

网络出版时间:2020-04-17 16:27 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.10.014
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20200417.1316.028.html

开花期红掌耐寒性评判方法研究

李 心¹, 张栋梁², 杨柳燕¹, 王 桢¹, 许俊旭¹, 杨 贞¹, 张永春¹

(1 上海市农业科学院 林木果树研究所, 上海 201403; 2 上海鲜花港企业发展有限公司, 上海 201303)

【摘 要】【目的】探究开花期红掌(*Anthurium andraeanum*)耐寒性判定方法, 为不同耐寒性红掌品种的分级管理提供理论依据。【方法】以 20 个开花期红掌品种为试材, 在上海地区冬季大棚自然低温环境下进行种植, 观察叶柄、叶片、花柄、苞片的冷害症状, 统计各器官冷害指数, 通过主成分和聚类分析进行耐寒性研究; 根据聚类结果分别在不同耐寒性组中选择 1~3 个品种再次进行低温试验, 并测定低温处理前后叶片的叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、相对电导率和丙二醛、可溶性蛋白、可溶性糖含量以及过氧化物酶、超氧化物歧化酶活性, 进行各指标变化率与耐寒性的相关性分析。【结果】对供试红掌品种各器官冷害指数进行主成分分析, 得到 20 个品种的耐寒性综合得分, 结合聚类分析结果将其分为 3 组, 高耐寒组品种包括‘阿拉巴马’、‘艾美拉’、‘粉阿拉巴马’、‘黑皇后’、‘红宝贝’、‘马都拉’、‘潘多拉’、‘紫罗兰’、‘红丰收’、‘红成功’、‘红赢家’、‘白塞拉’、‘紫雷鸟’和‘特伦萨’, 中耐寒组品种包括‘皇家布加迪’、‘轰动’、‘红阿里克斯’和‘白雪阿莱西亚’, 低耐寒组品种有‘粉冠军’和‘粉爱’, 其中‘阿拉巴马’、‘潘多拉’、‘特伦萨’、‘皇家布加迪’、‘轰动’和‘粉冠军’6 个品种的耐寒性得到了再次验证。相关性分析结果表明, 红掌在低温处理前后叶绿素荧光参数 F_v/F_m 的变化率与耐寒性显著正相关, 相对电导率变化率与耐寒性极显著负相关, 其他指标与耐寒性则没有表现出显著相关性。【结论】自然低温下器官冷害指数的观测可以作为判定开花期红掌耐寒性的一种有效方法, 而叶绿素荧光参数 F_v/F_m 和相对电导率可以作为较为可靠的生理指标应用于红掌耐寒性的分析中。

【关键词】开花期红掌; 耐寒性; 冷害指数; 生理指标

【中图分类号】S682.1⁺90.1

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2020)10-0116-11

Study on the determination method of cold tolerance in *Anthurium andraeanum* cultivars in blooming

LI Xin¹, ZHANG Dongliang², YANG Liuyan¹, WANG Zhen¹, XU Junxu¹,
YANG Zhen¹, ZHANG Yongchun¹

(1 Forest and Fruit Tree Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;

2 Shanghai Flower Port Enterprise Development Co., Ltd., Shanghai 201303, China)

Abstract: 【Objective】This study tested the determination method for cold tolerance of *Anthurium andraeanum* cultivars in bloom to provide basis for classification manage of *A. andraeanum* cultivars with different cold tolerance capacities. 【Method】Twenty cultivars of *A. andraeanum* were planted in a greenhouse during winter in shanghai. Under natural low temperature, the chilling injury symptoms of petiole, leaf, flower stalk and bract were investigated to calculate organ chilling injury indexes. According to principal component analysis and cluster analysis, cold tolerance of these cultivars was studied. Based on the results of cluster analysis, one, two or three varieties were selected in different cold tolerance groups to conduct low temperature experiment again. Chlorophyll fluorescence parameter F_v/F_m , relative electric conduc-

【收稿日期】2019-10-08

【基金项目】上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科攻字(2014)第 7-2-3 号)

【作者简介】李 心(1986—), 女, 河南驻马店人, 助理研究员, 主要从事球宿根花卉的发育与生理研究。E-mail: luguzi@163.com

【通信作者】张永春(1972—), 男, 江西吉安人, 研究员, 主要从事花卉发育与生理研究。E-mail: saasflower@163.com

tivity, contents of malondialdehyde, soluble protein and soluble sugar, and activities of peroxidase and superoxide dismutase of leaves were measured before and after low temperature treatment. Correlation between changes of these indexes and cold tolerance capacity was then obtained. 【Result】 According to principal component analysis of organ chilling injury indexes of experimental varieties of *A. andraeanum*, the cold tolerance comprehensive scores of 20 cultivars were obtained. Based on cluster analysis of the scores, these cultivars were divided to three groups. Strong capacity group in cold tolerance contained ‘Alabama’, ‘Almera’, ‘Alabama Pink’, ‘Black Queen’, ‘Baby Red’, ‘Madural’, ‘Pandola’, ‘Pr. Al Violet’, ‘Red Harvest’, ‘Red Success’, ‘Red Winner’, ‘Sierra White’, ‘Thunderbird Luxry’ and ‘Turenza’. Medium capacity group contained ‘Bugatti Royal’, ‘Furore’, ‘Pr. Al Red’ and ‘Pr. Al Snow’. Poor capacity group contained ‘Pink Champion’ and ‘Pink Love’. The cold tolerance capacities of 6 cultivars of ‘Alabama’, ‘Pandola’, ‘Turenza’, ‘Bugatti Royal’, ‘Furore’ and ‘Pink Champion’ were confirmed again. Correlation analysis demonstrated that cold tolerance capacity was correlated significantly and positively with the changes of F_v/F_m , and very significantly and negatively with relative electric conductivity. 【Conclusion】 The observation of organ chilling injury indexes under natural low temperature can be used as efficient determination method for cold tolerance of *A. andraeanum* cultivars in bloom. Chlorophyll fluorescence parameter F_v/F_m and relative electric conductivity can be used as relatively reliable physiological indicators to analyze cold tolerance capacity of *A. andraeanum*.

