

6种装配式墙体绿化植物的耐热性研究^{*}

杨子平^{1,2} 胡杏¹ 阮琳¹ 刘念^{1,2}

(1. 广州市林业和园林科学研究院, 广东 广州 510405; 2. 仲恺农业工程学院 园艺园林学院, 广东 广州 510225)

摘要 为筛选适宜的植物应用到装配式墙体绿化中, 以鸭脚木 (*Schefflera octophylla*)、花叶鸭脚木 (*S. octophylla* 'Variegata')、花叶红背桂 (*Excoecaria cochinchinensis* 'Variegata')、红背桂 (*E. cochinchinensis*)、花叶假连翘 (*Duranta erecta* 'Variegata')、金叶假连翘 (*D. erecta* 'Golden Leaves') 为试验材料, 通过人工气候室模拟高温环境进行胁迫试验, 以 25 ℃ 为对照, 设置 35, 40, 45 和 55 ℃ 共 4 个梯度, 研究高温胁迫下 6 种植物耐热生理指标丙二醛、可溶性蛋白质、可溶性糖和脯氨酸含量的变化情况, 观察植株形态, 计算各生理指标的耐热系数并进行主成分分析, 最后用隶属函数法对 6 种植物的耐热性进行综合评价。通过隶属函数综合评价分析得出, 6 种植物的耐热隶属函数值各不相同, 如在 45 ℃ 下的排序结果为花叶红背桂 > 鸭脚木 > 红背桂 > 金叶假连翘 > 花叶假连翘 > 花叶鸭脚木, 综合评价筛选红背桂、花叶红背桂、鸭脚木适合应用于装配式垂直绿墙。

关键词 高温胁迫; 耐热性; 生理指标; 装配式墙体绿化

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-2053(2018)03-0058-07

Study on Heat Resistance of 6 Kinds of Assembled Wall Green Plants

YANG Ziping^{1,2} HU Xing¹ RUAN Lin¹ LIU Nian^{1,2}

(1. Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture, Guangzhou, Guangdong 510405, China;

2. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China)

Abstract To screen suitable plants for wall greening, the *Schefflera octophylla*, *S. octophylla* 'Variegata', *Excoecaria cochinchinensis* 'Variegata', *Excoecaria cochinchinensis*, *Duranta erecta* 'Variegata', *Duranta erecta* 'Golden Leaves' were selected as the experimental materials. The stress test of the plants under high temperature was applied in the artificial climate chamber that simulate high temperature environment. There were 5 temperature gradients, which were 25 (control), 35, 40, 45 and 55 ℃. In the study, we observed the plants external morphological changes and recorded the changes in content of malondialdehyde (MDA), soluble protein, soluble sugar and proline under high temperature stress. The heat resistance coefficients of each physiological index were calculated and principal component analysis was performed. Finally, the heat resistance of six plants were evaluated by membership function method. The heat resistance membership values of six plants were different and rank in following order at 45 ℃, which was *Excoecaria cochinchinensis* 'Variegata' > *Schefflera octophylla* > *Excoecaria cochinchinensis* > *Duranta erecta* 'Golden Leaves' > *Duranta erecta* 'Variegata' > *S. octophylla* 'Variegata'. According to the evaluation, the *Excoecaria cochinchinensis*, *Excoecaria cochinchinensis* 'Variegata', *Schefflera octophylla* were suitable for use as greening plant on the assembly-type vertical walls.

