

DOI:10.11937/bfyy.201705015

低温胁迫下二十个杜鹃花品种的抗寒性评价

刘旭梅, 赵冰, 申惠翡, 徐静静, 高晓宁

(西北农林科技大学 风景园林艺术学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:为了明确杜鹃花的抗寒性,以20个杜鹃花品种为试材,进行20 d自然低温处理后观测植株形态表现,测定可溶性糖、可溶性蛋白质、丙二醛(MDA)、过氧化氢(H_2O_2)含量及过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性等指标,运用隶属函数标准差系数权重法进行抗寒性综合评价,并进行各生理指标与抗寒性综合评价相关性分析。结果表明:低温胁迫下“红玥”杜鹃形态表现最不明显,抗寒性最强。相关性分析得出可溶性糖含量与抗寒综合评价值极显著正相关($P<0.01$),SOD活性显著正相关,MDA含量与抗寒综合评价呈显著负相关($P<0.05$)。POD活性与抗寒综合评价值呈正相关,可溶性蛋白质含量和 H_2O_2 含量与抗寒综合评价值呈负相关。形态观测结果与隶属函数的综合评价基本一致,可鉴定杜鹃花的抗寒性顺序。该研究为不同区域园林应用中杜鹃花品种的选择应用提供参考。

关键词:杜鹃花;形态表现;抗寒性;隶属函数

中图分类号:S 685.21 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)05-0060-07

杜鹃花(*Rhododendron*)属杜鹃花科(Ericaceae)杜鹃花属落叶灌木,种类繁多,着花繁密,花色艳丽,花期较长,是我国十大传统名花之一^[1],也是最美的园林植物之一,具有极高的观赏价值。其中春节开花的杜鹃花最受人们喜爱,近年来也已成为年宵花及节日活动布置主要花卉之一^[2]。但由于受低温限制,无法在庭园中广泛栽植,真正能用于园林绿化的品种较少^[3],因此杜鹃花抗寒性研究非常迫切。目前关于杜鹃花属抗寒性的研究主要集中在云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei* Lindl.)、高山杜鹃(*Rhododendron*)等野生杜鹃及部分比利时杜鹃上^[4-6],针对不同杜鹃花品种间抗寒性的比较研究相对较少,结合形态观察和生理指标,对杜鹃花品种抗寒性进行综合评价,以及结合相关性分析抗寒性的研究也较欠缺。

研究表明,低温胁迫下植物的抗寒性与渗透调

节物质,保护酶系统显著相关^[7-8],也可用活性氧物质的含量作为一个判断指标。该试验通过20 d自然低温胁迫,观测植物叶片的形态,并测定植物组织中的渗透调节物质中可溶性糖和可溶性蛋白质含量,活性氧物质中丙二醛(MDA)和过氧化氢(H_2O_2)含量,抗氧化酶中过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性等生理指标,运用隶属函数标准差系数权重法对不同的杜鹃花品种进行抗寒性综合评价,并进行相关性分析。旨在明确不同杜鹃花品种的抗寒性强弱,为进一步研究抗寒机理提供参考依据,同时选择抗性强的杜鹃花品种推广应用,从而丰富不同地区应用不同园林植物种类。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为2014年引自浙江省嘉善市的杜鹃花2年生扦插植株(表1),共计20个品种,每个品种选取6盆,各盆植株长势均匀,平均株高41.8 cm,冠幅26.7 cm,盆径16.7 cm,基质为泥炭:松针=1:2。

1.2 试验方法

1.2.1 形态观测 2015年12月14日中午将试验材料从温室移入西北农林科技大学林学院,进行20 d自然低温处理。试验期间每天11:30观察并记

第一作者简介:刘旭梅(1990-),女,硕士研究生,研究方向为植物逆境生理。E-mail:305050216@qq.com.

责任作者:赵冰(1980-),女,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事园林植物逆境生理等研究工作。E-mail:bingbing2003915@163.com.

基金项目:国际科技合作基金资助项目(A213021501)。

收稿日期:2016-12-12

表 1

供试杜鹃花品种

Table 1

Rhododendron cultivars for experiment

编号 No.	品种 Cultivars	编号 No.	品种 Cultivars
1	“小青莲” R. ‘Xiao Qing Lian’	11	“状元红” R. ‘Zhuang Yuan Hong’
2	“大青莲” R. ‘Da Qing Lian’	12	“笔止” R. ‘Bi Zhi’
3	“火凤凰” R. ‘Huo Feng Huang’	13	“爱丁堡” R. ‘Ai Ding Bao’
4	“宁波红” R. ‘Ning Bo Hong’	14	“紫辰殿” R. ‘Zi Chen Dian’
5	“套瓣朱砂” R. ‘Tao Ban Zhu Sha’	15	“大和之春” R. ‘Da He Zhi Chun’
6	“国旗红” R. ‘Guo Qi Hong’	16	“吐蕊玫瑰” R. ‘Tu Rui Mei Gui’
7	“外国红” R. ‘Wai Guo Hong’	17	“小桃红” R. ‘Xiao Tao Hong’
8	“绿色光辉” R. ‘Lyu Se Guang Hui’	18	“玉玲珑” R. ‘Yu Ling Long’
9	“红玥” R. ‘Hong Yue’	19	“蓝茵” R. ‘Lan Yin’
10	“琉球红” R. ‘Liu Qiu Hong’	20	“松江大桃红” R. ‘Song Jiang Da Tao Hong’

