

# 不同相对湿度下几种屋顶绿化景天植物耐热性研究

张 斌

(中国铁建房地产集团有限公司,北京 100039)

**摘 要:**景天植物已在我国居住区屋顶绿化实践中广泛应用,但品种比较单一;并且应用中发现,景天植物在高湿热的南方地区越冬困难。为了筛选出更多适合南方高湿热气候的屋顶绿化景天品种,并为今后屋顶绿化植物选择提供依据。以反曲景天、花叶垂盆草、佛甲草、银纹垂盆草、蓝叶松塔景天、中华景天、红叶景天等7种景天植物为试材,测定叶片相对含水量(RWC)、电解质渗出率、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性等指标,研究了在不同相对湿度下,高温胁迫对试验材料相应的生理生化指标的影响,以期筛选出对高温高温胁迫耐受能力较强的景天品种。结果表明:不同相对湿度下,佛甲草、银纹垂盆草、反曲景天、花叶垂盆草等4个品种在高温胁迫条件下具有较好的生长表现。

**关键词:**屋顶绿化;景天植物;高温胁迫;耐热性;相对湿度

**中图分类号:**S 681.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)07-0069-05

随着房地产市场竞争不断加剧和人们对居住环境改善的迫切需求,屋顶绿化也将逐渐成为房地产开发的

**作者简介:**张斌(1982-),男,山东淄博人,硕士,工程师,现主要从事居住区景观设计与施工及植物应用等研究工作。E-mail: qdbaidu@163.com.

**基金项目:**中国铁建股份有限公司科研资助项目(1234)。

**收稿日期:**2015-12-18

一大销售亮点。景天类植物以其耐寒、耐旱、综合抗性强等突出优势已逐渐在居住区屋顶绿化实践中广泛应用,但目前应用品种比较单一,还远不能满足居住区屋顶绿化需求。另外,在景天植物的屋顶绿化应用中发现,我国华中、华南等南方地区景天植物越冬容易,反而在夏季高湿热的环境里会出现不适应,容易出现叶片腐烂、干枯、死亡现象。为此,结合南方地区屋顶绿化环境

[8] 熊亚运,夏文通,王晶,等.基于观赏价值和种球再利用的郁金香品种综合评价与筛选[J].北京林业大学学报,2015,37(1):107-114.

[9] 武文琪,沈强,吴艳涛,等.荷兰水仙鳞茎花芽分化与开花调节[J].上

海交通大学学报(农业科学版),2007,25(5):445-450,454.

[10] 曹荣祥,高年春,张晓燕,等.欧洲水仙促成栽培温度效应的初步研究[J].江苏农业科学,2007(1):108-109.

## Comparative Study on Protected Cultivation and Open Cultivation of *Narcissus* spp.

QIU Hengjia, LIN Jing, ZHOU Yuzhen

(Suzhou Polytechnic Institute of Agriculture/The Jiangsu Provincial Platform for Conservation and Utilization of Agricultural Germplasm, Suzhou, Jiangsu 215008)

**Abstract:** Taking four varieties of *Narcissus* spp. as test material, by using the land plant in facility, potted plant and open cultivation, phenophase, the relationship between phenophase and total accumulated temperature, horticultural traits, increase of bulb perimeter and bulb number of 4 varieties of *Narcissus* spp. were analyzed. The results showed that *Narcissus* spp. planted in facility possessed the following unique characteristics, such as advance each phenophase, extend the flowering period and high rates of propagation. Significant linear relationship was proven between phenophase and total accumulated temperature under protected cultivation, and significant exponential relationship was shown under open cultivation. *Narcissus* spp. varieties had the best performance in plant height, leaf length, stem height, increase of bulb perimeter and bulb number under the land plant in facility, which compared with potted plant and open cultivation. The culture of *Narcissus* spp. under protected facility was useful to the scale producing.