Key words high temperature stress; heat resistance; physiological index; assembled vertical greening

^{*} 基金项目: 广东省重大科技专项资金项目 (2013A011401004)。

第一作者: 杨子平 (1992—), 男, 硕士研究生, 研究方向为园林植物应用, E-mail: 459207344@qq.com。

通信作者: 阮琳 (1970—), 女, 研究员, 主要从事城市绿化研究, E-mail: alinche@qq.com。

墙体绿化是指应用垂直的形式并利用植物攀爬、固定、垂吊在建筑物外墙上而形成的竖向绿化模式，属于立体空间的一种绿化方式^[1]。墙体绿化具有多方面的生态功能，有研究证明绿色垂直外墙对新建和既有的建筑具有多方面的生态效益，可用于缓解城市热岛效应、增加生物多样性、隔离环境影响、促进节能减排、保持空气碳、氧平衡的作用^[2-3]。近年来随着墙体绿化不断发展，其形式也随着市场和生态需求不断变化。装配式墙体绿化新形式使用支撑结构搭载装配容器和人工基质固定植物，改变了传统技术只能依赖植物攀援之后形成立面绿化效果的现状^[4]。由于墙体绿化特殊的种植环境，对植物的选择上既要达到优良的观赏效果，又要具备较强的适应性和抗性^[5]。装配式墙体绿化植物长期处于室外环境生长，受太阳辐射作用明显，钢铁制装配支架温度上升较快，容易发生热传递，植物在这种环境下生长也势必造成热害，因此要求植物具备耐高温的特点，而植物耐热性是装配式墙体绿化所必备的指标之一。目前对装配式墙体绿化植物的选择和生理特性研究相对较少。垂直绿化植物应用种类较多，但并非都适用于室外装配式垂直绿墙。本研究对 6 种观赏效果优良的灌木开展了高温胁迫实验，采用人工气候室模拟夏季晴朗、光照强烈的特点，通过测定植株在高温胁迫下的植株形态特征和生理生化指标的变化，对这几种灌木的耐热性进行研究，评价其耐热能力的高低，为应用到装配式墙体绿化提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2016 年 11 月在广州市林业和园林科学研究院观赏植物种质资源圃进行。试验材料见表 1，选取 2 a 生扦插苗，株高在 25~35 cm 之间，

扦插于 30 cm × 35 cm × 12 cm 的九格装配式垂直绿墙容器中，统一水肥管理，栽培基质配比为草炭：陶粒 = 3：1。栽培 2 个月后选取生长健壮、长势一致、无病虫害的植株作为实验材料，苗木规格为高 30~40 cm，每个种 90 株。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验于 2016 年 11 月在广州市林业和园林科学研究院人工气候室内进行。试验模拟高温的外部环境条件，分别设置 25/20 ℃（昼/夜）、35/30 ℃（昼/夜）、40/35 ℃（昼/夜）、45/40 ℃（昼/夜）、55/50 ℃（昼/夜），总共 5 个处理，3 次重复。其中 25/20 ℃（昼/夜）为对照组，湿度设置为 75%，光照周期为 16 h（明）/8 h（暗），光照强度模拟夏季晴朗天气光照变化设置。在胁迫 72 h 后，观察并记录植物生长形态表现，并随机采取中部成熟叶片作为样品进行生理指标测定，主要测试指标有 MDA 含量、可溶性蛋白质、可溶性糖、脯氨酸。

1.2.2 植物外部形态表现及热伤害等级评定 根据植物生长形态、叶型状况、热伤害等级进行综合分级评定^[6]，共分为 6 级：1 级—生长旺盛，叶片颜色鲜亮，无变色死亡现象，无热伤害症状；2 级—生长一般，叶色基本正常，少于 25% 的伤害面积表现热伤害症状；3 级—生长稍差，叶片表现萎蔫、发黄，25% 至 50% 的伤害面积表现为热伤害症状；4 级—生长受到抑制，部分叶片变黄或萎蔫，色泽不正常，大于 50% 小于等于 75% 的伤害面积表现为热伤害症状；5 级—生长受到严重抑制，叶片大部分黄化，萎蔫卷曲严重，色泽不正常，75% 以上的伤害面积表现为热伤害症状；6 级—植物全部死亡。

1.2.3 生理指标的测定 丙二醛（MDA）含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、脯氨酸含量测定均参照高俊凤^[7]的方法，重复测定 3 次，取平均值。

