郑州高架路桥冬季月季耐寒性研究*

杨 攀 郭风民 闫志军 杨秋红

郑州市城市园林科学研究所 郑州 450051

摘要：高架桥绿化是城市绿化建设中不可缺少的组成部分，对高架桥的绿化美化具有重要的生态效益和社会效益。以 10 个露地表现良好的月季品种为试验材料，在高架路桥环境模拟实验区，对其进行形态观测和可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、丙二醛（MDA）含量、超氧化物歧化酶（SOD）活性和过氧化物酶（POD）活性等生理生化指标测定，采用隶属函数法，综合判断月季品种的耐寒性。结果表明：在自然低温下，10 个月季品种叶片中的可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、MDA 含量、SOD 活性和 POD 活性等生理指标发生明显变化，且不同品种间各指标也有一定差异，反映了月季对低温的生理响应；通过隶属函数法综合分析，10 个月季品种耐寒性由强到弱依次为‘安吉拉’>‘寒地玫瑰’>‘彩虹’>‘橙科斯特’>‘红从容’>‘甜梦’>‘巴西诺’>‘小太阳’>‘夏令营’>‘仙境’；结合露地形态观测，‘安吉拉’‘橙科斯特’‘寒地玫瑰’和‘彩虹’可应用于郑州地区高架路桥绿化。

关键词：高架路桥；月季；耐寒性；形态指标；生理生化指标

DOI：10.12169/zgcsly.2023.04.12.0001

Cold Tolerance of Roses in Winter on the Viaducts in Zhengzhou

Yang Pan Guo Fengmin Yan Zhijun Yang Qiuhong

(Zhengzhou Institute of Urban Landscape Science, Zhengzhou 450051, China)

Abstract: Viaduct greening is an indispensable part of urban greening projects, which has important ecological and social benefits for greening and beautifying viaducts. Ten rose varieties with good performance in the open field are used as experimental materials, and their morphological observation and physiological and biochemical indexes such as soluble sugar content, soluble protein content, MDA content, SOD activity and POD activity are measured in the environment simulation experiment area of viaduct. The cold tolerance of the rose varieties is evaluated and determined with the subordinate function method. The results indicate that the rose varieties ranks from strong to weak as 'Angela' > 'Handimeigui' > 'Rainbow's End' > 'Margo Koster' > 'Hongcongrong' > 'Sweet Dream' > 'Basino' > 'Sonnenkind' > 'Xialingying' > 'Carefree Wonder'. Referenced with the observation of the open field, 'Angela' 'Margo Koster' 'Handimeigui' and 'Rainbow's End' can be applied for viaduct greening in Zhengzhou.

Keywords: viaduct; rose; cold tolerance; morphological indicator; physiological and biochemical indicator

高架桥作为城市建设的主要成就，是城市的重要景观。城市高架桥的绿化，不但是保护生态平衡的要求，也是城市绿化美化生活环境的要求。作为人们出行必经之道，它的绿化改造势在必行。2019 年郑州市政府明确指出要着力打造郑州高架桥绿化特色。

收稿日期：2023-04-12

*基金项目：河南郑州市建设科技项目计划（2020227）

第一作者：杨攀（1986-），女，硕士，工程师，研究方向为月季栽培、应用与育种。E-mail：yp-dalang@163.com

通信作者：郭风民（1966-），男，教授级高级工程师，研究方向为园林植物栽培应用。E-mail：395353759@qq.com

高架桥生态环境较一般的绿地环境条件恶劣，不同地点不同类型的高架桥立地条件千差万别。王杰青等[1]调查和分析了苏州城区高架桥绿化现状，指出高架桥生态环境条件的特殊性。杜伟宁等[2]针对高架桥底部空间的特殊立地环境，提出攀缘植物的选择应根据不同桥体构筑物、不同立地环境条件加以筛选和利用。刘燕珍等[3]采用不同舒适性指标探究植物景观对福州高架桥下空间微气候舒适度的影响。一直以来，对高架桥绿化的研究都集中在桥下空间[4-5]，且理论研究较多实践较少[6]，几乎没有对于高架桥路桥桥面的绿化研究。

