拉巴马’叶片的SOD活性、POD活性和可溶性蛋白质含量的耐热系数大于100%。因此,仅利用耐热系数这一指标难以全面评价红掌品种的耐热性。

由表5可见:10个生理指标的耐热系数间存在一定的相关性。其中,相对电导率和MDA含量的耐热系数呈正相关,这2个指标与其他指标的耐热系数均呈负相关;除相对含水量和MDA含量的耐热系数以及叶绿素含量和类胡萝卜素含量的耐热系数呈负相关外,其他指标的耐热系数间均呈正相关,说明各生理

指标提供的信息不同程度重叠。因此,直接利用这些生理指标的耐热系数评价不同红掌品种的耐热能力具有一定的局限性。

2.2.3 主成分分析 高温(39℃)处理48 h后10个红掌品种叶片生理指标耐热系数的主成分分析结果见表6。从表6可见:前3个主成分的累计贡献率达91.50%,能代表10个单项生理指标的主要信息。根据3个主成分的特征向量,推导出第1、第2和第3主成分对应的相关方程分别为: $CI_1 = -0.32X_1 + 0.25X_2 - 0.35X_3 + 0.25X_4 + 0.15X_5 + 0.37X_6 + 0.35X_7 + 0.33X_8 +$

$0.37X_9 + 0.35X_{10}$ ;  $CI_2 = -0.04X_1 + 0.46X_2 + 0.10X_3 + 0.52X_4 - 0.67X_5 + 0.07X_6 - 0.12X_7 - 0.22X_8 - 0.03X_9 - 0.06X_{10}$ ;  $CI_3 = 0.53X_1 + 0.42X_2 - 0.06X_3 + 0.26X_4 + 0.48X_5 - 0.18X_6 - 0.29X_7 - 0.01X_8 + 0.33X_9 - 0.10X_{10}$ 。在第1主成分中, SOD活性和可溶性蛋白质含量的贡献率较大; 在第2主成分中, 叶绿素含量的贡献率较大; 在第3主成分中, 相对电导率的贡献率较大。因而, 可以将第1主成分定义为酶活性和渗透调节物质含量, 第2主成分定义为光合色素含量, 第3主成分定义为膜透性。

2.2.4 耐热性综合评价 基于以上生理指标的耐热系数及主成分分析结果, 采用隶属函数法对10个红掌品种的耐热性进行综合评价, 结果见表7。结果显示: 综合评价值( $D$ )与各品种的耐热性呈正相关, 可对各品种的耐热性进行综合评价。按照 $D$ 值从大至小进行排序, 10个红掌品种耐热性由强至弱依次排序为‘阿拉巴马’、‘皇冠’、‘阿瓦托’、‘阿瑞博’、‘马都拉’、‘骄阳’、‘特伦萨’、‘粉冠军’、‘甜冠军’、‘白冠军’。

表6 高温处理48 h后10个红掌品种叶片生理指标耐热系数的主成分分析结果<sup>1)</sup>

Table 6 Result of principal component analysis of heat resistance coefficient of physiological indexes of leaf of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* Lind. after high temperature treatment for 48 h<sup>1)</sup>

主成分 Principal component	各指标耐热系数的特征向量 Eigenvector of heat resistance coefficient of different indexes										贡献率/% Contribution rate
	H <sub>REC</sub>	H <sub>RWC</sub>	H <sub>MDA</sub>	H <sub>Chl</sub>	H <sub>Car</sub>	H <sub>SOD</sub>	H <sub>POD</sub>	H <sub>CAT</sub>	H <sub>Pro</sub>	H <sub>SPC</sub>	
第1 The 1st	-0.32	0.25	-0.35	0.25	0.15	0.37	0.35	0.33	0.35	0.37	69.88
第2 The 2nd	-0.04	0.46	0.10	0.52	-0.67	0.07	-0.12	-0.22	-0.03	-0.06	13.73
第3 The 3rd	0.53	0.42	-0.06	0.26	0.48	-0.18	-0.29	-0.01	0.33	-0.10	7.89