表 1 试验材料
Tab. 1 Test materials

序号 Ordinal	植物名称 Plant	拉丁名 Latin name	科属 Family and genus
1	鸭脚木	<i>Schefflera octophylla</i>	五加科鹅掌柴属
2	花叶鸭脚木	<i>S. octophylla</i> 'Variegata'	五加科鹅掌柴属
3	花叶红背桂	<i>Excoecaria cochinchinensis</i> 'Variegata'	大戟科海漆属
4	红背桂	<i>Excoecaria cochinchinensis</i>	大戟科海漆属
5	花叶假连翘	<i>Duranta erecta</i> 'Variegata'	马鞭草科假连翘属
6	金叶假连翘	<i>Duranta erecta</i> 'Golden Leaves'	马鞭草科假连翘属

1.2.4 数据统计与分析 基础数据分析采用 Microsoft excel 2010 软件对所有实验数据进行初步处理,主成份分析,采用 SPSS 18 软件进行分析。

各生理指标的耐热系数 = 热胁迫下的指标测定值 / 对照指标测定值^[8]。

华南地区夏季平均气温不超过 40℃,本试验以 45℃处理下的数据用隶属函数法进行耐热性综合评价^[9],对 6 种植物生理指标的隶属函数值进行计算,比较各个植物在 45℃的耐热能力。

隶属函数值计算公式:

$$X_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

反隶属函数值计算公式:

$$X_i = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

公式中 X_i 为指标测定值, $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$ 为所有实验材料某一指标的最小值和最大值。

2 结果与分析

2.1 不同温度处理对 6 种植物生长表现的影响

由表 2 可见在胁迫 72 h 后,鸭脚木、花叶鸭脚木、花叶红背桂和红背桂在 25, 35, 40 和 45℃处理下均生长旺盛,叶片颜色鲜亮,表现良好,无热伤害症状。花叶假连翘在 40℃下有 25% 的叶片表现出热伤害症状,叶片萎蔫、发黄;在 45℃下 50%~75% 的叶片受热伤害症状明显,生长受到抑制,叶片变黄或萎蔫,色泽不正常。金叶假连翘在 25℃下表现正常,无热伤害症状,在 35, 40 和 45℃下均有 25% 的叶片表现热伤害症状,叶片表现萎蔫、发黄。在 55℃处理下,所有供试植株全部死亡。从表 2 中可知花叶假连翘和金叶假连翘在 40℃和 45℃下均受到不同程度的热伤害,植株生长稍差,整体表现不佳,在广州或珠三角地区夏季室外常有极端高温天气,这两

种植株并不适合应用于装配式墙体绿化。

2.2 不同温度处理对 6 种植物 MDA 含量的影响

从图 1 可看出在不同温度处理下,6 种植物的 MDA 含量都有着不同程度的变化,且变化较为明显。在 35℃处理下,鸭脚木、花叶红背桂、红背桂的 MDA 含量都有明显的增加,但花叶鸭脚木、花叶假连翘、金叶假连翘却有所下降。35℃时相对于对照的温度 MDA 含量增幅较大的是鸭脚木和红背桂,其耐热系数分别为 2.47 和 2.41;降幅较大的是花叶鸭脚木和金叶假连翘,其耐热系数分别为 0.32 和 0.12。40℃时大部分品种相对于对照的 MDA 含量变化不大,其中鸭脚木和红背桂 MDA 含量出现小幅上升,花叶鸭脚木和花叶红背桂 MDA 含量出现小幅下降,另外相对于对照降幅较大的为花叶假连翘和金叶假连翘,其耐热系数分别为 0.16 和 0.47。45℃处理下,各个品种 MDA 含量出现了不同程度的变化,鸭脚木相对于对照 MDA 含量略有上升,花叶鸭脚木相对于对照则有小幅下降。