继杭州、上海采用月季（*Rosa Hybrid*）对高架路桥进行绿化取得良好效果，作为适宜月季生长的理想地域，郑州积极开展高架桥路桥桥面绿化研究，选取适宜的月季品种是实践中急需解决的问题。郑州属于北方城市，气候干燥，夏季炎热，冬季寒冷。冬季北方高架桥路桥桥面气温相对地面更低，因此选择耐寒性强的月季品种对于冬季越冬具有重要意义。本文通过多年露地栽植经验，选取 10 个月季品种，将其栽植于高架路桥模拟实验区，采用高效节能植物自动化湿控滴灌系统对其进行水肥养护管理，并对其进行形态观测和耐寒生理生化指标测定，以筛选出适宜郑州地区高架路桥绿化的耐寒月季品种，科学利用月季资源，推进高架路桥绿化中月季的合理应用。

1 材料与方法

1.1 试验材料

在多年观测月季露地生长表现性状的基础上，筛选出 10 个露地表现良好的品种为试验材料（表 1）。2020 年郑州市城市园林科学研究所建立高架路桥环境模拟实验区，将初步筛选出的 10 个月季品种栽植于实验区内 70 cm×35 cm×25 cm 种植槽内，每个槽内交叉种植 5 株，每个月季品种栽植 5 槽，所有月季均为 3 年生。试验期间采用高效节能植物自动化湿控滴灌系统进行正常的养护管理。

表 1 10 个月季品种基本情况

编号	品种名称	类型	花色
1	‘彩虹’‘Rainbow’s End’	微型月季	红黄复色
2	‘小太阳’‘Sonnenkind’	微型月季	黄色
3	‘橙科斯特’‘Margo Koster’	微型月季	橙红色
4	‘红从容’‘Hongcongrong’	丰花月季	橙红色
5	‘仙境’‘Carefree Wonder’	丰花月季	粉色
6	‘安吉拉’‘Angela’	藤本月季	粉色
7	‘夏令营’‘Xialingying’	藤本月季	红白表里双色
8	‘甜梦’‘Sweet Dream’	藤本月季	橙黄色
9	‘巴西诺’‘Bassino’	地被月季	红色
10	‘寒地玫瑰’‘Handimeigui’	地被月季	粉色

1.2 试验方法

自然条件下，对 10 个月季品种分别在 2020 年 12 月 23 日、2020 年 12 月 30 日、2021 年 1 月 6 日进行取样，采样当天温度分别是 5 ℃、-4 ℃、-1 ℃。

1.2.1 形态指标观察

2020 年 10 月—2021 年 2 月，观察记录 10 个月季品种冬季（落叶期）花量、花期、叶色、叶形态等形态变化。

1.2.2 生理生化指标测定

在形态观测的同时，于 2020 年 12 月—2021 年 2 月，在自然条件下，对 10 个月季品种每隔 1 周进行取样，共取 3 次。采样时，不同植株统一采取从顶叶起向下的第 3 片叶片，用冰盒保温。带回实验室进行速冻（液氮）后，置于-80 ℃冰箱里备测。

采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量；采用硫代巴比妥酸（TBA）反应法测定丙二醛（MDA）含量；采用氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶（SOD）活性；采用愈创木酚法测定过氧化物酶（POD）活性[7]；可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝染色法[8]。

1.2.3 数据分析

计算低温-4 ℃和-1 ℃处理下各指标与 5 ℃

下各指标的比值，通过无重复两向分组的方差分析检测品种和低温处理的差异显著性，并据此对每个低温处理下各品种进行多重比较。通过隶属函数法对 10 个月季品种的耐寒性进行综合性评价[9]。

2　结果与分析

2.1　冬季月季形态观测

通过观察月季形态变化（表 2、图 1）可知：10 月，各个月季品种均正常生长。11 月，除‘寒地玫瑰’‘巴西诺’，其他品种在中下旬相继出现老叶黄化；除‘寒地玫瑰’‘安吉拉’，其他品种花量减少。12 月到翌年 1 月，均老叶脱落，其中‘夏令营’‘巴西诺’‘仙境’和‘甜梦’无花苞。2 月，‘小太阳’‘仙境’和‘夏令营’越冬时出现少量枝条干死。综合对比各个月季品种的冬季形态表现，发现‘寒地玫瑰’‘橙科斯特’‘安吉拉’和‘彩虹’优于其他品种，‘小太阳’‘仙境’和‘夏令营’稍显不佳，其他品种一般。