Key words: *Anthurium andraeanum* cultivars in bloom; cold tolerance capacity; chilling injury index; physiological indicators

红掌(*Anthurium andraeanum*)是天南星科花烛属植物,因其花色丰富、花姿奇特、花期长且四季不断,成为国际市场上产值仅次于热带兰的第二大热带花卉^[1-2]。但红掌对气温比较敏感,其生长环境若短期低于 4 ℃ 或长期低于 12 ℃ 时会发生冷害^[3-5],致使我国冬季种植红掌时增加了极大一笔加温成本,这成为限制红掌产业发展的重要因素。不同的红掌品种耐寒性有差异,对其进行耐寒性分级,有利于对不同耐寒性品种采取相应的温控措施,从而降低红掌生产过程中的能耗,提高其产业价值。

植物耐寒性可以通过自然和人工低温胁迫下植株形态、生理、叶片结构等指标进行评价^[6-8]。田丹青等^[4]通过 6 ℃ 人工气候箱低温胁迫苗龄 1 年(未进入开花期)的红掌品种‘阿拉巴马’、‘大哥大’、‘粉冠军’,从形态和生理指标方面对 3 个品种的抗寒性进行了鉴定;王宏辉等^[9]针对苗龄 5 个月的红掌品种,采集其从上至下第 1 片成熟叶,利用低温循环仪进行胁迫处理,通过计算离体组织的半致死温度(LT_{50})进行了品种抗寒性评价;杨克彬等^[10]利用低温恒温槽对开花期红掌的离体叶片进行了低温胁迫处理,通过计算 LT_{50} 和测定生理指标,结合隶属函数法与聚类分析对 7 个红掌切花品种进行了耐低温能力评价。以上评价方法针对红掌品种较少,多使用离体叶片或幼苗期红掌,且均是基于人工低温胁

迫环境下进行的耐寒性评价,与红掌真实生产中的状况有一定差距,而自然低温环境下开花期红掌的耐寒性研究尚未见报道。

本研究在上海地区,于冬季大棚自然低温环境下对 20 个红掌品种进行低温胁迫试验,依据各品种的冷害形态表现统计了 4 个器官的冷害指数,并以此为指标建立了主成分综合得分公式,通过公式计算各品种耐寒性综合得分并结合聚类分析进行耐寒性分级,在此基础上对其中 6 个耐寒性不同的红掌品种再次进行低温试验,对低温胁迫前后各生理指标的变化率与综合得分进行相关性分析,探讨了各生理指标反映品种耐寒性的能力,以期找到判定红掌耐寒性的便捷方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料与低温处理

供试材料为上海鲜花港提供的 20 个来自荷兰的红掌品种,分别为‘阿拉巴马’(Alabama)、‘艾美拉’(Almera)、‘粉阿拉巴马’(Alabama Pink)、‘黑皇后’(Black Queen)、‘红宝贝’(Baby Red)、‘皇家布加迪’(Bugatti Royal)、‘轰动’(Furore)、‘马都拉’(Madural)、‘潘多拉’(Pandola)、‘粉冠军’(Pink Champion)、‘粉爱’(Pink Love)、‘红阿里克斯’(Pr. Al Red)、‘白雪阿莱西亚’(Pr. Al Snow)、‘紫

罗兰’(Pr. Al Violet)、“红丰收”(Red Harvest)、“红成功”(Red Success)、“红赢家”(Red Winner)、“白塞拉”(Sierra White)、“紫雷鸟”(Thunderbird Luxry)、“特伦萨”(Turenza)。各品种均处于开花期,20 月苗龄左右。栽培基质为进口泥炭,每 7 d 施用“花多多”营养液(N、P₂O₅、K₂O 的质量比为 20 : 10 : 20)1 次。

2016-12-12—2017-02-20,在上海市农业科学院未加温大棚中,利用自然低温环境对 20 个红掌品种进行低温胁迫处理,以确定各品种的耐寒性,试验期

间空气相对湿度为 65%~85%,日最高温与日最低温变化情况见图 1,其中日最低温最高为 15.4℃,最低为-1.4℃,均值为 7.5℃。

2018-01-06—2018-01-20,从分属于高、中、低耐寒组的红掌中共选择 6 个品种,在未加温大棚中再次进行低温胁迫试验,试验期间大棚空气相对湿度为 65%~85%,日最高温与日最低温情况见图 2,其中日最低温最高为 10.6℃,最低为-2.1℃,均值为 4.5℃。

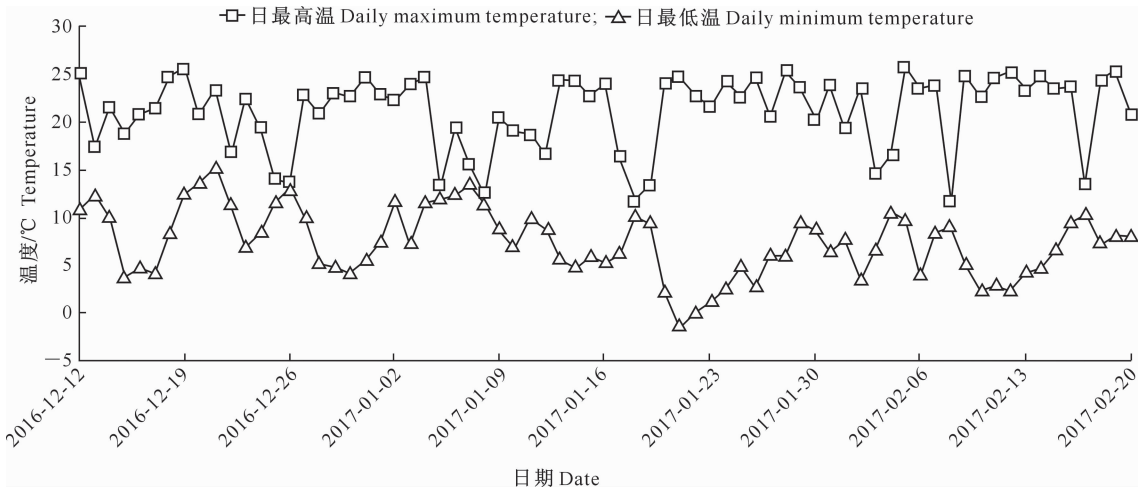


图 1 20 个红掌品种低温处理期间日最高温与日最低温的变化情况
Fig. 1 Changes of daily maximum and minimum temperature during the low temperature treatment of 20 *Anthurium andraeanum* cultivars

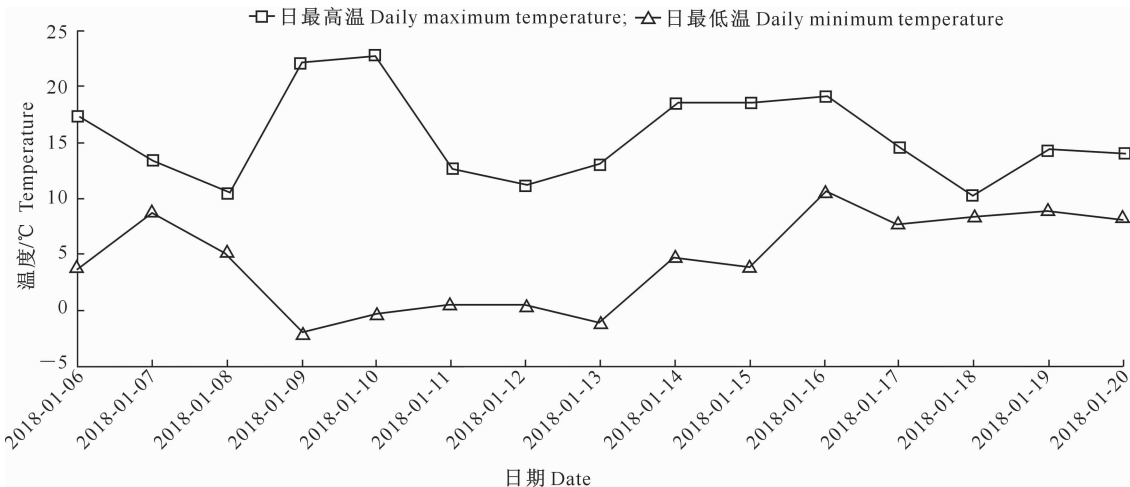


图 2 6 个红掌品种低温处理期间日最高温与日最低温的变化情况
Fig. 2 Changes of daily maximum and minimum temperature during the low temperature treatment of 6 *Anthurium andraeanum* cultivars