录 20 个杜鹃花品种在当天温度下所表现出来的形态特征,每隔 7 d 观测并记录植株的生长状况。随机摘取低温胁迫下同一品种不同植株不同生长方向的叶片,蒸馏水冲洗,自然晾干,进行各个指标的测定,每次试验重复 3 次。余丽玲^[9]在 4 个西洋杜鹃的抗寒性比较研究中以受低温胁迫后杜鹃花生长旺盛还是抑制,叶色变化,有否萎蔫及发新叶情况为标准将生长状况分为 7 个等级。参考余丽玲^[9]的划分等级将 20 个杜鹃花品种的生长状况划分为 5 个等级(表 2)。

表 2 生长状况等级划分

Table 2 Hierarchy of the growth situation

等级 Hierarchy	生长状况 Growth situation
I	生长旺盛,叶色正常
II	生长一般,叶色基本正常,叶缘失水萎蔫
III	生长一般,老叶色泽变暗,部分萎蔫变软,新叶开始出现皱缩
IV	生长受到抑制,1/3 叶片萎蔫发黄,老叶枯萎脱落,1/2 新叶萎蔫
V	生长受到抑制,1/2 叶片萎蔫发黄,老叶枯萎脱落,全部新叶萎蔫干枯

1.2.2 抗寒性评价 运用隶属函数标准差系数权重法^[3]进行 20 个杜鹃花品种抗寒性的综合评价。隶属函数的计算公式如下:

$$U(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1);$$

$$U(X_j) = 1 - \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2);$$

$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X}_j)^2}}{\bar{X}_j} \quad (3);$$

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^n V_j} \quad (4);$$

$$D = \sum_{j=1}^n [U(X_j) \cdot W_j] \quad (5)。$$

式中, $U(X_j)$ 表示 j 指标抗寒性隶属函数值, X_j 表示

j 指标的测定值, X_{\max} 为各个品种中 j 指标的最大值, X_{\min} 为各个品种中 j 指标的最小值, \bar{X}_j 表示各个品种 j 指标的平均值, V_j 表示 j 指标的标准差系数, W_j 表示 j 指标权重, D 表示各品种的综合评价。当该指标与抗寒性呈正相关时用公式(1)进行隶属函数值的计算,反之呈负相关时用公式(2)进行计算。

1.3 项目测定

可溶性糖含量测定参考邹琦^[10]的《植物生理实验指导》的蒽酮比色法,可溶性蛋白质含量测定采用考马斯亮蓝法,丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法^[11],过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚比色法,超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用 NBT(氯化硝基四氮唑蓝)显色法^[12],过氧化氢(H_2O_2)含量测定采用钼酸铵法^[13]。

1.4 数据分析

运用 Microsoft Office 2003,IBM SPSS Statistics 22 软件进行数据统计,单因素方差分析,采用 Homogeneity of variance test 进行多重比较,以及 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 试验地温度

图 1 为 20 个杜鹃花品种进行低温锻炼的试验地(杨陵区)2015 年 12 月 14 日至 2016 年 1 月 2 日的气温变化,表明 20 个杜鹃花品种经历过 12 月 16—17 日持续 2 d -8°C 的最低温,以及 20 d 平均 -4.3°C 的低温。试验期间 -8°C 低温与调查统计的近 3 年最低温 -8°C 相一致,同时图中最低温的趋势线逐渐升高,二者现象均表明该 20 个杜鹃花品种经历了该地最低温,并保证了低温锻炼所需的低温。

2.2 低温胁迫下 20 个杜鹃花品种的形态表现

由表 3 可知,20 个杜鹃花品种随着低温胁迫天数的逐渐增加表现出一定生长状态的差异。“红玥”

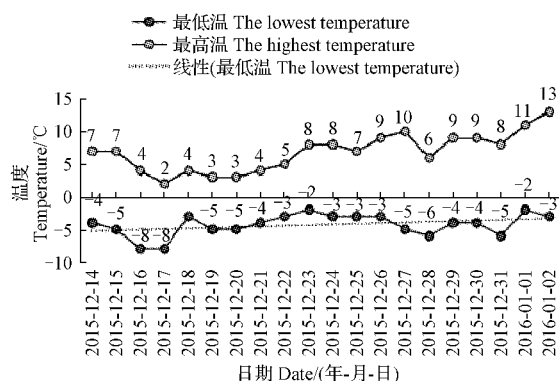


图1 试验地温度

Fig. 1 Temperature of experimental field

表3 低温胁迫下20个杜鹃花品种的形态观测记录

Table 3 Growth morphology records of 20 *Rhododendron* cultivars under cold stress