表 2　10 个月季品种冬季生长情况

品种名称	成长情况				
	2020 年 10 月	2020 年 11 月	2020 年 12 月	2021 年 1 月	2021 年 2 月
‘彩虹’	正常生长	老叶开始黄化，新叶绿色，花量减少	老叶黄化，出现脱落，新叶泛红，具花苞和花	老叶全部脱落，上层叶红色，有少量花苞和花	正常越冬
‘小太阳’	正常生长	老叶开始黄化，新叶绿色，花量减少	老叶黄化，大量脱落，新叶绿色，具少量花苞和花	叶几乎全部脱落，有新的花苞出现	少量枝条干死
‘橙科斯特’	正常生长	老叶开始黄化，新叶绿色，花量减少	老叶黄化，出现脱落，新叶绿色，具花苞和花	老叶大量脱落，新叶出现干黄，有少量花苞和花	正常越冬
‘红从容’	正常生长	老叶开始黄化，新叶绿色，花量减少	老叶黄化，出现脱落，新叶绿色，具花苞和花	老叶大量脱落，新叶出现干黄，有少量花苞和花	正常越冬
‘仙境’	正常生长	老叶开始黄化，新叶绿色，花量减少	老叶黄化，开始脱落，新叶绿色，无花苞和花	老叶大量脱落，新叶干黄，无花	少量枝条干死
‘安吉拉’	正常生长	老叶开始黄化，出现脱落，花正常开放	老叶黄化，大量脱落，新叶绿色，泛红，具花苞和花	老叶全部脱落，上层新叶泛红，少量花苞和花	正常越冬
‘夏令营’	正常生长	老叶开始黄化，新叶绿色，花量减少	老叶黄化，开始脱落，新叶绿色，具花苞和花	老叶大量脱落，植株上层叶泛红，无花	少量枝条干死
‘甜梦’	正常生长	老叶开始黄化，出现脱落，花量减少	老叶黄化，大量脱落，新叶绿色，无花苞和花	老叶全部脱落，新叶干黄，无花	正常越冬
‘巴西诺’	正常生长	叶色绿色，花量减少	老叶黄化，出现脱落，新叶泛红，无花苞和花	老叶全部脱落，植株上层叶泛红，无花	正常越冬
‘寒地玫瑰’	正常生长	叶色绿色，花正常开放	老叶黄化，出现脱落，新叶泛红，具花苞和花	老叶黄化，大量脱落，上层叶泛红，少量花苞和花	正常越冬

2.2　月季耐寒性

当植物体内糖含量高时，可提高渗透压和细胞液浓度，降低冰点，在植物体受到低温胁迫时参与调控机制[10]。由表 3 可知：相比 5 ℃、-4 ℃，可溶性糖含量除‘小太阳’下降外，其余月季品种均上升，其中‘安吉拉’增幅最明显，增加 1.266 0 mg · g^{-1}，达 42.046 1%，且与其他品种表现出极显著（$P<0.01$）差异；其次为‘甜梦’和‘巴西诺’。-1 ℃时，可溶性糖含量除‘小太阳’上升外，其余月季品种均有一定程度的回降，但又略高于在 5℃时的含量，其中‘甜梦’和‘巴西诺’增幅最明显。

表 3　10 个月季品种不同时间可溶性糖含量变化

品种名称	5℃/(mg · g^{-1})	-4℃/(mg · g^{-1})	-1℃/(mg · g^{-1})	变幅 1/(mg · g^{-1})	增加 1/%	变幅 2/(mg · g^{-1})	增加 2/%
‘彩虹’	2.042 3cb	2.354 9c	2.248 2b	0.312 5	15.303 2	0.205 9	10.080 4
‘小太阳’	2.630 8b	1.881 3 d	2.457 7 b	-0.749 4	-28.487 6	-0.173 0	-6.577 7
‘橙科斯特’	3.204 3a	3.516 1b	3.247 3ab	0.311 8	9.731 9	0.043 0	1.343 3
‘红从容’	3.295 4a	3.756 4b	3.393 4a	0.461 0	13.989 3	0.098 0	2.975 1
‘仙境’	1.990 6c	2.766 8c	2.471 0b	0.7762	38.994 0	0.480 4	24.134 5
‘安吉拉’	3.011 1a	4.277 1a	3.226 0ab	1.266 0	42.046 1	0.215 0	7.138 9
‘夏令营’	1.985 6c	2.610 1c	2.133 6b	0.624 5	31.452 1	0.148 0	7.453 6
‘甜梦’	2.765 2b	3.907 7ba	3.393 7a	1.142 5	41.316 5	0.628 6	22.731 3
‘巴西诺’	2.724 6b	3.613 8b	3.377 5a	0.889 1	32.632 9	0.652 9	23.962 0
‘寒地玫瑰’	2.695 3b	3.355 5b	2.904 6b	0.660 2	24.494 5	0.209 3	7.765 0