<sup>1)</sup> H<sub>REC</sub>: 相对电导率的耐热系数 Heat resistance coefficient of relative electric conductivity; H<sub>RWC</sub>: 相对含水量的耐热系数 Heat resistance coefficient of relative water content; H<sub>MDA</sub>: 丙二醛含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of MDA content; H<sub>Chl</sub>: 叶绿素含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of chlorophyll content; H<sub>Car</sub>: 类胡萝卜素含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of carotenoid content; H<sub>SOD</sub>: SOD活性的耐热系数 Heat resistance coefficient of SOD activity; H<sub>POD</sub>: POD活性的耐热系数 Heat resistance coefficient of POD activity; H<sub>CAT</sub>: CAT活性的耐热系数 Heat resistance coefficient of CAT activity; H<sub>Pro</sub>: 脯氨酸含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of proline content; H<sub>SPC</sub>: 可溶性蛋白质含量的耐热系数 Heat resistance coefficient of soluble protein content.

表7 10个红掌品种的综合指标值( $CI_j$ )、隶属函数值( $U_j$ )、权重( $W_j$ )、综合评价值( $D$ )及耐热性排序

Table 7 Comprehensive index value ( $CI_j$ ), subordinate function value ( $U_j$ ), weight ( $W_j$ ), comprehensive evaluation value ( $D$ ) and order of heat resistance of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* Lind.

品种 Cultivar	$CI_1$	$CI_2$	$CI_3$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$D$	排序 Order	耐热性 Heat resistance
皇冠 Royal champion	1.598	0.301	1.292	0.865	0.467	0.356	0.761	2	强 Strong
白冠军 White champion	0.860	0.225	1.470	0.000	0.709	0.872	0.182	10	弱 Weak
粉冠军 Pink champion	0.988	0.300	1.455	0.150	0.469	0.828	0.257	8	弱 Weak
甜冠军 Sweet champion	0.910	0.233	1.451	0.058	0.683	0.815	0.217	9	弱 Weak
马都拉 Madural	1.399	0.280	1.514	0.632	0.534	1.000	0.649	5	中等 Moderate
特伦萨 Turenza	1.077	0.283	1.428	0.255	0.522	0.751	0.337	7	弱 Weak
骄阳 Sierra	1.039	0.156	1.398	0.210	0.931	0.663	0.357	6	弱 Weak
阿瑞博 Arebo	1.474	0.250	1.302	0.720	0.629	0.383	0.677	4	中等 Moderate
阿瓦托 Avento	1.516	0.134	1.244	0.769	0.999	0.215	0.756	3	强 Strong
阿拉巴马 Alabama	1.713	0.447	1.170	1.000	-0.001	0.000	0.764	1	强 Strong
$W_j$				0.764	0.150	0.086			

### 3 讨论和结论

低温胁迫对细胞膜透性的伤害程度可以用离体组织相对电导率的变化幅度进行衡量, 因此, 根据植物组织的相对电导率变化值可以判定植物的抗寒性

强弱。本研究结果表明: 依据不同低温条件下10个红掌品种叶片相对电导率的变化, 采用 Logistic 方程获得10个红掌品种的低温半致死温度( $LT_{50}$ ), 根据 $LT_{50}$ 值判断出的10个红掌品种抗寒性由强到弱依次排序为‘阿拉巴马’, ‘皇冠’, ‘马都拉’, ‘甜冠军’, ‘特伦萨’, ‘阿瓦托’, ‘阿瑞博’和‘粉冠军’, ‘白冠

军’,‘骄阳’,这一结果与田丹青等<sup>[6]</sup>“红掌品种‘阿拉巴马’的抗寒性较强、品种‘粉冠军’的抗寒性较差”的研究结果部分一致。多年的生产经验显示:品种‘骄阳’对温度最敏感,冬季栽培需要较高温度,低于20℃时叶片木质化,出现冷害;品种‘阿拉巴马’在较低温度下仍能正常生长,其他品种对低温的适应性则介于二者之间,这也验证了本研究应用 $LT_{50}$ 对这些品种抗寒性强弱的推断。此外,本研究是在离体条件下测定某一时期叶片的相对电导率,获得的 $LT_{50}$ 值与采样季节及是否经过低温锻炼有关,因此,虽然 $LT_{50}$ 值不一定能确切反映红掌各品种的抗寒性,却可以快速评价取样时各品种的抗寒性差异。