**Keywords:** *Narcissus* spp.; protected cultivation; open cultivation; growth and development

特点,以不同相对湿度下耐热性为研究重点对几种景天类植物进行了生理生化测试,以期在选择适于大面积推广的屋顶绿化植物提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为景天类植物蓝叶松塔景天(*Sedum reflexum* cv.)、红叶景天(*S. spurium* 'Voodoo')、中华景天(*S. hispanicum* var. *minus*)、反曲景天(*S. reflexum*)、花叶垂盆草(*S. sarmentosum* cv.)、银纹垂盆草(*S. sarmentosum* 'Variegatum')、佛甲草(*S. lineare*),以非景天类植物银香菊(*Santolina chamaecyparissus*)为对照。

### 1.2 试验方法

高温胁迫试验在上海植物园玻璃温室中进行。选取生长一致的一年生健壮植株各数株,定植于直径 12 cm 的塑料盆中,所用基质相同。植株恢复生长 3 个月后进行一次性浇足水,将植株分 2 批分别放置于光照培养箱里,箱内相对湿度保持在 40% 和 80%,分别在 30(对照)、35、40、45℃ 条件下进行连续培养,每个水平处理 3 d。第 3 天取样进行叶片相对含水量(RWC)、电解质渗出率、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)活性等指标的测定,设 3 次重复。提高温度时缓冲时间为 1 d,提高温度同时浇水,每种植物保持相同的浇水量。

### 1.3 项目测定

1.3.1 叶片相对含水量(RWC)测定 采用饱和称重法<sup>[1]</sup>,取苗木上部成叶迅速称其鲜重,在 105℃ 温度下杀青,在 85℃ 烘干至恒重,按照戴新宾等<sup>[2]</sup>的方法计算 RWC。

1.3.2 电解质渗出率测定 将叶片混匀,剪成统一长度,混匀后各称 0.2 g 置于试管内,加 15 mL 去离子水,抽真空 10 min,静置 1 h,用 DDS-307 型电导仪测定初电

导值,然后将样品放入沸水浴 10 min,静置到室温,测定终电导值。用相对电导率表示质膜透性。

1.3.3 过氧化氢酶(CAT)活性测定 采用紫外吸收法<sup>[3]</sup>,单位以  $U \cdot g^{-1}FW \cdot min^{-1}$  表示。

1.3.4 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定 采用氮蓝四唑(NBT)法<sup>[3]</sup>,SOD 活性单位以抑制 NBT 光化还原反应的 50% 为 1 个酶活性单位(U)表示。而 SOD 活性以每克样品鲜质量的酶单位表示(U/g)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同相对湿度下高温胁迫对不同植物叶片相对含水量(RWC)的影响

由图 1 可知,在 40% 和 80% 2 个相对湿度的高温胁迫下,各供试植物的叶片相对含水量存在不同程度地变化,随着胁迫的增加各植物的相对含水量出现不同程度的下降现象。

在湿度 40% 比较干燥条件下的处理中,30℃ 时各植物均生长正常,除非景天类植物银香菊(对照)和红叶景天的相对含水量较低外,其它景天都在 90% 以上;35℃ 时,非景天类银香菊下降比较明显达 11.5%。景天类表现比较明显的有红叶景天和中华景天,分别降 4.8% 和 5.9%,而其它景天下降不明显,降幅均为 0.1%~2.0%;40℃ 时,同样也是红叶景天、中华景天和银香菊的降幅较大,为 9.0%、7.6% 和 7.2%。另外,蓝叶松塔景天 40℃ 下降也较显著达 4.9%;45℃ 时,红叶景天、中华景天和对照迅速下降 10.3%~21.6%,花叶垂盆草和蓝叶松塔景天分别下降 5.2%、4.1%。以上对 RWC 的分析结果表明,40% 湿度条件下各植物的耐湿热顺序从大到小依次应为:佛甲草>银纹垂盆草>反曲景天>花叶垂盆草>蓝叶松塔景天>中华景天>红叶景天>银香菊。