注：同一列不同小写字母表示不同处理间差异显著；变幅 1 指-4 ℃时比 5 ℃时可溶性糖含量增加量，变幅 2 指-1 ℃时比 5 ℃时可溶性糖增加量；下同。


A 彩虹 B 小太阳 C 橙科斯特 D 红从容


E 仙境 F 安吉拉 G 夏令营 H 甜梦


I 巴西诺 J 寒地玫瑰

图 1 10 个月季品种形态变化

可溶性蛋白是植物组织的保护物质,当其含量增大时,组织或细胞的冰点温度降低,同时细胞的水合度增大,增强保水能力,避免原生质在低温下的脱水伤害。由表 4 可知:相比 5℃、-4 ℃时,各个月季品种可溶性蛋白含量均有所增加,其中‘安吉拉’‘橙科斯特’增幅比较明显,达 63.388 9% 和 63.263 6%;‘小太阳’增幅最少,仅 1.904 3 mg·g^{-1};‘甜梦’‘橙科斯特’差异不显著;‘红从容’‘夏令营’差异性显著。-1 ℃时,10 个月季品种可溶性蛋白含量均有一定程度的回降,但又略高于在 5 ℃ 时的含量,其中‘橙科斯特’‘红从容’增幅最明显。

表 4 10 个月季品种不同时间可溶性蛋白含量变化

品种名称	5 ℃/(mg·g^{-1})	-4 ℃/(mg·g^{-1})	-1 ℃/(mg·g^{-1})	变幅 1/(mg·g^{-1})	增加 1/%	变幅 2/(mg·g^{-1})	增加 2/%
‘彩虹’	8.157 4e	11.737 0e	9.961 6de	3.579 5	43.880 9	1.804 2	22.117 5
‘小太阳’	8.152 7e	10.056 9f	9.076 7e	1.904 3	23.357 6	0.924 0	11.333 9
‘橙科斯特’	8.998 3e	14.691 0b	11.583 4c	5.692 7	63.263 6	2.585 1	28.728 6
‘红从容’	7.874 9f	12.750 9d	10.013 6d	4.876 1	61.919 0	2.138 7	27.158 8
‘仙境’	8.514 9e	10.650 3f	9.114 5e	2.135 4	25.078 1	0.599 6	7.041 6
‘安吉拉’	9.755 6d	15.939 6a	11.819 2c	6.184 0	63.388 9	2.063 6	21.152 6
‘夏令营’	10.544 5c	12.701 6d	11.867 5c	2.157 0	20.456 5	1.322 9	12.546 0
‘甜梦’	12.223 3a	14.710 1b	13.338 9a	2.486 9	20.345 2	1.115 6	9.127 3
‘巴西诺’	10.972 1c	13.097 6c	12.287 0b	2.125 5	19.371 8	1.314 9	11.984 0
‘寒地玫瑰’	11.410 8b	13.685 4c	11.443 0c	2.274 6	19.933 8	0.032 2	0.282 0

逆境条件下，丙二醛（MDA）含量的多少可表示细胞膜损伤的程度[10]。由表 5 可知：5 ℃时，除‘仙境’‘巴西诺’和‘小太阳’外，其他品种间差异不显著。-4 ℃时，10 个月季品种 MDA 含量均增加，其中‘夏令营’增幅最大，增加 2.349 7 μmol·g^{-1}，达 188.129 2%；增加最少的是‘安吉拉’和‘巴西诺’。-1 ℃时，10 个月季品种 MDA 含量均有一定程度的回降，但又略高于在 5℃时的 MDA 含量，增幅最大为‘夏令营’，增幅最小的是‘红从容’和‘安吉拉’，仅增加 0.006 8 和 0.007 9 μmol·g^{-1}。

