

水杨酸对高温胁迫下一串红耐热性的影响

龚仲幸¹, 何勇², 朱祝军²

(1. 杭州职业技术学院 临江学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江农林大学 农业与食品科学学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为提高一串红 *Salvia splendens* 的耐高温性, 研究了在高温胁迫下(39 °C/30 °C, 昼/夜), 喷施外源水杨酸对‘航天5号’‘Hangtian No. 5’和‘展望’‘Zhanwang’的热害指数、叶片相对电解质率、抗氧化酶和叶绿素荧光参数的影响。结果表明: 处理6 d时, 喷施0.01 mol·L⁻¹水杨酸后‘航天5号’热害指数较喷施清水降低了27.9%, ‘展望’热害指数降低了19.7%。水杨酸喷施显著降低了相对电解质渗透率($P < 0.05$), 提高了叶片抗坏血酸过氧化物酶(APX), 过氧化物酶(CAT)的活性和可溶性蛋白质的质量分数, 降低超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(POD)的活性。明显缓解了高温胁迫下2个品种光系统II原初光能转换效率(F_v/F_m)的下降。这种趋势在耐热性较弱的‘航天5号’中表现得更为明显。这些结果表明: 水杨酸提高一串红的耐热性可能是由于提高了抗氧化酶活性, 减少了氧化伤害, 缓解了对光系统II(PSII)的伤害。图8参20

关键词: 植物生理学; 一串红; 高温胁迫; 水杨酸; 抗性

中图分类号: S681.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2015)05-0701-07

Heat resistance of *Salvia splendens* with salicylic acid added and high temperature stress

GONG Zhongxing¹, HE Yong², ZHU Zhujun²

(1. Linjiang College, Hangzhou Vocational and Technical College, Hangzhou 310018, Zhejiang, China; 2. School of Agriculture and Food Science, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To increase heat resistance with *Salvia splendens*, one of the most important bedding plants in south China where high summer temperatures decrease its growth, this study measured the effects of high temperature (39 °C day/30 °C night) on heat damage indexes, relative electric conductivity (REC), antioxidant enzyme activities, and chlorophyll fluorescence parameters in two cultivars of *Salvia splendens*: ‘Hangtian No. 5’ and ‘Zhanwang’. The experimental design consisted of a control (25 °C, day and night) and three treatments (high temperature, 0.01 mol·L⁻¹ SA spraying, combination of high temperature and SA spraying) was arranged in a randomized, complete block design with 3 replicates, giving a total of 48 plants, and statistical assays were carried out by analysis of variance (ANOVA) using SAS software. Results showed that by the 6th day compared to control plants, spraying with SA significantly ($P < 0.05$) decreased the heat index in ‘Hangtian No. 5’ and ‘Zhanwang’. Also with high temperature stress, SA significantly decreased ($P < 0.05$) leaf relative electrolyte leakage increases for both cultivars. Furthermore, SA increased ($P < 0.05$) ascorbate peroxidase (APX) and catalase (CAT) activities as well as soluble protein content more in the heat sensitive cultivar ‘Hangtian NO. 5’ than ‘Zhanwang’. In addition, SA treatment along with high temperature stress significantly ($P < 0.05$) decreased superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activities and increased maximum efficiency of

收稿日期: 2014-12-27; 修回日期: 2015-04-13

基金项目: 浙江省高等学校国内访问学者项目(2014-0267)

作者简介: 龚仲幸, 副教授, 从事花卉栽培与应用研究。E-mail: 526435688@qq.com。通信作者: 朱祝军, 教授, 博士, 从事设施园艺学研究。E-mail: Zhuzj@zafu.edu.cn

Photosystem II (F_v/F_m) in both cultivars. These results indicated that the increase in heat tolerance using SA could be related to the enhancement of antioxidant enzyme activity and the decrease of oxidative damage and photo-damage of PS II with high temperature. [Ch, 8 fig. 20 ref.]