编号 No.	品种 Cultivars	0 d	7 d	14 d	20 d
1	“小青莲” <i>R.</i> ‘Xiao Qing Lian’	I	III	IV	V
2	“大青莲” <i>R.</i> ‘Da Qing Lian’	I	III	IV~V	V
3	“火凤凰” <i>R.</i> ‘Huo Feng Huang’	I	II~III	IV	V
4	“宁波红” <i>R.</i> ‘Ning Bo Hong’	I	III~IV	IV	V
5	“套瓣朱砂” <i>R.</i> ‘Tao Ban Zhu Sha’	I	II~III	III	IV
6	“国旗红” <i>R.</i> ‘Guo Qi Hong’	I	III	IV	V
7	“外国红” <i>R.</i> ‘Wai Guo Hong’	I	III	III~IV	V
8	“绿色光辉” <i>R.</i> ‘Lyu Se Guang Hui’	I	III~IV	V	V
9	“红玥” <i>R.</i> ‘Hong Yue’	I	I	II	II~III
10	“琉球红” <i>R.</i> ‘Liu Qiu Hong’	I	III	IV	V
11	“状元红” <i>R.</i> ‘Zhuang Yuan Hong’	I	IV	V	V
12	“笔止” <i>R.</i> ‘Bi Zhi’	I	III	IV	V
13	“爱丁堡” <i>R.</i> ‘Ai Ding Bao’	I	III~IV	V	V
14	“紫宸殿” <i>R.</i> ‘Zi Chen Dian’	I	III	IV~V	V
15	“大和之春” <i>R.</i> ‘Da He Zhi Chun’	I	III~IV	IV	V
16	“吐蕊玫瑰” <i>R.</i> ‘Tu Rui Mei Gui’	I	II	III	III
17	“小桃红” <i>R.</i> ‘Xiao Tao Hong’	I	II	II	III
18	“玉玲珑” <i>R.</i> ‘Yu Ling Long’	I	II	III~IV	IV
19	“蓝茵” <i>R.</i> ‘Lan Yin’	I	II	III	IV
20	“松江大桃红” <i>R.</i> ‘Song Jiang Da Tao Hong’	I	II	III~IV	IV

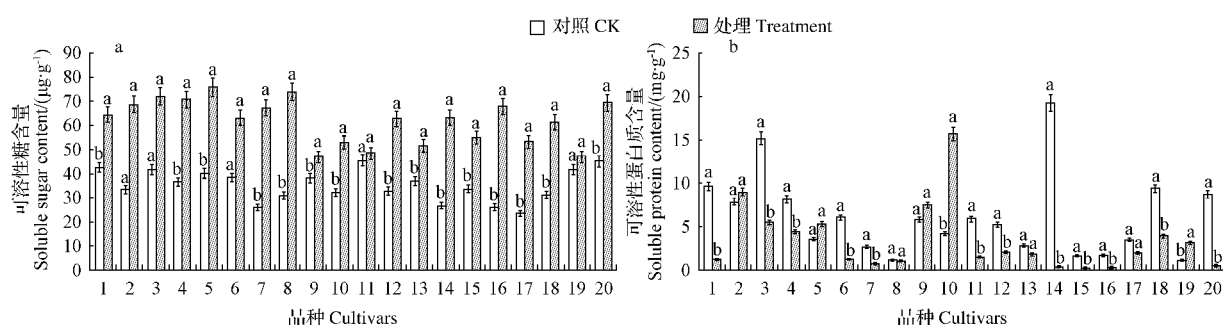
2.3 低温胁迫下20个杜鹃花品种各生理指标的变化

2.3.1 渗透调节物质 可溶性糖和可溶性蛋白质是逆境条件下起调节功能的渗透调节物质。从图2a可以看出,20个杜鹃花品种低温胁迫后比低温胁迫前可溶性糖含量均呈现明显的增长。除“大青莲”“火凤凰”“国旗红”“状元红”“蓝茵”差异不显著外,其它15个杜鹃花品种都有显著差异($P<0.05$)。增长率最大的为“小桃红”199.84%。从图2b可以看出,除“大青莲”“套瓣朱砂”“红玥”“琉球红”“蓝茵”5个杜鹃花品种低温胁迫后可溶性蛋白质含量呈现上升外,其它15个品种则呈现明显的下降。可溶性蛋白质含量上升的“大青莲”“套瓣朱砂”“红玥”,以及下