表 5　10 个月季品种不同时间叶片的 MDA 含量变化

品种名称	5 ℃/（μmol·g^{-1}）	-4 ℃/（μmol·g^{-1}）	-1 ℃/（μmol·g^{-1}）	变幅 1/（μmol·g^{-1}）	增加 1/%	变幅 2/（μmol·g^{-1}）	增加 2/%
‘彩虹’	1.834 3b	2.453 6b	1.917 5b	0.619 3	33.765 5	0.083 3	4.539 7
‘小太阳’	2.380 6a	3.115 4a	2.496 7a	0.734 8	30.864 2	0.116 1	4.877 6
‘橙科斯特’	1.627 7b	2.156 6b	2.138 0a	0.529 0	32.499 5	0.510 3	31.352 9
‘红从容’	1.523 8b	2.345 7b	1.530 5b	0.821 9	53.940 7	0.006 8	0.444 2
‘仙境’	2.655 2a	3.963 9a	2.674 7a	1.308 7	49.285 6	0.019 4	0.731 3
‘安吉拉’	1.018 4b	1.181 5c	1.026 3b	0.163 1	16.013 5	0.007 9	0.778 6
‘夏令营’	1.249 0b	3.598 7a	2.273 7a	2.349 7	188.129 2	1.024 7	82.046 6
‘甜梦’	1.851 6b	2.527 8b	2.014 5ba	0.676 2	36.518 2	0.162 9	8.797 0
‘巴西诺’	2.411 2a	2.592 3b	2.520 1a	0.181 1	7.510 4	0.108 9	4.518 0
‘寒地玫瑰’	1.258 3b	2.042 0b	1.473 2b	0.783 7	62.283 7	0.214 9	17.080 9

超氧化物歧化酶（SOD）是一种含金属的抗氧化物酶，在活性氧清除反应中，处于重要地位[11]。由表 6 可知：相比 5℃、-4 ℃时，‘安吉拉’‘橙科斯特’‘红从容’‘寒地玫瑰’‘彩虹’‘巴西诺’和‘甜梦’SOD 活性增加，其中‘安吉拉’变幅最大；‘寒地玫瑰’总体含量不高，变幅增加 8.126 5 U·g^{-1}，却增加了 120.143 9%，其他品种均呈现不同程度的活性降低，其中‘仙境’降的最多，活性极显著低于其他品种。-1 ℃时，‘安吉拉’‘彩虹’‘红从容’‘寒地玫瑰’‘巴西诺’‘橙科斯特’和‘甜梦’相对于 5℃时 SOD 活性增加；相对于-4 ℃时，SOD 活性呈现不同程度的降低。

表 6　10 个月季品种不同时间 SOD 活性变化

品种名称	5 ℃/（U·g^{-1}）	-4 ℃/（U·g^{-1}）	-1 ℃/（U·g^{-1}）	变幅 1/（U·g^{-1}）	增加 1/%	变幅 2/（U·g^{-1}）	增加 2/%
‘彩虹’	14.257 9b	22.119 2b	20.583 9a	7.861 3	55.136 5	6.326 0	44.368 6
‘小太阳’	30.559 6a	19.270 1c	26.861 3a	-11.289 5	-36.942 7	-3.698 3	-12.101 9
‘橙科斯特’	19.574 2b	25.352 8b	20.681 3a	5.778 6	29.521 4	1.107 1	5.655 7
‘红从容’	10.462 3c	18.880 8c	15.116 8b	8.418 5	80.465 2	4.654 5	44.488 4
‘仙境’	17.810 2b	2.822 4d	10.170 3b	-14.987 8	-84.153 0	-7.639 9	-42.896 2
‘安吉拉’	18.394 2b	30.219 0a	25.931 9a	11.824 8	64.285 7	7.537 7	40.978 8
‘夏令营’	26.520 7a	22.287 1b	25.450 1a	-4.233 6	-15.963 3	-1.070 6	-4.036 7
‘甜梦’	17.712 9b	19.513 4c	18.442 8b	1.800 5	10.164 8	0.729 9	4.120 9
‘巴西诺’	19.756 7b	23.406 3b	22.335 8a	3.649 6	18.472 9	2.579 1	13.054 2
‘寒地玫瑰’	6.764 0c	14.890 5c	10.170 3b	8.126 5	120.143 9	3.406 3	50.359 7