1.2 红掌冷害症状的分级和冷害指数的计算

低温处理结束后,对供试红掌叶柄、叶片、花柄、苞片的冷害症状分别进行调查,依据红掌在受到冷

胁迫时各器官的不同冷害表现(图 3)和冷害症状程度,从弱到强分为 5 级,并根据下述方法计算各器官的冷害指数。

叶柄冷害症状分级:0 级为无任何症状,1 级为部分褐化,2 级为全部褐化,3 级为部分枯萎,4 级为全部枯萎。叶柄冷害指数(PCI) = $\sum(\text{级数} \times \text{叶柄数}) / (\text{最高级数} \times \text{总叶柄数})$ 。20 株重复。

叶片冷害症状分级:0 级为无任何症状,1 级为部分黄化,2 级为部分褐化,3 级为部分枯萎,4 级为全部枯萎。叶片冷害指数(LCI) = $\sum(\text{级数} \times \text{叶片数}) / (\text{最高级数} \times \text{总叶片数})$ 。20 株重复。

花柄冷害症状分级:0 级为无任何症状,1 级为部分褐化,2 级为全部褐化,3 级为部分枯萎,4 级为全部枯萎。花柄冷害指数(FCI) = $\sum(\text{级数} \times \text{花柄数}) / (\text{最高级数} \times \text{总花柄数})$ 。20 株重复。

苞片冷害症状分级:0 级为无任何症状,1 级为部分褪色,2 级为部分褐化,3 级为部分枯萎,4 级为全部枯萎。苞片冷害指数(BCI) = $\sum(\text{级数} \times \text{苞片数}) / (\text{最高级数} \times \text{总苞片数})$ 。20 株重复。

1.3 20 个红掌品种耐寒性的分级方法

以各品种各器官的冷害指数为指标进行主成分分析,分析前先对各指标进行正向化处理(正向指标不变,负向指标 $\times -1$),根据累积贡献率 $\geq 85\%$ 确定主成分 m 个^[11],根据因子载荷矩阵计算各指标负荷量(T_{ij}),再依据负荷量与贡献率(C_j)计算各指标综合得分系数(A_i),以确定各品种主成分综合得分(Y)公式,具体计算公式如下:

$$T_{ij} = a_{ij} / \sqrt{\lambda_j}; \quad (1)$$

$$A_i = \sum_{j=1}^m (T_{ij} \times C_j); \quad (2)$$

$$Y = \sum_{i=1}^n (A_i \times ZX_i)。 \quad (3)$$

式中: a_{ij} 为第 i 个指标在第 j 个主成分上的初始因子载荷, λ_j 为第 j 个主成分的特征值, T_{ij} 表示第 i 个指标在第 j 个主成分上的负荷量, C_j 表示第 j 个主成分的贡献率, ZX_i 为第 i 个指标正向化和标准化后的数值, m 为主成分个数, n 为指标个数。

以主成分分析综合得分为变量,用最长距离法对各红掌品种的耐寒性进行层次聚类分析,以确定各品种的耐寒性分组。

1.4 6 个红掌品种相关生理指标的测定及其与耐寒性的相关性

为了进一步探讨各生理指标反映红掌耐寒性的能力,分别从高、中、低耐寒组中选择 3 个(‘阿拉巴马’、‘潘多拉’和‘特伦萨’)、2 个(‘皇家布加迪’和‘轰动’)和 1 个(‘粉冠军’)品种进行第 2 次低温胁迫试验,对各品种冷害症状进行调查,并计算冷害指

数,对这 6 个品种再次进行主成分分析和聚类分析,同时测定胁迫前后的各项生理指标。

在低温验证试验前后,选取红掌植株从上至下第 1 片成熟叶进行各项生理指标测定。叶绿素荧光参数 F_v/F_m 采用 Handy PEA 植物效率仪(Hansatech 公司)测定,测定部位为叶片中部,暗适应时间 20 min,测定光强 $3\,000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,每个叶片测定 1 次,重复测定 6 个叶片。其他指标均依据邹琦^[12]的方法测定,其中相对电导率(REC)采用电导法,丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法,可溶性蛋白(SP)含量采用考马斯亮蓝比色法,可溶性糖(SS)含量采用蒽酮比色法,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法,超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 NBT 光还原比色法,每个指标均测定 3 次。