杜鹃在低温胁迫20 d的条件下形态受影响最小,即表现出生长一般,叶色基本正常,部分萎蔫变软,新叶开始皱缩;其次是“吐蕊玫瑰”和“小桃红”,14 d时“吐蕊玫瑰”先表现出新叶皱缩。“套瓣朱砂”“玉玲珑”“蓝茵”“松江大桃红”在低温胁迫过程中先后表现出各自的生长状况,但低温胁迫20 d后都表现出生长受抑制,1/3叶片萎蔫发黄,老叶枯萎脱落,1/2新叶皱缩萎蔫。“小青莲”“大青莲”“火凤凰”“宁波红”“国旗红”“外国红”“绿色光辉”“琉球红”“状元红”“笔止”“爱丁堡”“紫宸殿”“大和之春”在低温胁迫20 d后都表现出生长受到抑制,1/2叶片萎蔫发黄,老叶枯萎脱落,全部新叶皱缩萎蔫。

降的“绿色光辉”“爱丁堡”“小桃红”差异性不显著。而可溶性蛋白质含量上升的“琉球红”“蓝茵”和下降的“小青莲”“火凤凰”“宁波红”等12个杜鹃品种有显著性差异($P<0.05$)。

2.3.2 活性氧物质 MDA和 H_2O_2 逆境条件下植物体内累积的活性氧物质。由图3a可知,低温胁迫后20个杜鹃花品种MDA含量整体呈下降趋势,只有“大青莲”“套瓣朱砂”“外国红”“绿色光辉”“红玥”这5个杜鹃花品种有较小程度的上升。除“大青莲”“宁波红”“套瓣朱砂”“国旗红”“外国红”“绿色光辉”“红玥”“琉球红”外,其它的12个杜鹃花品种均有显著差异。从图3b可以看出,“大青莲”“套瓣朱砂”“绿色光辉” H_2O_2 含量有增长趋势,但是差异性不显



注:不同的小写字母表示同一品种不同处理间差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference within the same material between different treatment ($P < 0.05$), the same as below.

图2 低温胁迫下20个杜鹃花品种可溶性糖和可溶性蛋白质含量变化

Fig. 2 Variation of soluble sugar content and soluble protein content of 20 *Rhododendron* cultivars under cold stress

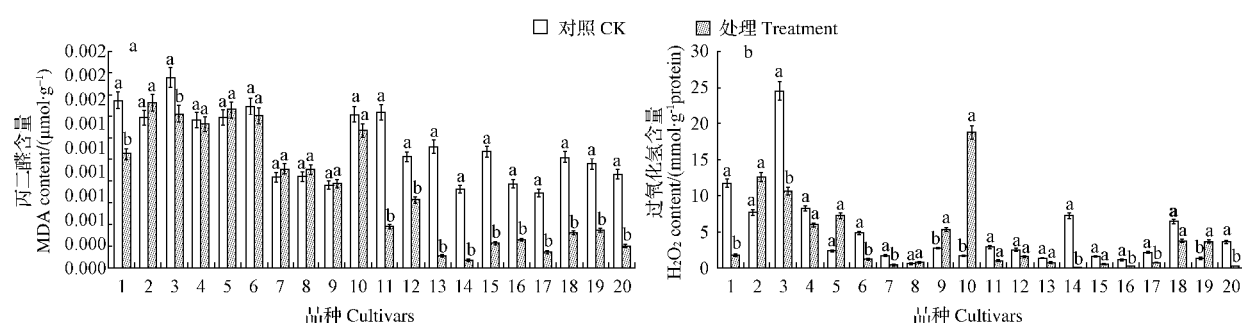


图3 低温胁迫下20个杜鹃花品种丙二醛和过氧化氢含量变化

Fig. 3 Variation of MDA content and H_2O_2 content of 20 *Rhododendron* cultivars under cold stress

著,而“红玥”“琉球红”“蓝茵”也呈增长趋势,差异显著。“小青莲”“火凤凰”“宁波红”等14个杜鹃花品种 H_2O_2 含量都呈下降趋势。

2.3.3 抗氧化酶活性 POD和SOD是2种抗氧化酶,在寒冷环境中起重要的作用。从图4a可以看出,低温胁迫后,绝大多数杜鹃花品种POD活性呈上升趋势,只有“国旗红”“外国红”“状元红”“吐蕊玫瑰”和“蓝茵”有较小幅度的下降。此外,“小青莲”“大青莲”“宁波红”“套瓣朱砂”“绿色光辉”“红玥”“状

元红”“笔止”“紫宸殿”差异性显著,其它品种无显著性差异。从图4b可以看出,低温胁迫后20个杜鹃花品种SOD活性升降无显著趋势,但是“小青莲”“火凤凰”“琉球红”“笔止”“爱丁堡”“玉玲珑”“蓝茵”差异性显著,其它无显著性差异。活性降低率较大为“琉球红”和“爱丁堡”,分别为75.28%和51.27%,增长率较高的为“笔止”“大和之春”和“火凤凰”,分别达到507%、150.01%和116.01%。