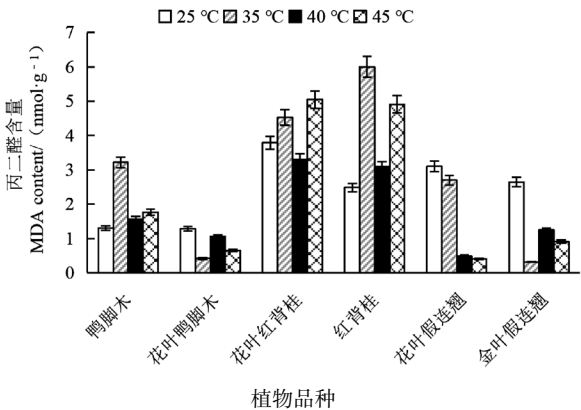


图 1 不同温度处理对 6 种植物 MDA 含量的影响
Fig.1 Effect of different temperature treatments on MDA content in 6 plants

表 2 不同温度下 6 种植物形态变化
Tab. 2 Morphological changes of six plants at different temperatures

植物 Plant	不同温度下植株形态变化 Morphological changes under different temperature				
	25 ℃	35 ℃	40 ℃	45 ℃	55 ℃
鸭脚木 (<i>Schefflera octophylla</i>)	生长良好，无热伤害症状				
花叶鸭脚木 (<i>S. octophylla</i> 'Variegata')					
花叶红背桂 (<i>Excoecaria cochinchinensis</i> 'Variegata')					
红背桂 (<i>Excoecaria cochinchinensis</i>)					
花叶假连翘 (<i>Duranta erecta</i> 'Variegata')	无热伤害症状		25% 的叶片表 现热伤害症状	50%~75% 的叶片 表现热伤害症状	植株全 部死亡
金叶假连翘 (<i>Duranta erecta</i> 'Golden Leaves')	无热伤 害症状	有 25% 的叶片表现热伤害症状			

2.3 不同温度处理对 6 种植物可溶性蛋白质含量的影响

从图 2 可看出，在不同温度处理下 6 种植物可溶性蛋白质含量呈现不同的变化趋势，在 35 ℃处理下，可溶性蛋白质含量相对于对照有所增加的是鸭脚木和金叶假连翘，其耐热系数都是 1.16；其他品种可溶性蛋白质含量均有不同程度下降，其中下降幅度相对较大的是花叶鸭脚木和花叶假连翘，其耐热系数分别为 0.74 和 0.85。在 40 ℃处理下，各个品种的可溶性蛋白质含量相对于对照的增加情况和 35 ℃处理下的结果类似，鸭脚木和金叶假连翘可溶性蛋白质含量较对照有所上升，其耐热系数分别为 1.27 和 1.31；其余品种可溶性蛋白质含量较对照均有不同程度的下降，下降幅度较大的是花叶鸭脚木。在 45 ℃处理下，花叶红背桂和红背桂的可溶性蛋白质含量相对于对照出现同步下降，而花叶假连翘和金叶假连翘的可溶性蛋白质含量较对照则出现同步上升，鸭脚木和花叶鸭脚木的可溶性蛋白质含量和对照相比出现相反的变化趋势。

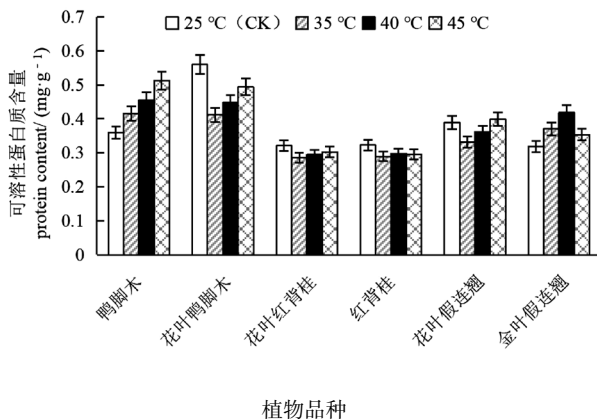


图 2 不同温度处理对 6 种植物可溶性蛋白质含量的影响
Fig.2 Effect of different temperature treatments on protein content in six plants