计算 6 个红掌品种在低温试验前后各生理指标的变化率,并对其与各品种耐寒性综合得分的相关性进行分析。

生理指标变化率(α) = (处理后测定值 - 处理前测定值) / 处理前测定值。

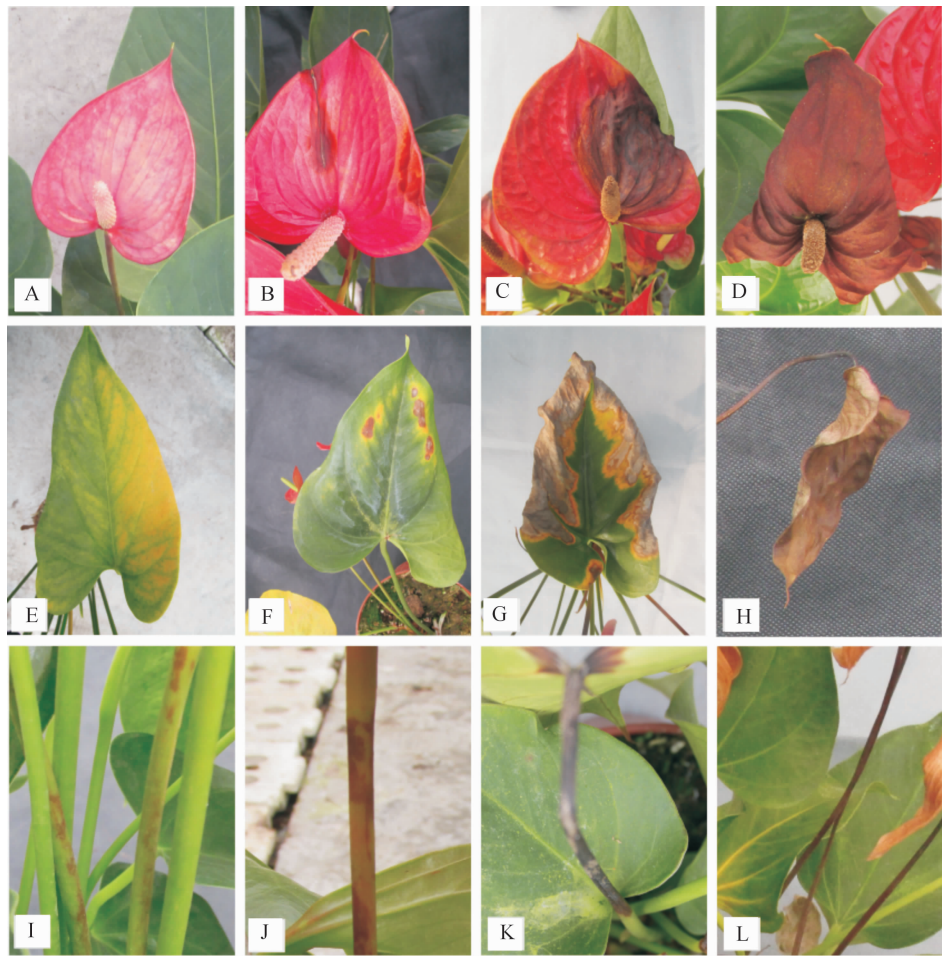
1.5 数据处理

使用 EXCEL 2007 软件处理数据及绘图,使用 SPSS 19.0 软件进行数据标准化处理、主成分分析、聚类分析与相关性分析。

2 结果与分析

2.1 低温处理后红掌的冷害症状

自然低温胁迫后的 20 个红掌品种冷害症状明显且差异较大。‘粉冠军’与‘粉爱’基本整株死亡,受害程度最重;‘皇家布加迪’、‘红阿里克斯’和‘白雪阿莱西亚’几乎全部苞片枯萎脱落、部分叶片枯萎脱落,受害程度中等;‘轰动’中等数量叶片枯萎脱落、大量苞片枯萎脱落,受害程度中等;‘阿拉巴马’、‘艾美拉’、‘粉阿拉巴马’、‘黑皇后’、‘红宝贝’、‘马都拉’、‘潘多拉’、‘紫罗兰’、‘红丰收’、‘红成功’、‘红赢家’、‘白塞拉’、‘紫雷鸟’和‘特伦萨’共 14 个品种少量叶片和少量苞片枯萎脱落,受害程度最轻。在冷害症状观测过程中发现,不同红掌品种最先表现出冷害症状的部位并不完全相同,例如‘粉冠军’的叶柄或花柄最先出现褐化症状,而‘阿拉巴马’则是新叶或苞片最先出现褐化症状。另外,红掌的苞片、叶片、花柄、叶柄在受到冷害时,最先表现出颜色的变化,比如褪色、黄化或者褐化,之后在冷害加重后表现出逐渐枯萎的症状(图 3)。



A—D. 苞片冷害症状:A. 部分褪色,B. 部分褐化,C. 部分枯萎,D. 全部枯萎;E—H. 叶片冷害症状:E. 部分黄化, F. 部分褐化,G. 部分枯萎,H. 全部枯萎;I—L. 叶柄和花柄冷害症状:I. 部分褐化,J. 全部褐化,K. 部分枯萎,L. 全部枯萎

A—D. Chilling injury symptoms of bract: A. Discolored partly, B. Browned partly, C. Withered partly, D. Withered completely; E—H. Chilling injury symptoms of leaf: E. Etiolated partly, F. Browned partly, G. Withered partly, H. Withered completely;I—L. Chilling injury symptoms of petiole and flower stalk: I. Browned partly, J. Browned completely,K. Withered partly, L. Withered completely

图 3 低温处理后红掌各器官的冷害症状

Fig. 3 Chilling injury symptoms of *Anthurium andraeanum* organs after the treatment of low temperature

2.2 20 个红掌品种的耐寒性分级

2.2.1 各器官冷害指数 20 个红掌品种各器官的冷害指数计算结果见表 1。冷害指数高低反映的是红掌受害程度的轻重,冷害指数是耐寒性的负向指标,即冷害指数越高,则表明耐寒性越弱。由于‘粉冠军’与‘粉爱’几乎全株死亡,其各器官冷害指数均

高达 0.9 以上。其他品种中,叶柄冷害指数较高的为‘轰动’和‘皇家布加迪’,达到 0.4~0.6;叶片冷害指数较高的为‘轰动’,达到 0.4~0.6;花柄和苞片冷害指数较高的均为‘皇家布加迪’、‘红阿里克斯’和‘白雪阿莱西亚’,达到 0.8~1.0。

表 1 20 个红掌品种各器官的冷害指数

品种 Cultivar	叶柄 Petiole	叶片 Leaf	花柄 Flower stalk	苞片 Bract
阿拉巴马 Alabama	0.042±0.012	0.250±0.013	0.358±0.021	0.556±0.036
艾美拉 Almera	0.195±0.023	0.230±0.018	0.166±0.037	0.239±0.036
粉阿拉巴马 Alabama Pink	0.028±0.006	0.116±0.015	0.424±0.055	0.590±0.047
黑皇后 Black Queen	0.053±0.014	0.228±0.019	0.458±0.027	0.567±0.025
红宝贝 Baby Red	0.207±0.026	0.299±0.030	0.219±0.032	0.27±0.042

表 1(续) Continued Table 1

品种 Cultivar	叶柄 Petiole	叶片 Leaf	花柄 Flower stalk	苞片 Bract
皇家布加迪 Bugatti Royal	0.575±0.034	0.287±0.054	0.942±0.028	0.863±0.071
轰动 Furore	0.569±0.036	0.476±0.045	0.465±0.087	0.788±0.047
马都拉 Madural	0.090±0.014	0.154±0.016	0.549±0.050	0.544±0.040
潘多拉 Pandola	0.094±0.019	0.215±0.039	0.506±0.019	0.404±0.021
粉冠军 Pink Champion	1.000±0.000	1.000±0.000	1.000±0.000	1.000±0.000
粉爱 Pink Love	0.986±0.008	0.983±0.013	1.000±0.000	1.000±0.000
红阿里克斯 Pr. Al Red	0.032±0.008	0.081±0.013	0.913±0.029	0.876±0.051
白雪阿莱西亚 Pr. Al Snow	0.286±0.042	0.317±0.036	1.000±0.000	1.000±0.000
紫罗兰 Pr. Al Violet	0.047±0.008	0.101±0.017	0.426±0.025	0.456±0.025
红丰收 Red Harvest	0.175±0.029	0.337±0.037	0.466±0.033	0.443±0.046
红成功 Red Success	0.065±0.011	0.168±0.028	0.417±0.049	0.514±0.042
红赢家 Red Winner	0.077±0.026	0.208±0.019	0.548±0.019	0.370±0.030
白塞拉 Sierra White	0.219±0.019	0.186±0.025	0.121±0.033	0.220±0.052
紫雷鸟 Thunderbird Luxry	0.113±0.022	0.227±0.021	0.475±0.084	0.454±0.089
特伦萨 Turenza	0.025±0.007	0.135±0.020	0.486±0.031	0.585±0.023