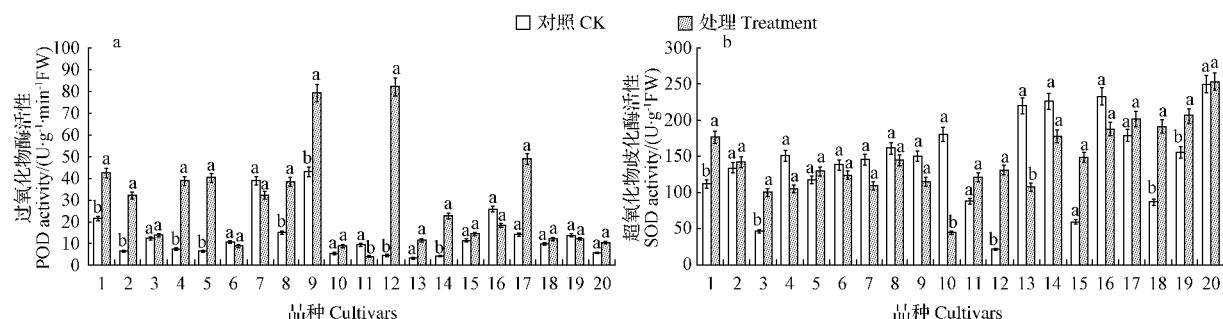


图4 低温胁迫下20个杜鹃花品种POD和SOD活性变化

Fig. 4 Variation of POD activity and SOD activity of 20 *Rhododendron* cultivars under cold stress

2.4 20个杜鹃花品种隶属函数抗寒性综合评价
运用隶属函数标准差系数权重法,结合6个生

理指标变化,进行抗寒性的综合评价。根据计算出的权重,算出各品种低温胁迫20d的综合评价(D

值),D 值越大,则说明抗寒性越强。故由表 4 排序可知,20 个杜鹃花品种的抗寒性由强到弱依次为:“红玥”>“小桃红”>“玉玲珑”>“吐蕊玫瑰”>“紫宸殿”>“笔止”>“蓝茵”>“爱丁堡”>“松江大桃红”>

“小青莲”>“套瓣朱砂”>“大和之春”>“外国红”>“琉球红”>“绿色光辉”>“大青莲”>“宁波红”>“状元红”>“火凤凰”>“国旗红”。

表 4 20 个杜鹃花品种各耐寒性指标隶属函数值

Table 4 Subordinative function analysis on the cold-tolerant indices of 20 *Rhododendron* cultivars

编号 No.	品种 Cultivars	隶属函数值 Subordinative function value						D 值	抗寒排序 Order of cold resistance
		可溶性糖含量	可溶性蛋白质含量	MDA 含量	H ₂ O ₂ 含量	POD 活性	SOD 活性		
		Soluble sugar content	Soluble protein content	MDA content	H ₂ O ₂ content	POD activity	SOD activity		
1	“小青莲” R. ‘Xiao Qing Lian’	0.774	0.061	0.322	0.907	0.491	0.632	0.430	10
2	“大青莲” R. ‘Da Qing Lian’	0.000	0.561	0.000	0.331	0.360	0.467	0.318	16
3	“火凤凰” R. ‘Huo Feng Huang’	0.499	0.334	0.067	0.437	0.123	0.268	0.272	19
4	“宁波红” R. ‘Ning Bo Hong’	0.212	0.267	0.131	0.686	0.444	0.291	0.311	17
5	“套瓣朱砂” R. ‘Tao Ban Zhu Sha’	0.723	0.324	0.042	0.619	0.460	0.403	0.400	11
6	“国旗红” R. ‘Guo Qi Hong’	0.272	0.060	0.080	0.939	0.061	0.380	0.199	20
7	“外国红” R. ‘Wai Guo Hong’	0.559	0.028	0.419	0.980	0.358	0.308	0.345	13
8	“绿色光辉” R. ‘Lyu Se Guang Hui’	0.155	0.048	0.422	0.961	0.441	0.481	0.327	15
9	“红玥” R. ‘Hong Yue’	0.542	0.460	0.513	0.722	0.965	0.337	0.597	1
10	“琉球红” R. ‘Liu Qiu Hong’	0.041	1.000	0.172	0.000	0.060	0.000	0.337	14
11	“状元红” R. ‘Zhuang Yuan Hong’	0.201	0.077	0.788	0.950	0.000	0.365	0.292	18
12	“笔止” R. ‘Bi Zhi’	0.001	0.112	0.618	0.916	1.000	0.414	0.463	6
13	“爱丁堡” R. ‘Ai Ding Bao’	0.934	0.098	0.975	0.967	0.093	0.300	0.450	8
14	“紫宸殿” R. ‘Zi Chen Dian’	0.704	0.006	1.000	1.000	0.237	0.640	0.464	5
15	“大和之春” R. ‘Da He Zhi Chun’	0.561	0.000	0.894	0.974	0.132	0.497	0.384	12
16	“吐蕊玫瑰” R. ‘Tu Rui Mei Gui’	1.000	0.001	0.872	0.991	0.182	0.687	0.479	4
17	“小桃红” R. ‘Xiao Tao Hong’	0.824	0.109	0.952	0.965	0.574	0.751	0.586	2
18	“玉玲珑” R. ‘Yu Ling Long’	0.872	0.234	0.828	0.804	0.102	0.704	0.491	3
19	“蓝茵” R. ‘Lan Yin’	0.749	0.181	0.811	0.810	0.101	0.722	0.457	7
20	“松江大桃红” R. ‘Song Jiang Da Tao Hong’	0.601	0.012	0.910	0.988	0.077	1.000	0.441	9
	权重 Index weight	0.148	0.291	0.158	0.079	0.215	0.110		