Key words: plant physiology; *Salvia splendens*; heat resistance; salicylic acid; resistance

一串红 *Salvia splendens* 为唇形科 Lamiaceae 多年生草本植物, 花红色, 色彩鲜艳, 是中国主要的花坛花卉之一。一串红原产南美, 生长适温为 20~25 °C。中国华东南地区夏季气温较高, 通常会在 30 °C 以上, 会严重影响一串红的生长、发育和观赏性^[1], 因此, 采用适当的措施提高一串红的抗热性, 具有重要的理论意义和实践价值。水杨酸 (SA) 是一种植物可自身合成的类似于植物激素的酚类化合物。研究表明: 水杨酸具有许多重要的生理功能, 如介导植物的抗病性^[2], 提高植物对低温、盐胁迫和重金属等非生物胁迫的抗性等^[3-8]。近年来也有研究发现, 外源水杨酸能提高百日草 *Zinnia elegans* 的耐热性^[5]。高温胁迫对一串红生长和抗氧化系统的影响已有报道^[9-10]。水杨酸对一串红的耐热性有何影响, 其生理机制如何, 目前还未见报道。本试验以 2 个不同耐热性的一串红品种 ‘航天 5 号’ *S. splendens* ‘Hangtian No.5’ 和 ‘展望’ *S. splendens* ‘Zhanwang’ 为材料, 研究在高温胁迫下喷施外源水杨酸对它们的活性氧代谢和叶绿素荧光参数的影响, 探讨水杨酸提高一串红耐热性的生理机制。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与处理

试验于 2014 年 8-10 月在杭州职业技术学院园艺技术实训基地进行。供试品种为耐热性不同的 ‘航天 5 号’ 和 ‘展望’。‘航天 5 号’ 种子由萧山绿茵园林花卉有限公司提供, ‘展望’ 种子采购自浙江虹越花卉有限公司。种子经发芽、定植, 1 次摘心后, 在 12 cm × 13 cm 营养钵中培养至具有 10-14 片真叶时, 分别置于光照培养箱中进行处理, 对照温度为 25 °C, 高温处理温度为 39 °C / 30 °C (昼/夜), 光照强度为 120 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 各个温度处理均设置喷清水和 0.01 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的水杨酸 (经前期水杨酸浓度试验得出), 培养箱内相对湿度保持在 70%~80%。分别在高温胁迫前和胁迫后 2, 4, 6 d 后及恢复 2 d 后进行测定或取样。重复 4 次·处理⁻¹。

1.2 热害症状统计与分析

按照贾开志等^[11]的方法对热害症状进行分级。根据各处理植株的热害级数, 计算热害指数。热害指数 = $\Sigma(\text{各级株数}\times\text{级数})/(\text{最高级数}\times\text{总株数})$ 。

1.3 叶片电解质渗透率测定

参照朱祝军等^[12]的方法。选择成熟、部位一致的叶片用打孔器打孔后称取 0.1 g 进行测定。打孔时避免叶脉部位。

1.4 抗氧化酶活性测定

参照朱祝军等^[12]的方法提取酶液, 所有操作在 4 °C 条件下进行。超氧化物酶 (SOD) 和过氧化氢酶 (CAT) 活性测定参照李合生等^[13]的方法; 过氧化物酶 (POD), 抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性和可溶性蛋白质质量分数采用李忠光等^[14]的方法进行。

1.5 叶绿素荧光参数测定

叶绿素荧光参数采用便携调制式荧光仪 (PAM2500, 德国 Walz) 进行, 叶片暗处理时间 20 min, 参照 Genty 等^[15]方法进行计算。于处理前、处理后 4 d 及恢复后 2 d 测定叶片 F_v/F_m 。重复 3 次·处理⁻¹。

2 结果与分析

2.1 水杨酸对高温胁迫下一串红热害指数影响

由图 1 可知: 随着高温处理时间的延长, 2 个品种的热害指数均呈现增加的趋势, 处理第 6 天时, ‘航天 5 号’ 热害指数较第 2 天时增加了 108.3%, 水杨酸处理降低了 ‘航天 5 号’ 的热害指数, 较第 2 天仅增加了 50.0%。与 ‘航天 5 号’ 相比, ‘展望’ 的热害指数增加幅度较小, 高温胁迫下, 较对照第 2 天增加了 67.0%。水杨酸处理后, 热害指数显著降低 ($P < 0.05$), 降低幅度小于 ‘航天 5 号’。