2.2.2 耐寒性综合得分 以 4 个器官的冷害指数为指标,进行 20 个红掌品种耐寒性的主成分分析,结果见表 2 和表 3。由表 2 可知,前 2 个主成分的累

积贡献率已达到 96.404%,基本反映了原始数据的大部分信息。

表 2 红掌耐寒性主成分分析的特征值与贡献率

Table 2 Characteristic value and contribution rate of principal component analysis of cold tolerance of *Anthurium andraeanum* cultivars

主成分 Principal component	特征值 Characteristic value	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率% Cumulative contribution rate/
1	3.087	77.170	77.170
2	0.769	19.234	96.404

表 3 红掌耐寒性主成分分析的初始因子载荷矩阵

Table 3 Component matrix of cold tolerance of *Anthurium andraeanum* cultivars

主成分 Principal component	叶柄冷害指数 Petiole chilling injury index	叶片冷害指数 Leaf chilling injury index	花柄冷害指数 Flower stalk chilling injury index	苞片冷害指数 Bract chilling injury index
1	0.900	0.866	0.861	0.887
2	-0.399	-0.472	0.468	0.410

依据公式(1)、(2)计算红掌各器官冷害指数的负荷量与耐寒性综合得分系数(表 4),依据公式(3)确定各品种耐寒性综合得分公式为 $Y=0.308 \times ZX_1+0.277 \times ZX_2+0.481 \times ZX_3+0.48 \times ZX_4$,其

中 ZX_1 、 ZX_2 、 ZX_3 、 ZX_4 分别为红掌各品种通过正向化和标准化后的叶柄、叶片、花柄、苞片冷害指数的校正值,依据该式得到 20 个红掌品种的耐寒性综合得分,并据此进行了耐寒性排序,结果见表 5。

表 4 红掌耐寒性各指标的负荷量和综合得分系数

Table 4 Capacity and comprehensive scoring coefficients of indicators for cold tolerance of *Anthurium andraeanum* cultivars

指标 Indicator	负荷量 Capacity		综合得分系数 Comprehensive scoring coefficients
	1	2	
叶柄冷害指数 Petiole chilling injury index	0.512	-0.455	0.308
叶片冷害指数 Leaf chilling injury index	0.493	-0.538	0.277
花柄冷害指数 Flower stalk chilling injury index	0.490	0.534	0.481
苞片冷害指数 Bract chilling injury index	0.505	0.468	0.480

2.2.3 耐寒性聚类分析和分级 依据 20 个红掌品种的耐寒性综合得分进行聚类分析,结果见图 4。由图 4 可知,在欧氏距离为 5 时,20 个红掌品种被分为 3 组,结合耐寒性综合得分,将其分为 3 个不同级别的耐寒组,其中‘阿拉巴马’、‘艾美拉’、‘粉阿拉

巴马’、‘黑皇后’、‘红宝贝’、‘马都拉’、‘潘多拉’、‘紫罗兰’、‘红丰收’、‘红成功’、‘红赢家’、‘白塞拉’、‘紫雷鸟’和‘特伦萨’等 14 个品种属于高耐寒组,‘皇家布加迪’、‘轰动’、‘红阿里克斯’和‘白雪阿莱西亚’等 4 个品种属于中耐寒组,‘粉冠军’和‘粉

爱’属于低耐寒组。

表 5 20 个红掌品种的耐寒性综合得分

Table 5 Comprehensive scores of cold tolerance of 20 *Anthurium andraeanum* cultivars

品种 Cultivar	冷害指数较正值 Proofreading value of chilling injury index				综合得分 Comprehensive scores	排序 Order
	叶柄 Petiole	叶片 Leaf	花柄 Flower stalk	苞片 Bract		
阿拉巴马 Alabama	0.670	0.197	0.683	0.123	0.648	8
艾美拉 Almera	0.162	0.275	1.377	1.377	1.450	2
粉阿拉巴马 Alabama Pink	0.716	0.725	0.444	−0.012	0.629	9
黑皇后 Black Queen	0.633	0.283	0.322	0.079	0.466	12
红宝贝 Baby Red	0.122	0.004	1.185	1.255	1.211	3
皇家布加迪 Bugatti Royal	−1.098	0.051	−1.428	−1.093	−1.536	17
轰动 Furore	−1.078	−0.694	0.296	−0.796	−0.764	16
马都拉 Madural	0.510	0.575	−0.007	0.170	0.395	14
潘多拉 Pandola	0.497	0.335	0.148	0.724	0.665	7
粉冠军 Pink Champion	−2.508	−2.759	−1.638	−1.635	−3.109	20
粉爱 Pink Love	−2.461	−2.692	−1.638	−1.635	−3.076	19
红阿里克斯 Pr. Al Red	0.703	0.863	−1.323	−1.144	−0.730	15
白雪阿莱西亚 Pr. Al Snow	−0.140	−0.067	−1.638	−1.635	−1.634	18
紫罗兰 Pr. Al Violet	0.653	0.784	0.437	0.518	0.877	4
红丰收 Red Harvest	0.229	−0.146	0.293	0.570	0.444	13
红成功 Red Success	0.593	0.520	0.470	0.289	0.691	5
红赢家 Red Winner	0.554	0.362	−0.004	0.859	0.681	6
白塞拉 Sierra White	0.083	0.449	1.540	1.452	1.588	1
紫雷鸟 Thunderbird Luxry	0.434	0.287	0.260	0.526	0.591	10
特伦萨 Turenza	0.726	0.650	0.220	0.008	0.513	11

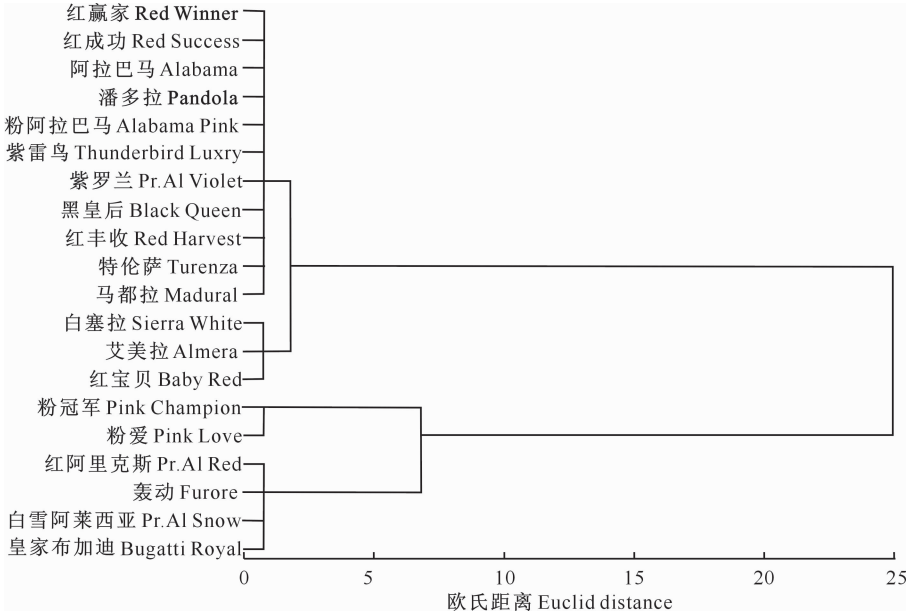


图 4 20 个红掌品种耐寒性的聚类结果

Fig. 4 Cluster results of 20 *Anthurium andraeanum* cultivars based on cold tolerance