2.5 20 个杜鹃花品种各生理指标与抗寒相关性分析

将杜鹃花室外低温胁迫 20 d 后各生理指标相对值(与对照相比)和抗寒性综合评价值进行相关性分析,从表 5 可以看出,低温胁迫下可溶性糖含量与抗寒综合评价值间的相关系数处于 0.5~0.8,达

表 5 各耐寒性指标相关系数及显著性分析

Table 5 Cold resistance index correlation and significant analysis

生理指标 Physiological index	相关系数 Correlation coefficient	显著性 Statistical significance
可溶性糖含量 Soluble sugar content	0.566 *	0.009
可溶性蛋白质含量 Soluble protein content	-0.410	0.864
丙二醛含量 MDA content	-0.539 *	0.014
过氧化氢含量 H ₂ O ₂ content	-0.191	0.419
过氧化物酶活性 POD activity	0.394	0.085
超氧化物歧化酶活性 SOD activity	0.485 *	0.030

注: * 表示相关性在 0.01 水平显著; * 表示相关性在 0.05 水平显著。

Note: * indicates the significance at 0.01 level and * indicates the significance at 0.05 level.

0.566,呈中度正相关,相关性极显著($P<0.01$),而 MDA 含量与抗寒性综合评价值间相关系数绝对值达 0.539,呈中度负相关,相关性显著($P<0.05$)。POD、SOD 活性与抗寒性综合评价值间相关系数处于 0.3~0.5,呈正相关,且 SOD 相关性显著($P<0.05$)。可溶性蛋白质含量和 H₂O₂ 含量与抗寒性综合评价值呈现负相关,但相关性均未达到显著水平。

3 结论与讨论

逆境条件下植物形态特征的变化可直接反映植物本身抗逆强弱,是评价植物抗性强弱的指标之一^[9]。该试验结果表明,随着温度的降低,以及低温锻炼天数的增加,20 个杜鹃花品种形态逐渐表现出生长受到抑制,叶片变黄枯萎,叶缘失水萎蔫,皱缩等生长状况。在自然低温下,植物受到不同程度的伤害,内部组织也已经发生变化来进行一些抗寒的抵御。一些品种因其对温度的敏感程度不同,表现症状的先后顺序也不同,但最终形态表现相似,另一些品种因其本身的抗寒性不同而最终形态表现不

同。例如“状元红”和“国旗红”在第 14 天时表现出形态差异,但在低温锻炼 20 d 时生长等级相同,而“红玥”“状元红”和“国旗红”等从低温胁迫开始直到第 20 天生长状况等级都不同,证实了形态特征确实是品种间抗性强弱的直接表现,形态特征表现等级越低,抗寒性越强。形态观察初步判断抗寒性强弱为:“红玥”抗寒性最强,其次是“小桃红”“吐蕊玫瑰”,然后是“蓝茵”“玉玲珑”“松江大桃红”“套瓣朱砂”,最后是“紫宸殿”“笔止”“爱丁堡”“小青莲”“大和之春”“火凤凰”“琉球红”“宁波红”“绿色光辉”“大青莲”“外国红”“状元红”和“国旗红”。