逆境条件下，过氧化物酶（POD）通过消耗自身活性清除了因代谢失调引起的多余氧自由基，从而保护细胞膜的结构，提高植物的耐性。由表 7 可知：相比 5℃、-4 ℃时，10 个月季品种 POD 活性呈现不同程度下降，其中‘甜梦’活性下降最大，下降 8.566 7 u·g^{-1}·min^{-1}，降了 42.762 1%；‘小太阳’活性下降最小，仅 1.566 7 u·g^{-1}·min^{-1}，降了 11.163 9%，总体差异性不明显。相对于 5 ℃时，-1 ℃时 POD 活性降低；相对于-4 ℃时，POD 活性呈现不同程度的增加。

采用 Excel 2016，通过比较隶属函数平均值大小得出 10 个月季品种的耐寒性强弱（表 8），其中‘安吉拉’耐寒性最强，其次为‘寒地玫瑰’。

表 7 10 个月季品种不同时间 POD 活性变化

品种名称	5 ℃/（u·g^{-1}·min^{-1}）	-4 ℃/（u·g^{-1}·min^{-1}）	-1 ℃/（u·g^{-1}·min^{-1}）	变幅 1/（u·g^{-1}·min^{-1}）	增加 1/%	变幅 2/（u·g^{-1}·min^{-1}）	增加 2/%
‘彩虹’	21.333 3a	15.500 0a	18.500 0b	5.833 3	27.343 6	2.833 3	13.281 1
‘小太阳’	14.033 3b	12.466 7a	12.766 7b	1.566 7	11.163 9	1.266 7	9.026 1
‘橙科斯特’	13.666 7b	7.666 7b	10.333 3b	6.000 0	43.902 4	3.333 4	24.390 5
‘红从容’	23.200 0a	17.533 3a	21.733 3a	5.666 7	24.425 2	1.466 7	6.321 8
‘仙境’	7.433 3c	4.533 3b	5.400 0c	2.900 0	39.0135	2.033 3	27.354 2
‘安吉拉’	19.500 0b	13.266 7a	16.600 0b	6.233 3	31.965 8	2.900 0	14.871 8
‘夏令营’	8.566 7c	4.833 3b	5.966 7c	3.733 3	43.579 7	2.600 0	30.350 2
‘甜梦’	20.033 3ba	11.466 7a	15.166 7b	8.566 7	42.762 1	4.866 7	24.292 8
‘巴西诺’	16.800 0b	12.333 3a	15.266 7b	4.466 7	26.587 3	1.533 3	9.127 0
‘寒地玫瑰’	11.633 3b	5.266 7b	6.400 0c	6.366 7	54.727 8	5.233 3	44.985 6

表 8 10 个月季品种耐寒性综合评价

品种名称	隶属函数值					平均值	排序
	可溶性糖	可溶性蛋白	MDA	SOD	POD		
‘彩虹’	0.404 2	0.479 5	0.663 9	0.517 6	0.580 4	0.529 1	3
‘小太阳’	0.410 3	0.495 1	0.614 0	0.557 5	0.397 2	0.494 8	8
‘橙科斯特’	0.539 6	0.426 9	0.661 7	0.496 8	0.433 0	0.511 6	4
‘红从容’	0.389 9	0.444 6	0.650 5	0.545 8	0.511 6	0.508 5	5
‘仙境’	0.379 3	0.484 7	0.345 1	0.397 2	0.481 5	0.417 6	10
‘安吉拉’	0.552 9	0.501 3	0.621 9	0.601 6	0.504 8	0.556 5	1
‘夏令营’	0.439 0	0.338 0	0.575 3	0.473 1	0.392 7	0.443 6	9
‘甜梦’	0.516 7	0.482 9	0.586 4	0.468 5	0.477 3	0.506 3	6
‘巴西诺’	0.412 3	0.537 8	0.521 3	0.582 4	0.434 5	0.497 7	7
‘寒地玫瑰’	0.578 1	0.539 5	0.466 1	0.568 9	0.552 2	0.541 0	2