2.3 6 个红掌品种的耐寒性验证及其与各生理指标变化率的相关性

6 个红掌品种再次低温胁迫试验结束后,各品种冷害症状同样表现出差异性。其中,‘粉冠军’的大部分苞片枯萎脱落,几乎全部叶片表现出干枯失水状态,受害程度最重;‘皇家布加迪’的幼嫩苞片表

现出部分褐化,几乎全部老叶都表现出干枯失水状态,只有部分新叶没有冷害症状,受害程度中等;‘轰动’的大部分苞片和叶片表现出褐化与枯萎症状,受害程度中等;‘阿拉巴马’的少量苞片表现出褐化症状,少量叶片表现出黄化与褐化症状,受害程度较轻;‘潘多拉’和‘特伦萨’的少量苞片表现出褐化,极

少数叶片有黄化和褐化症状,受害程度最轻。6 个红掌品种的冷害指数计算结果与冷害症状比较一致,详见表 6。其中,叶柄、叶片和花柄冷害指数最

高的均为‘粉冠军’,其次是‘轰动’和‘皇家布加迪’;苞片冷害指数最高的为‘粉冠军’,其次是‘轰动’。

表 6 6 个红掌品种各器官的冷害指数

Table 6 Organ chilling injury indexes of 6 *Anthurium andraeanum* cultivars

品种 Cultivar	叶柄 Petiole	叶片 Leaf	花柄 Flower stalk	苞片 Bract
阿拉巴马 Alabama	0.058±0.010	0.129±0.015	0.234±0.021	0.263±0.022
皇家布加迪 Bugatti Royal	0.483±0.004	0.798±0.017	0.447±0.011	0.157±0.012
轰动 Furore	0.445±0.008	0.742±0.022	0.451±0.009	0.557±0.034
潘多拉 Pandola	0.101±0.004	0.064±0.009	0.247±0.010	0.095±0.015
粉冠军 Pink Champion	0.740±0.039	0.964±0.006	0.783±0.042	0.856±0.025
特伦萨 Turenza	0.071±0.005	0.053±0.008	0.250±0.014	0.142±0.025

6 个红掌品种的耐寒性综合得分见表 7,聚类分析结果见图 5。依据聚类结果并结合综合得分,在欧氏距离为 5 时,‘潘多拉’、‘特伦萨’和‘阿拉巴马’

被划分为高耐寒组,‘皇家布加迪’和‘轰动’被划分为中耐寒组,‘粉冠军’被划分为低耐寒组,此结果与第 1 次低温试验结果一致。

表 7 6 个红掌品种的耐寒性综合得分

Table 7 Comprehensive scores of cold tolerance of 6 *Anthurium andraeanum* cultivars

品种 Cultivar	冷害指数较正值 Proofreading value of chilling injury index				综合得分 Comprehensive scores	排序 Order
	叶柄 Petiole	叶片 Leaf	花柄 Flower stalk	苞片 Bract		
阿拉巴马 Alabama	0.917	0.785	0.792	0.273	1.012	3
皇家布加迪 Bugatti Royal	−0.591	−0.810	−0.212	0.625	−0.208	4
轰动 Furore	−0.457	−0.676	−0.231	−0.705	−0.778	5
潘多拉 Pandola	0.764	0.940	0.731	0.832	1.246	1
粉冠军 Pink Champion	−1.503	−1.205	−1.796	−1.700	−2.477	6
特伦萨 Turenza	0.871	0.966	0.717	0.675	1.205	2

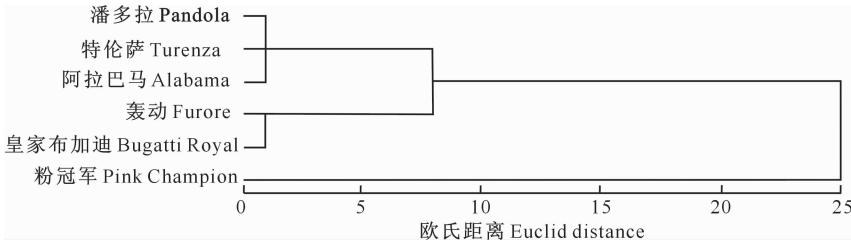


图 5 6 个红掌品种耐寒性的聚类结果

Fig. 5 Cluster results of 6 *Anthurium andraeanum* cultivars based on cold tolerance

6 个红掌品种在第 2 次低温试验前后各生理指标的变化率见表 8,其与耐寒性综合得分的相关性

分析结果见表 9。

表 8 红掌品种各生理指标在低温胁迫前后的变化率

Table 8 Changing rate of biochemical indicators of *Anthurium andraeanum* cultivars before and after low temperature treatment

品种 Cultivar	叶绿素荧光参数 <i>Fv/Fm</i>	相对电导率 REC	丙二醛 MDA	可溶性蛋白 SP	可溶性糖 SS	过氧化物酶 POD	超氧化物歧化酶 SOD
阿拉巴马 Alabama	−0.421	0.045	−0.011	−0.216	−0.277	−0.375	−0.192
皇家布加迪 Bugatti Royal	−0.692	0.933	0.402	0.548	0.523	−0.750	1.992
轰动 Furore	−0.818	0.427	−0.317	−0.037	−0.460	−0.333	0.404
潘多拉 Pandola	−0.480	0.104	−0.006	−0.280	−0.216	−0.667	−0.252
粉冠军 Pink Champion	−0.800	1.498	0.427	−0.173	1.179	0.429	0.847
特伦萨 Turenza	−0.357	0.034	−0.166	−0.315	0.037	0.308	0.913

表 9 红掌品种耐寒性指标与其耐寒性的相关性分析

Table 9 Correlation analysis between cold tolerance indexes and cold tolerance capacity of *Anthurium andraeanum* cultivars

相关指标 Related index	叶绿素荧光参数 F_v/F_m	相对电导率 REC	丙二醛 MDA	可溶性蛋白 SP	可溶性糖 SS	过氧化物酶 POD	超氧化物歧化酶 SOD
综合得分 Comprehensive scores	0.886 *	-0.919 **	-0.502	-0.255	-0.701	-0.410	-0.364

注：* 表示 $P \leq 0.01$ 的显著水平；* 表示 $P \leq 0.05$ 的显著水平。
Note: * means significant difference at $P \leq 0.01$, * means significant difference at $P \leq 0.05$.