2.2 水杨酸对高温胁迫下一串红叶片相对电解质渗透率的影响

随着高温处理时间的延长，2 个品种的相对电解质率呈增加趋势(图 2)。*‘航天 5 号’* 在高温胁迫第 4 天和第 6 天时，相对电解质渗透率分别较对照提高了 278.1% 和 388.1%。水杨酸处理后，叶片相对电解质渗透率显著降低($P < 0.05$)，在第 4 天和第 6 天，相对电解质渗透率比对照分别高出 32.5% 和 54.0%。25 °C 条件下，喷水杨酸的叶片电解质率与对照无显著影响($P > 0.05$)。对 *‘展望’* 而言，高温胁迫第 4 天和第 6 天时叶片相对电解质渗透率较对照分别增加了 17.0% 和 73.3%，水杨酸处理后，较对照分别提高了 10.4% 和 53.3% ($P > 0.05$)。

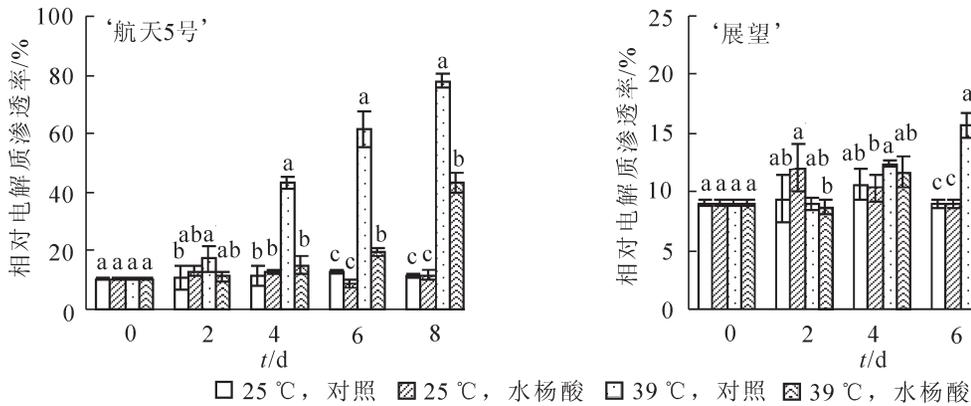


图 2 水杨酸对高温胁迫下一串红叶片相对电解质率的影响

Figure 2 Effects of SA on relative electric conductivity of *Salvia splendens* under heat stress

2.3 水杨酸对高温胁迫下一串红超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

在正常温度条件下，外源水杨酸对叶片超氧化物歧化酶活性无明显影响。随着高温胁迫时间的延长，*‘航天 5 号’* 超氧化物歧化酶活性呈下降趋势(图 3)。在高温胁迫第 4 天和第 6 天时分别较对照下降了 11.2% 和 41.0%，水杨酸处理显著提高了高温胁迫下的超氧化物歧化酶活性($P < 0.05$)，其活性在第 4 天时较对照上升 8.5%，第 6 天时较对照仅下降了 18.3%。对 *‘展望’* 而言，超氧化物歧化酶活性变化趋势是先上升后下降。在处理第 2 天时，水杨酸显著降低了超氧化物歧化酶活性($P < 0.05$)，此后，超