对高温(39℃)处理48h后10个红掌品种叶片10项生理指标的耐热系数进行主成分分析,得到耐热性综合评价值( $D$ ),根据 $D$ 值判断出的10个红掌品种的耐热性由强至弱依次排序为‘阿拉巴马’、‘皇冠’、‘阿瓦托’、‘阿瑞博’、‘马都拉’、‘骄阳’、‘特伦萨’、‘粉冠军’、‘甜冠军’、‘白冠军’。实际生产中,南方夏季高于34℃时室内种植的红掌品种‘骄阳’、‘特伦萨’、‘粉冠军’、‘甜冠军’和‘白冠军’的花苞均产生褪色现象,甚至出现叶片灼伤;而品种‘阿拉巴马’、‘皇冠’和‘阿瓦托’的花苞颜色仍保持鲜艳。这一实践经验也部分验证了本研究获得的10个红掌品种耐热性强弱的排序结果。

综上所述,根据10个红掌品种的抗寒性和耐热性的排序结果可以在不同气候区域优先选择种植抗性较强的品种,其中,品种‘阿拉巴马’适应性强,具有一定的抗寒性和耐热性,可以在不同气候区域推广种植。另外,抗性较强的品种可以作为杂交育种的亲本,有利于杂交后代增加抗性的积累,并有可能培育出抗性更高的新品种;抗性差的品种在冬季越冬和夏季养护时要强化加温保护和降温养护,以便维持植株的正常生长,提高其观赏性。

#### 参考文献:

[1] 朱根海,刘祖祺,朱培仁.应用Logistic方程确定植物组织低温半致死温度的研究[J].南京农业大学学报,1986,9(3):11-16.

- [2] 徐康,夏宜平,徐碧玉,等.以电导法配合Logistic方程确定茶梅‘小玫瑰’的抗寒性[J].园艺学报,2005,32(1):148-150.
- [3] 许瑛,陈发棣.菊花8个品种的低温半致死温度及其抗寒适应性[J].园艺学报,2008,35(4):559-564.
- [4] 高惠兰,柳振誉,叶静水,等.冷锻炼对低温胁迫下红掌叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J].福建农业学报,2005,20(2):108-112.
- [5] 乔永旭.低温处理过程中水杨酸对红掌叶片生理指标的影响[J].东北林业大学学报,2010,38(2):11-12,15.
- [6] 田丹青,葛亚英,潘刚敏,等.低温胁迫对3个红掌品种叶片形态和生理特性的影响[J].园艺学报,2011,38(6):1173-1179.
- [7] 曹冬梅,王云山,康黎芳,等.高温对红掌幼苗叶片茉莉酸浓度及抗氧化系统的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(5):102-104.
- [8] 林晓红,施木田,林小苹,等.3个红掌盆栽品种的抗热性比较研究[J].热带作物学报,2012,33(10):1835-1840.
- [9] 郑金凤,米少艳,婧姣姣,等.小麦代换系耐低磷生理性状的主成分分析及综合评价[J].中国农业科学,2013,46(10):1984-1993.
- [10] 白志英,李存东,孙红春,等.小麦代换系抗旱生理性状的主成分分析及综合评价[J].中国农业科学,2008,41(12):4264-4272.
- [11] 王军,周美学,许如根,等.大麦耐湿性鉴定指标和评价方法研究[J].中国农业科学,2007,40(10):2145-2152.
- [12] 张智猛,万书波,戴良香,等.花生抗旱性鉴定指标的筛选与评价[J].植物生态学报,2011,35(1):100-109.
- [13] ESLAM B P. Evaluation of physiological indices, yield and its components as screening techniques for water deficit tolerance in oilseed rape cultivars[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2009, 11: 413-422.
- [14] 李敏,马均,王贺正,等.水稻开花期高温胁迫条件下生理生化特性的变化及其与品种耐热性的关系[J].杂交水稻,2007,22(6):62-66.
- [15] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [16] 盖钧镒.试验统计方法[M].北京:中国农业出版社,2000:56-59.
- [17] 张朝阳,许桂芳.利用隶属函数法对4种地被植物的耐热性综合评价[J].草业科学,2009,26(2):57-60.

(责任编辑:张明霞)