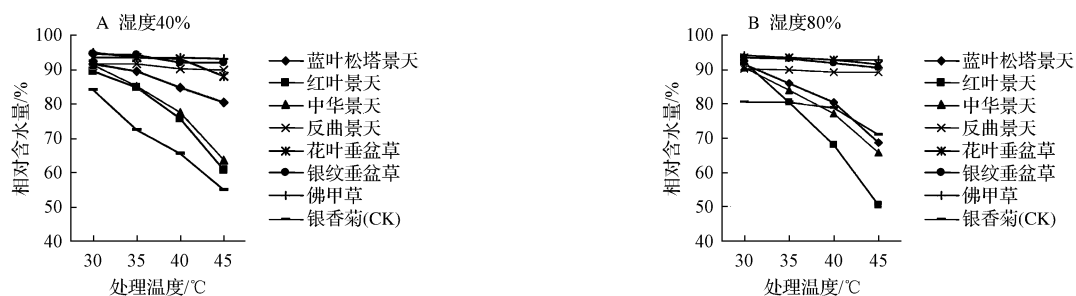


图 1 不同相对湿度下高温胁迫对相对含水量的影响

Fig. 1 The effect of high temperature stress on relative water content under different relative humidity

在 80% 高湿条件下的高温处理中,整个温度处理过程中,与湿度 40% 的变化类似,仍以红叶景天、中华景天和蓝叶松塔景天的各阶段降幅较大,35℃ 时,RWC 降幅分别为 11.8%、6.8%、5.7%,40℃ 时为 12.6%、6.9%、5.7%,45℃ 时为 17.5%、11.4%、11.5%,而其它景天类

植物 RWC 均下降平缓,降幅为 0.05%~1.50%,表明它们自身对湿热的不敏感性,抗湿热能力强;而与湿度 40% 相比,变化最明显的为对照银香菊,其相对含水量下降趋于平缓,表明其对湿热的不敏感性。其 RWC 由 30℃ 时的 84.6% 降为 45℃ 时的 71.0%。红叶景天 RWC

降幅最高,由 92.3%下降为 50.5%。以上对 RWC 的分析结果表明,湿度 80%条件下各植物的耐湿热顺序从大到小依次应为:反曲景天>佛甲草>花叶垂盆草>银纹垂盆草>银香菊>蓝叶松塔景天>中华景天>红叶景天。

## 2.2 不同相对湿度下高温胁迫对不同植物电解质渗出率的影响

图 2 表明,各测试植物电解质渗出率随胁迫程度的增加呈上升趋势。在湿度 40%条件下,35℃时电解质渗出率变化较平缓,升幅为 10%~30%,说明各测试植物

基本能够适应;在 40℃时,红叶景天、中华景天、花叶垂盆草和蓝叶松塔景天的电解质渗出率上升加快,分别增加 48.4%、41.7%、41.3%和 32.3%,此时对照银香菊的变化为 29.9%;而在温度上升到 45℃时,各测试植物均变化明显,对照银香菊的电解质渗出率飞速上升,升幅达 120.8%,红叶景天、中华景天和蓝叶松塔景天的电解质渗出率也上升迅速,分别上升 117.7%、97.1%和 92.5%,而此时佛甲草、银纹垂盆草、反曲景天和花叶垂盆草均表现出对高温良好的耐受性,升幅为 20%~55%。

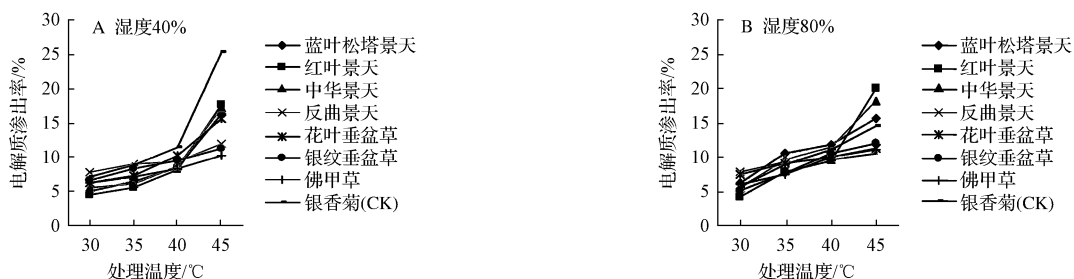


图 2 不同相对湿度下高温胁迫对电解质渗出率的影响

Fig. 2 The effect of high temperature stress on electrolyte leakage rate under different relative humidity