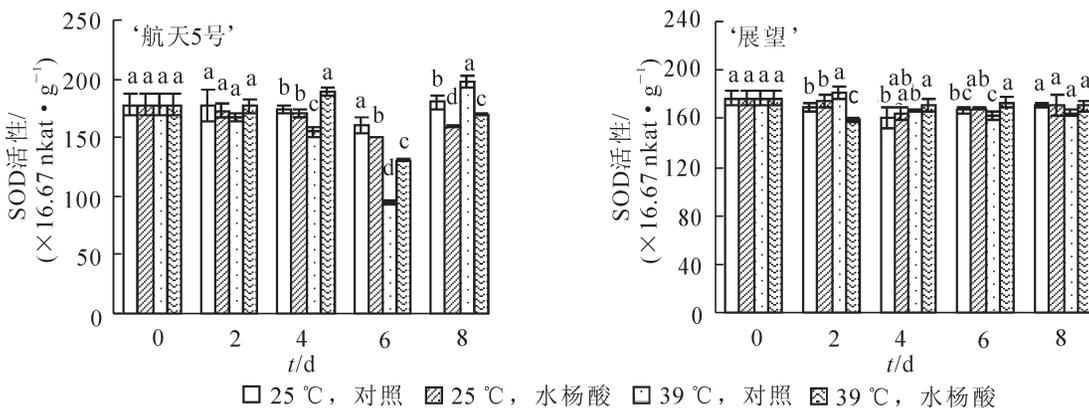


图 3 水杨酸对高温胁迫下一串红叶片超氧化物歧化酶活性的影响

Figure 3 Effects of SA on relative superoxide dismutase of *Salvia splendens* under heat stress

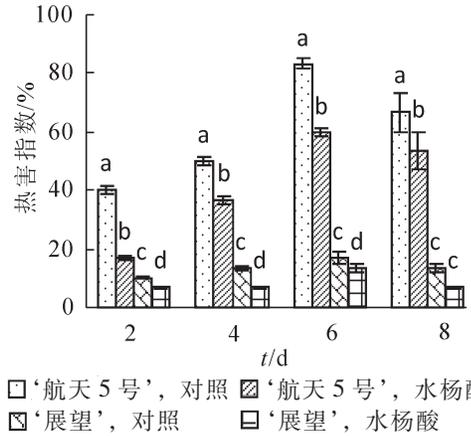


图 1 外源水杨酸对高温胁迫下一串红热害指数影响
Figure 1 Effects of exogenous salicylic acid (SA) on index of heat damage of *Salvia splendens* under heat stress

氧化物歧化酶活性增加,与对照无显著差异($P>0.05$)。

2.4 水杨酸对高温胁迫下一串红过氧化物酶(POD)活性影响

在正常温度条件下,外源水杨酸对叶片过氧化物酶(POD)活性无明显影响(图4)。在高温胁迫下,随着处理时间的延长,2个品种过氧化物酶活性均持续呈上升趋势。‘航天5号’响应较为迅速,在处理第2天、第4天和第6天时,过氧化物酶活性分别较对照增加了52.8%,20.7%和21.8%。‘展望’在第4天和第6天分别比对照增加了46.5%和52.0%。水杨酸处理降低了过氧化物酶活性,处理第4天时,水杨酸处理组2个品种的过氧化物酶活性均显著低于高温处理组叶片过氧化物酶活性($P<0.05$)。

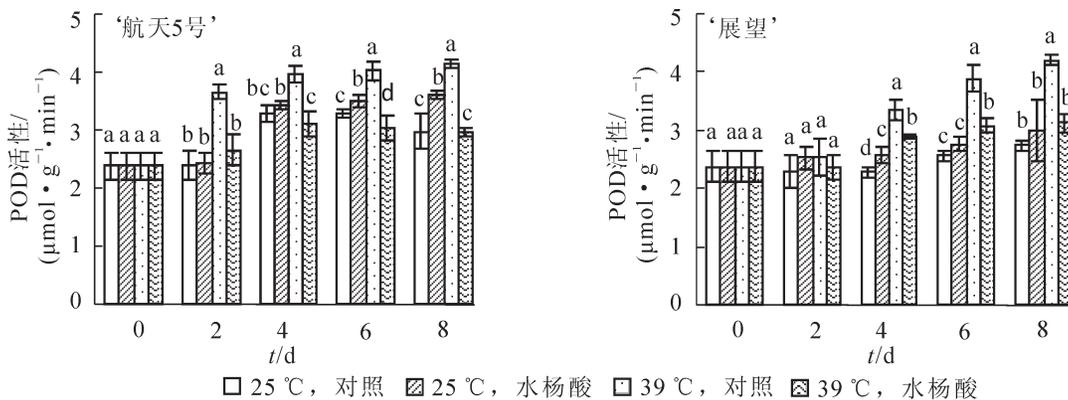


图4 水杨酸对高温胁迫下一串红叶片过氧化物酶活性的影响

Figure 4 Effects of SA on relative peroxidase of *Salvia splendens* under heat stress