由表 8 和表 9 可以看出,6 个红掌品种的叶绿素荧光参数 F_v/F_m 在低温胁迫后呈下降趋势,且其变化率与红掌品种的耐寒性呈现显著正相关;相对电导率在低温胁迫后呈上升趋势,且其变化率与红掌品种的耐寒性呈现极显著负相关;其他指标则没有表现出明显的变化规律,其变化率与红掌耐寒性无显著相关性。

3 讨 论

3.1 红掌的冷害症状与耐寒性

植物遭受低温损害最初发生在细胞和器官水平,而生物膜系统是损伤的最初部位,其结构、功能、稳定性和酶活性均遭到破坏,进而造成严重的代谢失衡^[13]。当冷害达到一定程度,最终会导致相应器官衰老、脱水、萎黄、褐化、枯萎等症状发生,红掌不同品种各器官膜系统对低温的耐受程度均不相同,从而使冷害症状在各品种各器官上表现出差异性。在冷胁迫过程中,不同红掌品种最先出现受害症状的部位不同,‘阿拉巴马’最先受害的是叶片和苞片,表现出部分褐化,而‘粉冠军’则是叶柄和花柄,尤其是其上与叶片或苞片连接处最先开始褐化甚至枯萎,但同时叶片却呈现绿色状态。因此仅凭叶片,尤其是离体叶片的耐寒性分析来鉴定红掌整株耐寒性会导致较大偏差。但考虑到叶柄是输送营养和水分的器官,其受害情况最终会反映到叶片上,因而建议在冷处理红掌整株后,延迟一段时间比如 7 d 后进行叶片耐寒性分析,估计能更好地反映红掌的耐寒性。

另外,试验中发现‘粉冠军’耐寒性最弱,对环境温度最为敏感,在本研究建立的耐寒性评价方法中,可以将‘粉冠军’的表现作为低温处理程度的反映指标,当其叶片开始表现出干枯状态时,不同耐寒性等级的红掌品种冷害症状差异明显,此时或之后进行耐寒性鉴定较为适宜。

本研究 2 次低温试验中,6 个红掌品种的耐寒性排序并不完全一致,但与各品种在胁迫后的冷害表现相对一致,推测可能是由于 2 次胁迫的时长与

温度不同导致的。植物面对寒冷时的复杂调控机制,决定其在不同温度和时长处理下的不同冷害表现,因而会造成耐寒性评价出现一定偏差,如王立梅^[14]在不同温度和不同时长低温胁迫情况下对白掌的抗寒性评价顺序也表现出了不一致性。本研究中,依据耐寒性综合得分并结合聚类分析对 20 个红掌品种进行耐寒性分级,较好地校正了这种偏差,使 2 次评价结果表现出一致性和稳定性。

3.2 红掌耐寒性与相关生理指标的关系

耐寒性研究中,生理指标评价法多被采用,其中相对电导率、丙二醛、可溶性蛋白、可溶性糖、过氧化物酶、超氧化物歧化酶、叶绿素荧光参数 F_v/F_m 等均较为常用^[15-20]。本研究通过相关性分析发现,低温胁迫后的叶绿素荧光参数 F_v/F_m 变化率、相对电导率变化率与红掌品种的耐寒性显著相关,这与前人对花椰菜和黑麦草耐寒性的研究结果比较一致^[17-18]。然而其他 5 个指标的变化率在本试验中未表现出与耐寒性显著相关,这与前人的结果不太一致^[4,10],推测可能是由于本研究低温胁迫时间较长,即植物在遭受难以忍受的冷害时,丙二醛、蛋白、糖等的催化与合成系统受到了不可逆伤害导致的。这种现象在其他物种如白掌^[14]、早实核桃^[21]、石榴^[22]、花生^[23-24]等的耐寒性研究中也多有报道,这使得生理指标在耐寒性评价中具有不稳定性。目前常用的耐寒性综合评价方法多为主成分分析法和隶属函数法,这 2 种方法都要求明确各生理指标与耐寒性的正负相关性^[25-26],而在胁迫时间较长或温度超过一定范围的情况下,某些生理指标的变化规律已然紊乱,因而是否应该引入过多的生理指标来进行耐寒性综合评价也是一个值得思考的问题。而叶绿素荧光参数 F_v/F_m 和相对电导率作为非单一化合物的复合性指标,不受冷处理时间的影响,比较适宜应用于植物耐寒性鉴定中。

4 结 论

本研究基于红掌低温胁迫后的形态表现,通过计算各器官冷害指数,结合主成分分析与聚类分析

对 20 个红掌品种进行了耐寒性综合评价,将其分别归为高、中、低耐寒性组,为 20 个品种在设施栽培中的温度分级管理提供了理论依据。采用自然低温胁迫后红掌各器官的冷害指数统计结果进行耐寒性分析,调查全面、操作简单、成本低廉、结果稳定,可作为开花期红掌耐寒性评价的一种有效方法。另外,采用生理指标评价时,叶绿素荧光参数 F_v/F_m 变化率和相对电导率变化率可以作为相关指标对红掌耐寒性进行初步评价,尤其是叶绿素荧光参数 F_v/F_m 作为无损测定方法,在资金允许的情况下,推荐使用。

[参考文献]