2.4 不同温度处理对 6 种植物可溶性糖含量的影响

从图 3 可看出，在不同温度处理下 6 种植物可溶性糖含量呈现出不同的变化。在 25 ℃对照处理下，6 种植物之间的可溶性糖含量并无明显差别，都维持在同一水平上；在 35 ℃处理下，除了花叶鸭脚木可溶性糖含量较对照有小幅增加外，其他几种植物的可溶性糖含量较对照均大幅增加，其中增幅较大的是花叶假连翘和金叶假

连翘，其耐热系数分别为 6.28 和 5.45。在 40 ℃处理下，6 种植物可溶性糖含量总体呈现逐渐上升的趋势，其中可溶性糖含量最高的是花叶假连翘和金叶假连翘，其耐热系数分别达到 6.79 和 6.95。在 45 ℃处理下，鸭脚木、花叶红背桂和红背桂的可溶性糖含量均比其他几个温度高，可溶性糖含量最高的是红背桂，其耐热系数为 6.53；最低的是花叶鸭脚木，其耐热系数为 2.70。由图中还可见，鸭脚木、花叶红背桂、红背桂这三种植物的可溶性糖含量伴随着胁迫温度的升高从而逐渐上升；其他几种植物的可溶性糖含量伴随着胁迫温度的升高先升后降。

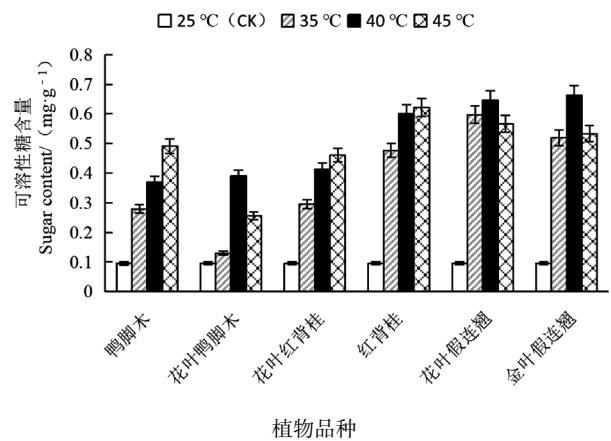


图 3 不同温度处理对 6 种植物可溶性糖含量的影响
Fig.3 Effect of different temperature treatments on soluble sugar content in 6 plants

2.5 不同温度处理对 6 种植物脯氨酸含量的影响

从图中可以看出，在不同温度处理下 6 种植物脯氨酸含量呈现出不同的变化趋势。在对照 25 ℃处理下，红背桂的脯氨酸含量相比其他植物达到最高值。在 35 ℃处理下，脯氨酸含量相比对照增加幅度最大的是花叶红背桂，其耐热系数为 4.05；变化较小的是鸭脚木和花叶鸭脚木，其脯氨酸含量与对照相差不大。花叶红背桂在 35、40 和 45 ℃时的脯氨酸含量在同一温度下都高于 25 ℃对照，并且相比其他几种植物的脯氨酸含量达到最高值。由图中还可见除了红背桂随着胁迫温度的升高脯氨酸含量出现先下降后上升再下降的过程，大部分品种随着胁迫温度的升高其脯氨酸含量出现逐渐上升的趋势。