2.5 水杨酸对高温胁迫下一串红抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性影响

在高温胁迫下,随着处理时间的延长,抗坏血酸过氧化物酶活性呈现先增加后降低的趋势。在处理第4天时,‘航天5号’抗坏血酸过氧化物酶活性显著高于对照($P<0.05$)。处理第2天时,‘展望’抗坏血酸过氧化物酶活性高于对照。水杨酸处理显著提高了高温胁迫下2个品种抗坏血酸过氧化物酶活性。对‘航天5号’而言,在第2天、第4天和第6天时,抗坏血酸过氧化物酶活性分别较对照增加了4.6%,4.6%和12.8%;对‘展望’而言,在第2天、第4天和第6天时,抗坏血酸过氧化物酶活性分别较对照增加了39.2%,24.5%和31.9%(图5)。

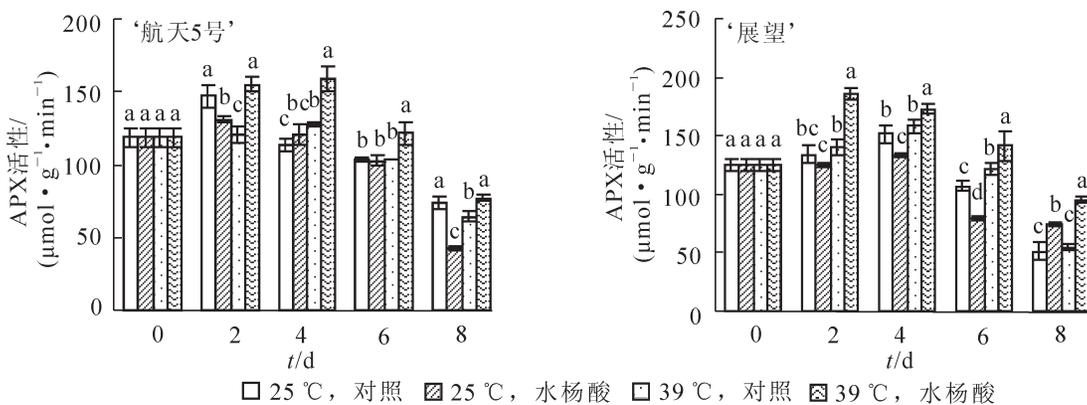


图5 水杨酸对高温胁迫下一串红叶片抗坏血酸过氧化物酶活性的影响

Figure 5 Effects of SA on relative ascorbate peroxidase of *Salvia splendens* under heat stress

2.6 水杨酸对高温胁迫下一串红可溶性蛋白质质量分数的影响

在正常温度条件下,水杨酸对叶片可溶性蛋白质质量分数无明显影响。随着高温胁迫时间的延长,可溶性蛋白质质量分数呈现先下降再上升的趋势(图6)。‘航天5号’蛋白质质量分数在处理第2天和第4天时显著低于对照($P<0.05$),分别下降了25.7%和11.4%,‘展望’可溶性蛋白质质量分数在高温处理第2天、第4天和第6天时,分别下降了38.7%,21.4%和22.7%。水杨酸处理后,‘航天5号’在第4天时可溶性蛋白质质量分数增加了5.2%,‘展望’在第4天和第6天时,分别增加了4.9%和11.8%。