可溶性糖和可溶性蛋白质均为渗透调节物质,其中可溶性糖作为一种保护物质,在低温条件下可以提高细胞液浓度,缓和原生质过度脱水,保护原生质胶体^[14],而可溶性蛋白质对细胞膜的保护起至关重要的作用,能增强细胞的持水能力,提高抗寒性。该试验发现低温胁迫下,可溶性糖含量全部升高,与抗寒性呈显著的正相关^[15-16]。而可溶性蛋白质研究有所不同,刘杜玲等^[17]研究发现低温胁迫下可溶性蛋白质升高,而姜丽娜等^[18]研究表明低温可使可溶性蛋白质含量低于对照。该试验除“大青莲”“套瓣朱砂”“红玥”“琉球红”和“蓝茵”这 5 个杜鹃花品种低温锻炼后可溶性蛋白质含量明显上升外,其它 15 个品种明显的降低,根据相关性分析低温锻炼可溶性蛋白质含量与抗寒性关系有一定的负相关性,但不显著。可溶性糖和可溶性蛋白质等渗透调节物质在植物抗逆过程中均起到一定的调节作用。因“红玥”和“蓝茵”可溶性糖和可溶性蛋白质含量均明显上升,故得出“红玥”和“蓝茵”抗寒性相对较强于其它杜鹃花品种。

MDA 和 H_2O_2 都是活性氧物质,其中 MDA 是逆境环境下组织或器官膜脂质氧化的最终产物, H_2O_2 是逆境环境下体内活性氧代谢加强的累积产物^[13]。该试验低温胁迫下 20 个杜鹃花品种 MDA 含量整体呈下降趋势,只有“大青莲”“套瓣朱砂”“外国红”“绿色光辉”“红玥”这 5 个品种有较小程度的上升。 H_2O_2 含量除“大青莲”“套瓣朱砂”“绿色光辉”“红玥”“琉球红”“蓝茵”呈不同程度的增长趋势外,整体呈下降趋势。表明“大青莲”“套瓣朱砂”“绿色光辉”的活性氧物质积累较多,抗寒性相对其它杜鹃花品种而言较弱。

当温度降低到一定程度,植株渗透调节物质迅速降低,而抗氧化酶系统则起主要的作用^[19]。抗氧化酶 POD 和 SOD 活性在低温锻炼过程中与植物抗

寒性密切相关^[20],不同植物体内 POD、SOD 活性都各有差异,是重要的保护酶。该试验中低温处理后,大多数杜鹃花品种 POD 活性呈上升趋势,只有“国旗红”“外国红”“状元红”“吐蕊玫瑰”和“蓝茵”有较小程度的下降。虽然 20 个杜鹃花品种 SOD 活性升降趋势不太明显,但“蓝茵”SOD 活性显著升高,“红玥”SOD 活性较小程度降低。因此,综合“红玥”的渗透调节物质可溶性糖和可溶性蛋白质含量增加,活性氧物质 MDA 含量和 H_2O_2 含量增加,抗氧化酶 POD 活性增强,SOD 活性减弱,表明在自然低温处理 20 d 后,“红玥”渗透调节物质起主要作用,而其它品种处于渗透调节物质和抗氧化酶系统协同调节状态,可得“红玥”抗寒性较强。

综上所述,因单一的根据某一个指标进行抗寒性的排序不准确,该试验采用隶属函数标准差系数权重法进行抗寒性的综合评价,评价结果表明抗寒性强弱依次为:“红玥”>“小桃红”>“玉玲珑”>“吐蕊玫瑰”>“紫宸殿”>“笔止”>“蓝茵”>“爱丁堡”>“松江大桃红”>“小青莲”>“套瓣朱砂”>“大和之春”>“外国红”>“琉球红”>“绿色光辉”>“大青莲”>“宁波红”>“状元红”>“火凤凰”>“国旗红”。研究发现抗寒性综合评价与 20 个杜鹃花品种在形态观察上表现的顺序基本一致,与前人研究结果一致,证实了结果的可靠性。此外,相关性分析^[21]得出可溶性糖含量与抗寒综合评价值极显著正相关($P < 0.01$),SOD 活性显著正相关,而 MDA 含量与抗寒性综合评价值显著负相关($P < 0.05$),与高京草等^[22]、王庆军等^[23]相一致。POD 活性与抗寒性综合评价值呈正相关,可溶性蛋白质含量和 H_2O_2 含量与抗寒性综合评价值呈负相关,但相关性还未达到显著水平。

该试验从渗透调节物质,活性氧物质,抗氧化酶系统等角度对 20 个杜鹃花品种进行生理指标的抗寒性研究并通过形态表现进行验证,以及各指标与抗寒性的相关性分析,但关于杜鹃花抗寒性的细胞学机理和分子机理等还需要进一步研究。

参考文献

- [1] 鲜小林,陈睿,秦帆,等. 4 个杜鹃品种对不同 pH 值灌溉水的生理响应[J]. 西北植物学报,2013(1):139-145.
- [2] 兰熙,张乐华,张金政,等. 杜鹃花属植物育种研究进展[J]. 园艺学报,2012,39(9):1829-1838.
- [3] 刘冰,曹莎,周泓,等. 杜鹃花品种耐寒性比较及其机制研究[J]. 园艺学报,2016,43(2):295-306.
- [4] 鲍思伟. 云锦杜鹃低温半致死温度对自然降温的适应[J]. 西南民族大学学报(自然科学版),2005(1):99-102.