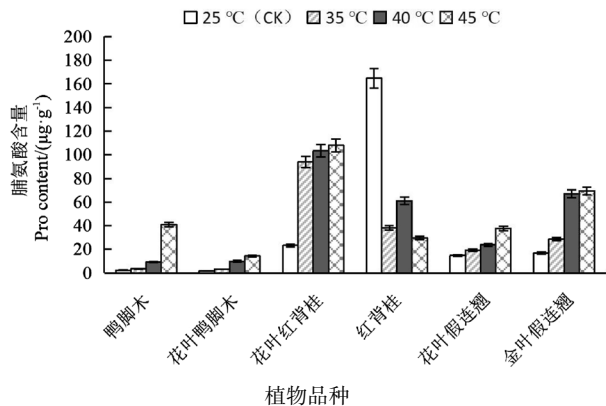


图 4 不同温度处理对 6 种植物脯氨酸含量的影响
Fig.4 Effect of different temperature treatments on proline content in 6 plants

2.6 6 种植物生理生化指标的主成分分析

不同温度处理下的 6 种植物生理生化指标主成分分析结果见表 3。主成分的成分矩阵因子得分系数代表各单个指标对综合指标的贡献大小^[10]。由表中数据可看出，第一主成分贡献率达 62.157%，第一主成分中丙二醛、可溶性蛋白质、脯氨酸这三个指标的得分系数较高。第二主成分贡献率为 28.799%，第二主成分中可溶性糖含量得

分系数最高，其次是丙二醛含量。第一、第二主成分累计贡献率达 90.956%，表明前两个主成分反映出绝大部分信息，按照主成分分析特征值大于 1 的原则，选取前两个主成分，忽略其他成分。这样就可以将原来相互独立的 4 个生理指标重新转化为 2 个相互独立的综合指标，进而对 6 种植物的耐热性进行综合评价。

根据 6 种植物 4 个测定生理指标的标准值和成分矩阵的因子得分系数，可得出第一、第二主成分的回归方程分别为：

$$C(1) = 0.874X_1 - 0.92X_2 + 0.183X_3 + 0.918X_4$$
$$C(2) = -0.421X_1 - 0.151X_2 + 0.974X_3 + 0.054X_4$$

对于转化而来的这两个主成分的综合指标，数值越大，说明这一种类在这一综合指标上的耐热性越强，相反则越弱。但试验中所列 6 种植物的耐热性并非由一个综合指标所决定，而是由 2 个综合指标共同决定，综合指标的贡献率不同所起的作用也不尽相同^[6]。

2.7 6 种植物的耐热性综合评价

由表 4 可知，在 45 °C 处理下，6 种植物的耐热隶属函数值各不相同，其排序也发生变化，隶

表 3 高温胁迫下 6 种植物生理生化指标的主成分分析
Tab. 3 Principal component analysis of physiological and biochemical indexes of six plants under high temperature stress

主成分 Principal component	各指标的因子得分系数 Value of each indicator						
	MDA	可溶性蛋白质 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	脯氨酸 Proline	特征值 Characteristic value	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
1	0.874	-0.920	0.183	0.918	2.486	62.157	62.157
2	-0.421	-0.151	0.974	0.054	1.152	28.799	90.956

表 4 6 种植物在 45 °C 高温处理下的各指标隶属函数值
Tab. 4 The membership function values of six kinds of plants under high temperature treatment at 45 °C

树种 Species	MDA	可溶性蛋白质 Soluble protein	可溶性糖 Soluble sugar	脯氨酸 Proline	平均隶属值 Average membership value	排序 Ordinal
鸭脚木	0.292	1.000	0.641	0.284	2.217	2
花叶鸭脚木	0.054	0.916	0.000	0.000	0.970	6
花叶红背桂	1.000	0.027	0.556	1.000	2.583	1
红背桂	0.970	0.000	1.000	0.162	2.132	3
花叶假连翘	0.000	0.476	0.849	0.250	1.575	5
金叶假连翘	0.110	0.263	0.758	0.587	1.718	4