在湿度 80%的高温高湿的条件下,35℃时电解质渗出率的变化较湿度 40%相对干燥情况相比,上升要更加迅速,升幅为 20%~80%,说明各测试景天植物对高温高湿环境的更难适应性;在 40℃时,电解质渗出率变化趋于平缓;在温度上升到 45℃时,各测试植物均变化明显,对照银香菊的电解质渗出率没有表现出像 40%湿度时的飞速上升,升幅仅为 32.1%,说明非景天类植物对湿热环境具有较好的适应性。而对于景天类植物来说对湿热环境的适应性较差,在 45℃时表现出不同程度的耐受性,其中红叶景天、中华景天和蓝叶松塔景天的电解质渗出率上升迅速,分别上升 112.8%、57.6%和 33.0%,此时佛甲草、银纹垂盆草、反曲景天和花叶垂盆草均表现出良好的耐受性,升幅为 8%~15%。

## 2.3 不同相对湿度下高温胁迫对不同植物过氧化氢酶(CAT)活性的影响

由图 3 可知,CAT 活性的最大值出现在不同的

高温胁迫时期,一类是在 35℃之前是上升,之后则表现为下降。它们是银香菊、红叶景天、中华景天和蓝叶松塔景天,在 30~35℃期间,各植物的 CAT 活性呈缓慢上升趋势;在 35~40℃期间,变化比较明显下降幅度最大的是红叶景天,下降了 75.8%,中华景天、蓝叶松塔景天和银香菊分别下降了 68.6%、67.6%和 31.4%,另一类是在 35℃之后仍然继续上升,40℃时 CAT 活性达到最大值,之后在 40~45℃期间,各植物的 CAT 活性开始下降,不过降幅明显不同,这类有花叶垂盆草和反曲景天。还有佛甲草和银纹垂盆草在 45℃时仍有小幅上升,尚未达到最大值,上升了 9.3%和 1.5%。说明佛甲草和银纹垂盆草耐热程度很强,当再继续受到湿热的胁迫加重,还可通过酶促防御系统减轻膜脂过氧化,以保持膜系统的稳定性。

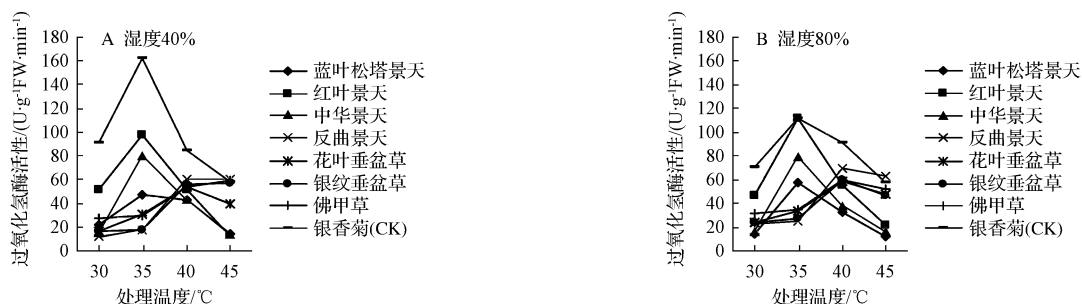


图 3 不同相对湿度下高温胁迫对过氧化氢酶(CAT)活性的影响

Fig. 3 The effect of high temperature stress on CAT activity under different relative humidity