- [5] 李淑顺,李倩中,唐玲,等.低温对高山杜鹃内源营养动态变化及休眠解除的影响[J].江苏农业学报,2011(4):853-857.
- [6] 桑林,林卫东.比利时杜鹃的促成栽培技术研究[J].云南师范大学学报,2004,24(2):58-61.
- [7] THOMAS H,JAMES A R. Freezing tolerance and solute changes in contrasting genotypes of *Lolium perenne* L. acclimated to cold and drought[J]. Annals of Botany,1993,72:249-254.
- [8] 刘慧民,仇茜,苏青,等.18种绣线菊苗期抗寒性评价与筛选[J].园艺学报,2014,41(12):2427-2436.
- [9] 余丽玲.西洋杜鹃四个品种抗寒性对比研究[D].福州:福建农林大学,2014.
- [10] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000:110-113.
- [11] 杨梅.15个果桑品种抗寒性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.
- [12] 孙群,胡景江.植物生理学研究技术[M].杨凌:西北农林科技大学出版社,2005:165-169.
- [13] 杨楠,刘培培,小白梅,等.脱落酸、水杨酸和钙对黄瓜幼苗抗冷性的诱导效应[J].西北农业学报,2012(8):164-170.
- [14] ANCHORODOGUY T J,RUDOLPH A S,CARPENTERN J F, et al. Modes of interaction of cryoprotectants with membrane phospholipids during freezing[J]. Cryobiology,1987,24:324-331.
- [15] 冯献宾,董倩,李旭新,等.黄连木和黄山栎的抗寒性[J].应用生态学报,2011(5):1141-1146.
- [16] 徐澜,高志强,安伟,等.冬麦春播小麦穗分化阶段对低温胁迫的响应及耐寒性[J].应用生态学报,2015(6):1679-1686.
- [17] 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(3):545-553.
- [18] 姜丽娜,张黛静,宋飞,等.不同品种小麦叶片对拔节期低温的生理响应及抗寒性评价[J].生态学报,2014(15):4251-4261.
- [19] MENG P,BAI X F,LI H D, et al. Cold hardiness estimation of *Pinus densiflora* var. *zhongwenensis* based on changes in ionic leakage, chlorophyll fluorescence and other physiological activities under cold stress[J]. Journal of Forestry Research,2015,3:641-649.
- [20] WEI Z W,WANG D X,HE L C. Effect of superoxide dismutase on cold acclimation of alfalfa[J]. Pratactural Science,2006,23(7):15-18.
- [21] 陆畅,李斌,刘儒,等.不同种源鹅掌楸抗寒性综合评价[J].浙江农林大学学报,2016(3):455-461.
- [22] 高京草,王慧霞,李西选.可溶性蛋白、丙二醛含量与枣树枝条抗寒性的关系研究[J].北方园艺,2010(23):18-20.
- [23] 王庆军,郝兆祥,侯乐峰,等.低温胁迫下三个石榴品种的抗寒性分析[J].北方园艺,2015(2):18-22.

Comprehensive Evaluation of Cold Resistance of Twenty *Rhododendron* Cultivars Under Cold Stress

LIU Xumei,ZHAO Bing,SHEN Huifei,XU Jingjing,GAO Xiaoning

(College of Landscape Architecture and Arts,Northwest A&F University,Yangling,Shaanxi 712100)

Abstract: In order to understand the adaptation mechanism of *Rhododendron* to cold stress, under natural cold treatment for 20 days, 20 *Rhododendron* cultivars were used as the test materials, which cold resistance was evaluated by measuring relative electrical conductivity, soluble sugar content, soluble protein content, MDA content of leaves, H_2O_2 content, POD activity, and SOD activity, and the growth morphology. By the method of subordinate function, comprehensive evaluation on the cold resistance of different *Rhododendron* cultivars was made. The results showed that the growth change of *R. 'Hong Yue'* under cold stress was not obvious, and cold resistance was the best. Using the method of subordinate function weights coefficient of standard deviation, the cold resistance capacity of 20 *Rhododendron* cultivars was comprehensively evaluated, the cold resistance ability of *R. 'Hong Yue'* was the best among 20 *Rhododendron* cultivars. Correlation analysis demonstrated that integrated assessment value of cold resistance had significant positive correlation with the content of soluble sugar ($P < 0.01$) and superoxide dismutase (SOD) activity, had positive correlation with the contents of peroxidase (POD) activity, while had significant negative correlation with malondialdehyde (MDA) content ($P < 0.05$), and had negative correlation with the contents of soluble protein, and hydrogen peroxide (H_2O_2) content. The results indicated that, the comprehensive evaluation results was similar to results observed in morphological characteristics of leaves. The research provided important theoretical basis for the choice of *Rhododendron* species, which was used in different regions in landscape application.

Keywords: *Rhododendron*; morphology characteristics; cold resistance; subordinate function