属函数值的平均隶属值越大, 其耐热性越强。在 45 ℃处理下, 其耐热性强弱顺序依次为: 花叶红背桂>鸭脚木>红背桂>金叶假连翘>花叶假连翘>花叶鸭脚木。从以上结果可以看出, 6 种植物品种在 45 ℃的处理下的反应程度及生理机制具有一定差异。

3 讨论与结论

3.1 植物在遭受到逆境胁迫的条件下, 植物体或细胞间会发生错综复杂的生理变化, 各种生理变化之间相互作用, 共同影响。通过这些因素的综合作用才促成植物耐热性的形成^[11]。研究中通过主成份结合隶属函数分析应用于植物耐热性评价上, 利用各指标之间的相互联系从而确立植物耐热性相关的综合指标, 能够较为科学合理的揭示植物耐热性。本研究中对 6 种植物 4 个测试指标进行隶属函数分析可知不同植物高温胁迫下的耐热能力和生理变化具有一定的差异性。几种植物在 45 ℃下耐热性排序依次为: 花叶红背桂>鸭脚木>红背桂>金叶假连翘>花叶假连翘>花叶鸭脚木。在 55 ℃下处理 72 h 后, 6 种植物都经受不了高温胁迫, 植株全部死亡。通过各指标综合评价筛选红背桂、花叶红背桂、鸭脚木适合应用于装配式墙体绿化。

3.2 高温会导致膜质过氧化作用加剧, MDA 作为膜脂过氧化作用的指标, 用以表示细胞膜脂过氧化的程度和植物对外界环境胁迫反映的强弱^[12]。本研究中鸭脚木、花叶红背桂、红背桂的丙二醛含量随着胁迫温度的升高逐渐上升, 表明这几种植物在高温胁迫后开始出现相应的生理反应, 这一变化情况与周媛等^[6]对景天属植物耐热性研究中丙二醛含量的测定结果类似; 而花叶鸭脚木、花叶假连翘和金叶假连翘随着胁迫温度的升高其丙二醛含量相比对照急剧降低, 这可能是植物长时间承受高温胁迫导致植物细胞受损, 不能正常反应成丙二醛所致。

3.3 高温胁迫会影响植物可溶性蛋白质含量的变化, 可溶性蛋白具有渗透调节和防止细胞脱水的作用^[13]。试验中, 除了鸭脚木和金叶假连翘随着胁迫温度的升高可溶性蛋白含量有所提升外, 其余品种的可溶性蛋白含量在 35 ℃时都出现小幅下降, 而后随着胁迫温度的提升其可溶性蛋白质含量才稳步提升; 出现这一变化的原因可能是几种

植物经过夏季高温后更适应 35 ℃的外部环境, 植物在 35 ℃开始才出现应激反应。

3.4 可溶性糖是一类重要的渗透调节物质, 大部分植物的可溶性糖含量在高温逆境下会大量提升。本试验中鸭脚木、花叶红背桂和红背桂随着胁迫温度的提升其可溶性糖含量急剧升高, 这可能是植物体内出现生理响应以迅速缓解高温对植物造成的伤害; 与此同时花叶鸭脚木、花叶假连翘和金叶假连翘在 45 ℃处理时其可溶性糖含量相比 40 ℃时有小幅下降。这可能是高温胁迫下, 呼吸作用强于光合作用从而对植物体内贮存的糖分过分消耗所致^[14]。

3.5 游离脯氨酸能保持植物细胞含水量和保护质膜完整性的作用^[15], 在正常条件下, 植物体内的脯氨酸含量很低, 但在高温条件下含量会迅速升高以缓解对植物造成的伤害^[16]。本试验中除了红背桂在对照温度时出现的脯氨酸含量大量累积并随温度升高而含量有所下降之外, 其他大部分品种随着胁迫温度的升高其脯氨酸含量相比对照逐步提升, 可能是高温触发了植物的生理响应, 为抵御高温而逐步积累脯氨酸含量; 研究中红背桂与其他几种植物出现相反的趋势可能与所选材料的处理方法有关, 离体的叶片材料更易受到外界环境的破坏。