3 讨论

植物受低温伤害的最初部位是细胞膜系统，与植物耐寒性有着密切的关系。低温胁迫下，植物体内清除自由基能力下降，引起膜脂过氧化，导致寒害[12]。本研究中，在自然低温下，10 个月季品种叶片中的可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、MDA 含量、SOD 活性和 POD 活性等生理指标发生明显变化，且不同品种间各指标也有一定差异，反映了月季对低温的生理响应。其中，可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和 MDA 含量耐寒性强的月季品种与耐寒性差的差异明显。

现有研究证实，温度越低可溶性糖含量越高[13]，可溶性糖含量高且随温度降低而变化平稳的品种耐寒性强，反之耐寒性弱[14]。随着温度降低，10 个月季品种除‘小太阳’外，均呈现不同程度的含量增加，与朱晓非等[10]对微型月季低温处理时可溶性糖含量变化一致。在-4 ℃时，‘安吉拉’可溶性糖含量高于其他品种，‘小太阳’最低。‘小太阳’最低可能与植株类型、品种特性有关，刘峰等[15]对切花月季抗寒性研究中有同样情况。

可溶性蛋白是植物组织的保护物质，其含量增大时，可以避免原生质在低温下的脱水伤害。本研究中，可溶性蛋白含量随着温度降低，呈现增加趋势，表明可溶性蛋白含量在低温下起到了作用。张双群等[16]、张涛等[17]对藤本月季抗寒性的研究结论一致。在-4 ℃时，‘安吉拉’‘甜梦’‘橙科斯特’可溶性蛋白含量高于其他品种，耐寒性较好。

MDA 含量越高，膜脂过氧化程度越高，说明膜受伤越严重。耐寒性较差的植株细胞膜氧化现象往往发生得更早更严重，这导致其 MDA 含量显著增加[18]。10 个月季品种 MDA 含量在自然低温后均有不同程度的增高，与竹子在自然低温驯化时 MDA 含量变化一致[19]。-4 ℃时，‘安吉拉’MDA 含量明显低于其他品种，显示出耐寒性较强；‘仙境’‘夏令营’和‘小太阳’MDA 含量高于其他品种，结合形态观测，与其他品种相比，其耐寒性较差。

POD、SOD 作为细胞抵御活性氧伤害的重要保护酶[20]，随着温度降低，各品种间 SOD 和 POD 活性的变化有所不同。‘仙境’‘小太阳’和‘夏令营’SOD 活性随着温度逐渐降低，呈下降状态，其他品种呈上升趋势，其中‘安吉拉’上升最明显；POD 活性均下降。SOD 活性一直处于升高状态，表明其发挥着清除活性氧的作用。变幅最大发生在从 5 ℃降至-4 ℃时，有可能低温激活了活性。POD 活性出现降低的原因可能是自然条件下植株已有轻微损伤，当温度回升至-1 ℃

时，植株 POD 活性有一定回升，说明植株能借助自身调节来减轻伤害。

10 个月季品种叶片内可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、MDA 含量、SOD 活性和 POD 活性在不同温度不同品种间大小不一样，但低温下生理指标的变化情况与其他研究结果基本一致[21-24]。此外，不同指标不同品种间变化排序并不完全一致，这与不同月季品种间自身特性差异有关，也与自然条件下多变的环境影响有关。

隶属函数法可以更加全面地反映植物的实际耐寒性，克服单一生理指标的片面性，评价结果更为准确可靠[9]。现在，枇杷（*Eriobotrya japonica*）[25]、非洲菊（*Gerbera jamesonii*）[26]等植物广泛应用隶属函数法研究植物的耐寒性。本研究中，采用隶属函数法进行耐寒性综合评价结果与露地形态观测相符，因此以此来判断 10 个月季品种耐寒性是可靠的。

4　结论

综合各个生理指标变化情况，采用隶属函数法评价 10 个月季品种耐寒性，由强到弱依次为‘安吉拉’>‘寒地玫瑰’>‘彩虹’>‘橙科斯特’>‘红从容’>‘甜梦’>‘巴西诺’>‘小太阳’>‘夏令营’>‘仙境’。结合露地形态观测，‘安吉拉’‘橙科斯特’‘寒地玫瑰’和‘彩虹’可考虑用于郑州地区高架路桥绿化。在实际研究工作中，由于真实高架桥上环境更加复杂多变，使得模拟实验区开展的工作还有许多未研究到的内容，后期仍需深入研究。

参考文献

[1]王杰青，王雪刚，陈志刚.苏州城区高架桥绿化现状与桥区生态环境的研究[J].北方园艺，2006(3)：107-108.