在湿度 80% 的高温高湿胁迫下,与湿度 40% 的干燥条件下的高温胁迫相比,植物的反应是有差异的。其中银香菊、红叶景天、中华景天和蓝叶松塔景天的 CAT 活性仍然是在上升到 35℃ 时达到最大值,之后在 40~45℃ 期间呈下降趋势,分别下降 20.4%、55.8%、40.8% 和 25.0%。而银香菊则表现对湿热的更好的适应性,CAT 活性变化幅度由湿度 40% 时  $77.5 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$  个酶单位减小到  $10.5 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。红叶景天、中华景天和蓝叶松塔景天的 CAT 活性对湿热的反应更加

敏感,变化幅度均有一定增加,说明它们对湿热的不适应性。花叶垂盆草、反曲景天、佛甲草和银纹垂盆草波动不大,说明它们对湿热的反应不敏感。

## 2.4 不同相对湿度下高温胁迫对不同植物超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

由图 4 可知,湿热胁迫处理过程中,供试植物体内的 SOD 活性变化整体呈下降趋势,并呈现出一定的波动性。

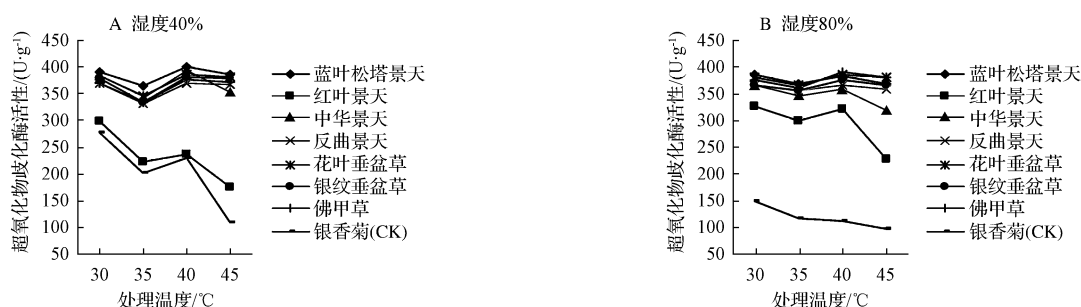


图 4 不同相对湿度下高温胁迫对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

Fig. 4 The effect of high temperature stress on SOD activity under different relative humidity

湿度 40% 处理下,35℃ 时对照银香菊和红叶景天 SOD 活性下降最快,分别下降了 76.8% 和 74.6%,之后 40℃ 时 SOD 活性有所回升,随着温度升高到 45℃ 时,各植物 SOD 活性继续下降,仍然是对照银香菊和红叶景天 SOD 活性下降最多,降了 122.0% 和 60.0%,另外中华景天、蓝叶松塔景天的 SOD 活性下降也较大,而其余佛甲草、银纹垂盆草、反曲景天、花叶垂盆草等景天下降均为 2.3%~4.5%,说明它们在湿度 40% 下具有明显的强耐热性。

湿度 80% 处理下,处理初期 35℃ 时较湿度 40% 时下降较为平缓,以红叶景天 SOD 活性下降最快为 27.1%;之后除对照银香菊持续缓慢降低外,所有景天类植物变化趋势与前者类似,40℃ 时先有所回升之后下降;45℃ 时红叶景天和中华景天 SOD 活性的降幅较大为 93.8%、40.7%,反曲景天、佛甲草、银纹垂盆草、花叶垂盆草下降仅为 6.8%~10.2%,表现出较强的耐湿热性。而对照银香菊与湿度 40% 时相比表现出较好的耐热性,仅降 12.6%。

所测定的 8 种植物中,与对照银香菊相比 2 种湿度下变化的差异比较明显,湿度 40% 时 SOD 活性变化范围主要为 100~300 U/g,而在湿度 80% 下 SOD 活性变化范围则主要为 100~150 U/g,表明高湿度条件能够提高非景天类植物对高温胁迫的耐受性。