- [1] Khawlhing N, Thanga J L T, Lainunmawia F. Plant performance of *Anthurium andraeanum* as affected by shade conditions and different conventional nutrient sources [J]. Journal Horticulture and Forestry, 2012, 2: 22-26.
- [2] Elibox W, Umaharan P. Genetic basis for productivity in *Anthurium andraeanum* Hort [J]. HortScience, 2014, 49: 859-863.
- [3] Elibox W, Umaharan P. Cultivar differences in the deterioration of vase-life in cut-flowers of *Anthurium andraeanum* is determined by mechanisms that regulate water uptake [J]. Scientia Horticulturae, 2010, 124: 102-108.
- [4] 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.
Tian D Q, Ge Y Y, Pan G M, et al. Morphological and physiological characteristics of different cultivars of *Anthurium andraeanum* under chilling stress [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(6): 1173-1179.
- [5] Promyou S, Ketsa S, van Doorn W G. Salicylic acid alleviates chilling injury in anthurium (*Anthurium andraeanum* L.) flowers [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 64: 104-110.
- [6] 李瑞雪, 金晓玲, 胡希军, 等. 6 种含笑属植物抗寒性分析与综合评价 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(5): 1464-1472.
Li R X, Jin X L, Hu X J, et al. Analysis and comprehensive evaluation on cold resistance of six varieties of *Michelia* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(5): 1464-1472.
- [7] 钟 鹏, 刘 杰, 王建丽, 等. 花生对低温胁迫的生理响应及抗寒性评价 [J]. 核农学报, 2018, 32(6): 1195-1202.
Zhong P, Liu J, Wang J L, et al. Physiological responses and cold resistance evaluation of peanut under low-temperature stress [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(6): 1195-1202.
- [8] 朱爱民, 张玉霞, 王显国, 等. 8 个苜蓿品种抗寒性的比较 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(1): 1-7.
Zhu A M, Zhang Y X, Wang X G, et al. Comparison of cold resistance of 8 alfalfa varieties [J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed), 2019, 47(1): 1-7.
- [9] 王宏辉, 顾俊杰, 房伟民, 等. 10 个红掌品种的抗寒性与耐热性评价 [J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(2): 40-47.
Wang H H, Gu J J, Fang W M, et al. Evaluation on cold and heat resistances of ten cultivars of *Anthurium andraeanum* [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2015, 24(2): 40-47.
- [10] 杨克彬, 孟凡志, 郭先锋. 七个切花红掌品种对低温胁迫的生理响应及耐低温能力评价 [J]. 植物生理学报, 2017, 53(9): 1609-1618.
Yang K B, Meng F Z, Guo X F. Physiological response to low temperature stress and comprehensive evaluation of low temperature tolerance among seven cut *Anthurium andraeanum* cultivars [J]. Plant Physiology Journal, 2017, 53(9): 1609-1618.
- [11] 林海明, 张文霖. 主成分分析与因子分析的异同和 SPSS 软件 [J]. 统计研究, 2005(3): 65-69.
Lin H M, Zhang W L. The relationship between principal component analysis and factor analysis and SPSS software [J]. Statistical Research, 2005(3): 65-69.
- [12] 邹 琦. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Zou Q. Experimental guidance of plant physiology [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [13] Lyons J M. Chilling injury in plants [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1973, 24: 445-466.
- [14] 王立梅. 不同品种白掌对低温胁迫的生理响应及抗寒性评价 [D]. 重庆: 西南大学, 2015.
Wang L M. Physiological responses of different *Spathiphyllum* cultivars under low temperature stress and cold resistance evaluation [D]. Chongqing: Southwest University, 2015.
- [15] 马 婷, 李 静, 宁德鲁. 7 个核桃品种幼苗抗寒性评价 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(16): 24-28.
Ma T, Li J, Ning D L. Evaluation of 7 walnut cultivars' seedlings under cold tolerance [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2016, 32(16): 24-28.
- [16] 杨慧菊, 郭华春. 马铃薯不同品种抗寒性综合评价 [J]. 分子植物育种, 2017, 15(2): 716-724.
Yang H J, Guo H C. Comprehensive evaluation of cold resistance of potato varieties [J]. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(2): 716-724.
- [17] 李光庆, 谢祝捷, 姚雪琴, 等. 花椰菜叶绿素荧光参数与耐寒性的关系研究 [J]. 园艺学报, 2010, 37(12): 2001-2006.
Li G Q, Xie Z J, Yao X Q, et al. Studies on the relationship between chlorophyll fluorescence parameters and cold tolerance of cauliflower [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(12): 2001-2006.
- [18] 翟飞飞, 韩 蕾, 李 伟, 等. 田间低温下多年生黑麦草再生株系的抗寒性研究 [J]. 核农学报, 2015, 29(5): 961-971.
Zhai F F, Han L, Li W, et al. Cold resistance research of regenerated lines of *Lolium perenne* under natural low temperature [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(5): 961-971.

[19]

杨伟,龚荣高,廖明安,等.低温胁迫对枇杷幼果抗氧化酶系统和组织结构的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(4):195-202.

Yang W,Gong R G,Liao M A,et al. Effects of low temperature stress on antioxidant enzyme system and microstructure of young loquat fruit [J]. Journal of Northwest A&F University(Nat Sci Ed),2016,44(4):195-202.

[20]

郑密,赵国辉,孙晓阳,等.长白落叶松无性系抗寒性比较研究[J].植物研究,2018,38(5):682-687.

Zheng M,Zhao G H,Sun X Y,et al. Comparative analysis of cold resistance ability of *Larix olgensis* clones [J]. Bulletin of Botanical Research,2018,38(5):682-687.

[21]

刘杜玲,张博勇,孙红梅,等.早实核桃不同品种抗寒性综合评价[J].园艺学报,2015,42(3):545-553.

Liu D L,Zhang B Y,Sun H M,et al. Comprehensive evaluation on cold resistance of early fruiting walnut cultivars [J]. Acta Horticulturae Sinica,2015,42(3):545-553.

[22]

刘贝贝,陈利娜,牛娟,等.6个石榴品种抗寒性评价及方法筛选[J].果树学报,2018,35(1):66-73.

Liu B B,Chen L N,Niu J,et al. Selection of methods for evaluation on cold tolerance of six pomegranate varieties [J]. Journal of Fruit Science,2018,35(1):66-73.

[23]

Bai D M,Xue Y Y,Zhao J J,et al. Identification of cold-tolerance during germination stage and genetic diversity of SSR markers in peanut landraces of Shanxi province [J]. Acta Agronomica Sinica,2018,44:1459-1467.

[24]

Kazemi-Shahandashti S S,Maali-Amiri R. Global insights of protein responses to cold stress in plants: Signaling, defence, and degradation [J]. Journal of Plant Physiology,2018,226:123-135.

[25]

杨凤翔,金芳,颜霞.不同草莓品种抗寒性综合评价[J].果树学报,2010,27(3):368-372.

Yang F X,Jin F,Yan X. Comprehensive evaluation of different strawberry varieties' tolerance to coldness [J]. Journal of Fruit Science,2010,27(3):368-372.

[26]

于庆帆,王海琪,白茹,等.隶属函数法对伊犁地区‘树上干’杏不同株系抗寒性的评价[J].分子植物育种,2018,16(8):2671-2676.

Yu Q F,Wang H Q,Bai R,et al. Evaluation of cold resistance of different species in ‘Shu shang gan’ apricot in Yili region by membership function method [J]. Molecular Plant Breeding,2018,16(8):2671-2676.

(上接第 115 页)

[42]

Wang L J,Jiang W B,Huang B J. Promotion of 5-aminolevulinic acid on photosynthesis of melon (*Cucumis melo*) seedlings under low light and chilling stress conditions [J]. Physiologia Plantarum,2004,121(2):258-264.

[43]

张治平,汪良驹,姚泉洪.过量合成 ALA 转基因烟草叶片光合与叶绿素荧光特性的研究[J].西北植物学报,2008(6):1196-1202.

Zhang Z P,Wang L J,Yao Q H. Study on leaf photosynthesis and chlorophyll fluorescence of transgenic tobacco over-producing 5-aminolevulinic acid (ALA) [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2008(6):1196-1202.

[44]

陈令会,刘龙博,安玉艳,等.外源 5-氨基乙酰丙酸促进苹果叶片气孔开放机理的初探[J].园艺学报,2014,41(10):1965-1974.

Chen L H,Liu L B,An Y Y,et al. Preliminary studies on the possible mechanism underlying 5-aminolevulinic acid-induced stomatal opening in apple leaves [J]. Acta Horticulturae Sinica,2014,41(10):1965-1974.