[2]杜伟宁，王月宾，刘婷婷，等.北方城市交通景观的卫士[J].园林，2012，29(9)：28-31.

[3]刘燕珍，陈琳，许志敏，等.福州高架桥下植物景观空间微气候舒适度评价[J].中国城市林业，2020，18(2)：46-50，100.

[4]邢强，曾丽，胡永红，等.高架桥阴环境对 5 种绿化植物生理特性的影响[J].上海农业学报，2021，37(6)：78-85.

[5]王可，戴菲，殷利华.城市高架桥桥阴光环境实测模拟分析[J].中国城市林业，2022，20(2)：68-74.

[6]全文燕，芦建国.城市高架轨道交通景观研究综述[J].中国城市林业，2012，10(3)：37-39.

[7]王学奎.植物生理生化实验原理和技术[M].2 版.北京：高等教育出版社，2006：33-34.

[8]BRADFORD M M.A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J].Analytical Biochemistry，1976，72(1/2)：248-254.

[9]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.

[10]朱晓非，曾丽，刘洋，等.微型月季低温处理后生理指标变化及其耐寒性评价[J].上海交通大学学报(农业科学版)，2017，35(4)：21-25，30.

[11]罗丹，刘忠娜，谢利娜，等.月季部分形态生理指标对高温的反应研究[J].黑龙江农业科学，2013(8)：66-72.

[12]HODGES D M，ANDREWS C J，JOHNSON D A，et al.Antioxidant enzyme responses to chilling stress in differentially sensitive inbred maize lines[J].Journal of Experimental Botany，1997，48(5)：1105-1113.

[13]张纪林，谢晓金，教忠意，等.几种冬青属植物抗冻能力比较[J].园艺学报，2005，32(3)：477-481.

[14]杜永吉，于磊，孙吉雄，等.结缕草 3 个品种抗寒性的综合评价[J].草业学报，2008，17(3)：6-16.

[15]刘峰，李豪，王安，等.14 种切花月季抗寒性比较与评价[J].湖北农业科学，2018，57(7)：75-79.

[16]张双群，于烁烁，孟庆瑞.4 个藤本月季品种的抗寒性研究[J].林业与生态科学，2019，34(2)：181-189.

[17]张涛，段大娟，王振一，等.5 种藤本月季抗寒性比较研究[J].西北林学院学报，2006，21(5)：81-83，138.

[18]胡尚连，曹颖，段宁，等.不同类型竹种抗寒性的灰色关联与聚类分析[J].福建林学院学报，2010，30(4)：327-332.

[19]包昌艳，赵俊，杨汉奇.西藏拉萨引种的 4 种竹子的耐寒性评价[J].西部林业科学，2022，51(3)：118-124.

[20]缴丽莉，倪志云，路丙社，等.低温胁迫对青榨槭幼树抗寒指标的影响[J].河北农业大学学报，2006，29(4)：44-47.

[21]刘育梅，金亮，宋志瑜，等.5 种山榄科果树的耐寒性研究[J].果树学报，2019，36(2)：195-202.

[22]陆顺教，何嘉琦，易双双，等.秋石斛‘三亚阳光’中苗低温胁迫生理响应研究及耐寒指标筛选[J].热带作物学报，2021，42(1)：116-122.

[23]李呈呈，吴其超，马燕，等.6 个彩叶桂品种对低温胁迫的生理响应及抗寒性评价[J].浙江农林大学学报，2021，38(4)：828-836.

[24]马俊丽，吉乃喆，陈洪菲.低温胁迫对月季生理生化指标的影响试验初报[J].南方农业，2020，14(34)：64-68，77.

[25]潘翠萍，谢红江，王永清，等.6 个枇杷品种对低温胁迫的生理响应及抗寒性评价[J].热带作物学报，2019，40(12)：2369-2374.

[26]石乐娟，吴青青，王维泽，等.主成分分析及隶属函数法评价非洲菊不同品种对低温弱光的适应性[J].种子，2020，39(4)：110-114.