3.6 由表 3 还可发现除了两种红背桂之外, 其余几种植物当中花叶植物比没有花叶的植物隶属函数值要低, 在 45 ℃高温胁迫处理下耐热强弱表现为: 鸭脚木>花叶鸭脚木, 金叶假连翘>花叶假连翘, 由此可猜想花叶植物的耐热能力是否普遍低于非花叶的植物, 这可能跟花叶植物摄取过多光照导致叶绿素含量减少有关, 对光照的利用效率降低, 耐热能力可能由此下降。

3.7 装配式墙体绿化的支架通常为钢铁制品, 夏季在阳光直射下的支架温度能达 55 ℃以上, 贴近此处的植物可能受高温炙烤而死, 而未暴露在阳光下的钢架受热传导效应温度也非常高, 实验中花叶假连翘和金叶假连翘在 45 ℃下有不同程度的湿热伤害症状, 其余 4 种植物在 45 ℃下表现良好, 具有较强的耐热能力, 可适应高温环境的考验。另外建议装配式墙体绿化容器可使用导热性能较低的塑料盆器, 支撑架和钢结构可涂抹绿色绝热材料以防植物受到热伤害。这样一来既能维持美观的外型又能让植物不至于受到热伤害。

参考文献

- [1] 韩军超.垂直绿化植物墙的构建与植物配置研究[D].西安: 西安建筑科技大学, 2017.
- [2] Rakhshandehroo M, MJ Mohd Yusof, M Deghati Najd. Green facade (vertical greening): benefits and threats[J]. Applied Mechanics and Materials, 2015, 3859(747): 12-15.
- [3] PAN X, XIAO Y. Simulation analysis of building green facade eco-effect[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014(548-549): 1701-1705.
- [4] 吴玉琼. 垂直绿化新技术在建筑中的应用[D].广州: 华南理工大学, 2012.
- [5] 黎黎. 墙体绿化在建筑中的应用研究[D].长沙: 中南大学, 2013.
- [6] 周媛, 郭彩霞, 董艳芳, 等. 9种景天属轻型屋顶绿化植物的耐热性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(9): 119-127; 136.
- [7] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京: 高等教育出版社, 2006.
- [8] 张乐华, 周广, 孙宝腾, 等. 高温胁迫对两种常绿杜鹃亚属植物幼苗生理生化特性的影响[J]. 植物科学学报, 2011, 29(3): 362-369.
- [9] 韩瑞宏, 卢欣石, 高桂娟, 等. 紫花苜蓿抗旱性主成分及隶属函数分析[J]. 草地学报, 2006, 14(2): 142-146.
- [10] 谢恒星, 蔡焕杰, 张振华, 等. 基于主成分分析法的温室甜瓜生长方程研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 134-138.
- [11] 王凯红, 凌家慧, 张乐华, 等. 两种常绿杜鹃亚属幼苗耐热性的主成分及隶属函数分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2011, 19(5): 412-418.
- [12] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京: 高等教育出版社, 2000: 105-263.
- [13] 耶兴元, 张燕. 精胺对高温胁迫下猕猴桃叶中抗氧化物质的影响[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(9): 2090-2093.
- [14] 杨东, 罗群, 曹慕岚, 等. 温度胁迫对菊科杂草生理指标的影响及其适应[J]. 吉首大学学报(自然科学版), 2006 (4): 75-79.
- [15] 杨华庚, 颜速亮, 陈慧娟, 等. 高温胁迫下外源茉莉酸甲酯、钙和水杨酸对蝴蝶兰幼苗耐热性的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(28): 150-157.
- [16] 耶兴元, 何晖, 张燕, 等. 脯氨酸对高温胁迫下猕猴桃苗抗热性相关生理指标的影响[J]. 山东农业科学, 2010(5): 44-46; 50.