## 3 讨论与结论

通常来说,叶片细胞含水量高,耐热性差,但是肉质植物例外,其含水量高,耐热性却很强。这与其原生质

的粘性和束缚水含量有关,因为原生质粘性大,即束缚水含量高,自由水含量低,蛋白质分子就不易变性,耐热性强。但是,如果在湿度较大的环境里,景天类植物也会出现不适应,因为叶片本身含水量高,周围环境湿度大,容易出现叶片失水腐烂干枯,正如该试验里红叶景天出现干枯,而中华景天、蓝叶松塔景天则出现腐烂现象,表现对湿热环境的不适应。

LEVITT<sup>[4]</sup>指出,不同环境胁迫作用于植物时,都能对植物造成伤害,植物会出现脱水现象。高温可以通过强烈的蒸腾作用使植物因缺水而受害。相对含水量(RWC)是反映植物水分状况的参数,逆境中植物叶片相对含水量的大小,可以部分反映植物抗热性的能力。

叶片电导率大小是常用的衡量植物在遭受温度胁迫时受害程度的生理指标,方法简便且结果准确<sup>[5]</sup>。高温胁迫引起的植物体细胞的受害症状反映在多个方面,包括膜脂组成的改变、蛋白质的变性以及内质网高尔基体、线粒体等内膜系统的损伤<sup>[6]</sup>。细胞膜完整性丢失是受到的主要伤害之一,这种伤害直接导致细胞渗透性增加和电解质的泄漏,结果表现在可直接测量的相对电导率的增加上<sup>[7]</sup>。质膜是活细胞与环境之间的界面与屏障,各种不良环境因素对细胞的影响往往首先作用于质膜,影响其结构和功能,表现为透性变大。关于高温引起的细胞膜透性的增加已有相对较多的报道<sup>[8]</sup>,一致认为耐热性强的种或品种在高温处理后细胞外渗液的电导率较低。分析认为,电解质渗出率测定代表植物细胞膜的热稳定性<sup>[9]</sup>。

高温胁迫引起的膜脂过氧化过程中氧自由基、 $\text{H}_2\text{O}_2$



等有毒物质的产生速度与保护酶系统在高温下的活性共同决定着植物的耐热性<sup>[10]</sup>。植物酶促防御系统可以减轻膜脂过氧化程度,保持膜系统的稳定性。许多研究表明 CAT 的活性与植物抗逆性有关系,在适度逆境诱导下 CAT 活性增加以提高植物适应力。在强度的胁迫试验中,酶活性一般随胁迫增加而增加,或者是先增加后降低的基本势态。该研究表明,2 种基本势态景天属植物种都有表现。在一定高温胁迫范围内,通过酶活性增加,提高适应高温胁迫的能力。但是当胁迫超出了其忍耐范围,保护酶不但不再增加,反而下降,说明不同景天忍耐高温胁迫的能力是有限的。高温胁迫可诱导活性氧清除酶系统 CAT 活性下降,植株体内保护酶系统趋于衰弱或崩溃,衰老速度加快。高温高湿条件下 CAT 活性基本呈下降趋势,这与郭天财等<sup>[11]</sup>、郑飞等<sup>[12]</sup>的观点基本一致。

有研究指出,植物酶促防御系统,如超氧化物歧化酶 SOD 等具有清除自由基的能力,是植物耐热生理基础之一<sup>[13]</sup>。该研究结果表明,高温胁迫后无论是耐热或不耐热品种 SOD 活性均下降,但耐热材料的下降幅度小于非耐热材料,这与陈火英等<sup>[14]</sup>、彭永宏<sup>[15]</sup>的观点一致。

综上所述,供试景天类植物叶片相对含水量、膜透性及 CAT、SOD 活性的变化规律基本一致,供试品种的不同相对湿度下耐热性由强到弱顺序如下:在湿度 40% 条件下,佛甲草>银纹垂盆草>反曲景天>花叶垂盆草>蓝叶松塔景天>中华景天>红叶景天>银香菊。在湿度 80% 条件下,反曲景天>佛甲草>花叶垂盆草>银纹垂盆草>银香菊>蓝叶松塔景天>中华景天>红叶景天,这与植物外观形态的观察结果相符。

结果表明佛甲草、银纹垂盆草、反曲景天、花叶垂盆草 4 个品种与其它供试品种相比在不同相对湿度下具

有较强的耐热能力,可供我国南方地区居住区屋顶绿化选择应用。

### 参考文献

- [1] 林植芳,詹姆士·阿勒林格, EHLERINGER R. 光、温度、水气压和 CO<sub>2</sub> 对番木瓜光合作用的影响[J]. 植物生理学报, 1982, 8(4): 363-372.
- [2] 戴新宾,翟虎渠,张红生,等. 土壤干旱对水稻叶片光合速率和碳酸酐酶活性的影响[J]. 植物生理学报, 2000, 26(2): 133-135.
- [3] 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.
- [4] LEVITT A D. Response of plant to environmental stresses[M]. New York: Academic Press, 1990.
- [5] MARTINEAN J R, SPECHT J E. Temperature tolerance in soybean[J]. Crops Science, 1979(19): 75-81.
- [6] CIAMPOROVA M, MISTRIK I. The ultra strural response of root cells to stressful condition[J]. Environmental and Experimental Botany, 1993, 33: 11-26.
- [7] LIN C Y, CHEN Y M, KEY J L. Solute leakage in soybean seedlings under various heat shock regimes[J]. Plant Cell Physiology, 1985(26): 1493-1498.
- [8] 陈才夫,梁祖铎,王槐三. 多年生黑麦草对高温、干旱的生理反应[J]. 南京农业大学学报, 1988, 11(2): 87-92.
- [9] 马赛尔 H, 斯特普尔斯 R C. 作物抗性生理学[M]. 张永平, 译. 北京: 科学出版社, 1985: 148-158.
- [10] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [11] 郭天财, 王晨阳. 后期高温对冬小麦根系及地上部衰老的影响[J]. 作物学报, 1998(24): 957-962.
- [12] 郑飞, 何钟佩. 高温胁迫对冬小麦灌浆期物质运输与分配的影响[J]. 中国农业大学学报, 1999(4): 73-76.
- [13] 陈少裕. 膜脂过氧化与植物逆境胁迫[J]. 植物学通报, 1989, 6(4): 211-217.
- [14] 陈火英, 张建华, 汪隆植. 萝卜幼苗耐热性与过氧化物酶和超氧化物歧化酶关系的研究[J]. 上海农学院学报, 1990, 8(4): 265-269.
- [15] 彭永宏. 猕猴桃叶片耐热性指标研究[J]. 武汉植物学研究, 1995(30): 70-74.

## Study on the Heat Resistance of Several Roof Greening Sedum Plants Growing in Different Relative Humidity

ZHANG Bin

(China Railway Construction Real Estate Group Co. Ltd., Beijing 100039)

**Abstract:** *Sedum* has been widely applied in Chinese residence roof greening practice, but the categories of *Sedum* is single, moreover, in practice, it is hard for *Sedum* to live through summer in high humid south area. To select more roof greening *Sedum* which could live in high humid south area and provided foundation for the future selection of roof greening *Sedum*. In contrast of *Santolina chamaecyparissus*, taking the seven *Sedum* plants of *Sedum reflexum*, *S. sarmentosum* cv, *S. lineare*, *S. sarmentosum* 'Variegatum', *S. reflexum* cv, *S. hispanicum* var. *minus* and *S. spurium* 'Voodoo' as test materials, using the index determination method of RWC, electrolyte leakage rate, CAT activity and SOD activity, it was researched on high temperature stress efforts on the relative physiological and biochemical indexes of the test materials, under the condition of different relative humidity, in order to find special *Sedum* who had strong capability to tolerate the high temperature stress.

**Keywords:** roof greening; *Sedum*; high temperature stress; heat resistance; relative humidity