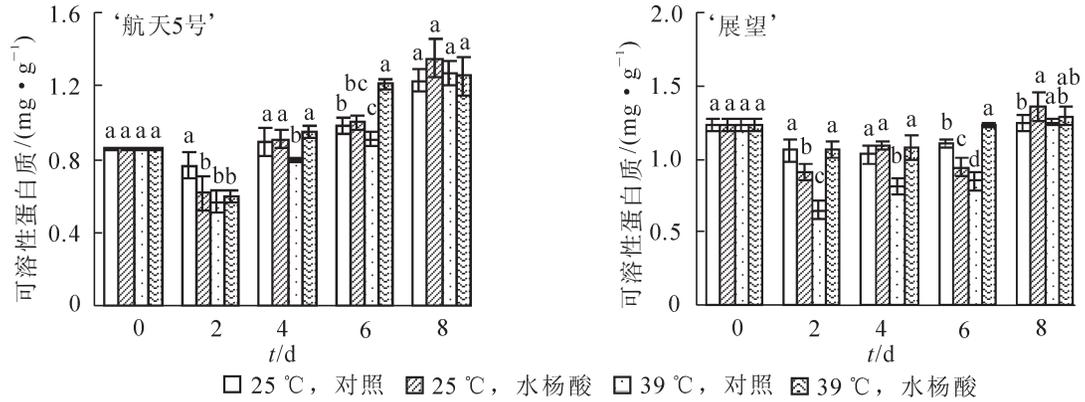


图 6 水杨酸对高温胁迫下一串红叶片可溶性蛋白质的影响

Figure 6 Effects of SA on relative soluble protein of *Salvia splendens* under heat stress

2.7 水杨酸对高温胁迫下一串红过氧化氢酶(CAT)活性影响

随着高温胁迫时间的延长，过氧化氢酶(CAT)活性呈现下降趋势(图7)。“航天5号”在第2天、第4天和第6天时，过氧化氢酶活性显著降低($P < 0.05$)，分别较对照降低了25.8%，26.8%和32.9%。“展望”过氧化氢酶活性分别较对照降低了19.8%，19.2%和13.6%。水杨酸处理显著增加了高温胁迫下的过氧化氢酶活性，在处理第2天和第4天时，“航天5号”分别比对照增加了27.0%和16.1%，“展望”较对照增加了30.3%和33.9%。

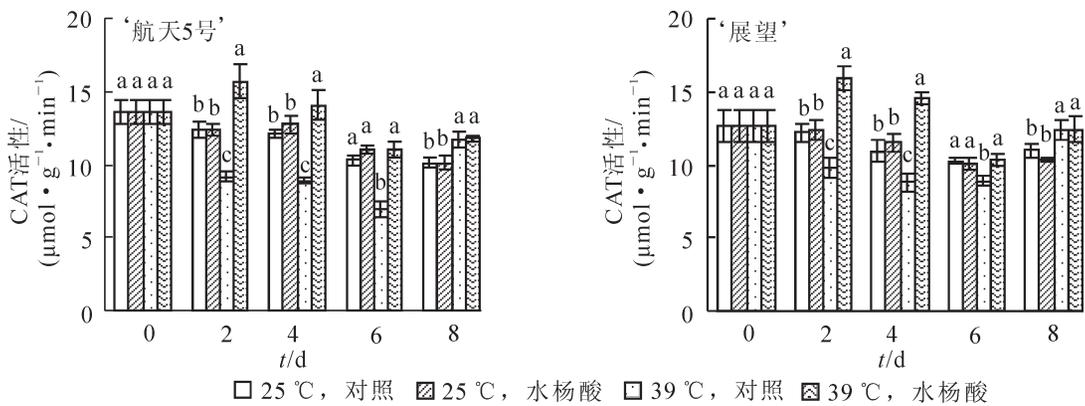


图 7 水杨酸对高温胁迫下一串红叶片过氧化氢酶活性的影响

Figure 7 Effects of SA on relative catalase of *Salvia splendens* under heat stress

2.8 水杨酸对高温胁迫下一串红品种的光系统Ⅱ原初光能转化效率(F_v/F_m)影响

由图8可知：在正常温度条件下，水杨酸对叶片的 F_v/F_m 无明显影响。高温处理后， F_v/F_m 明显下

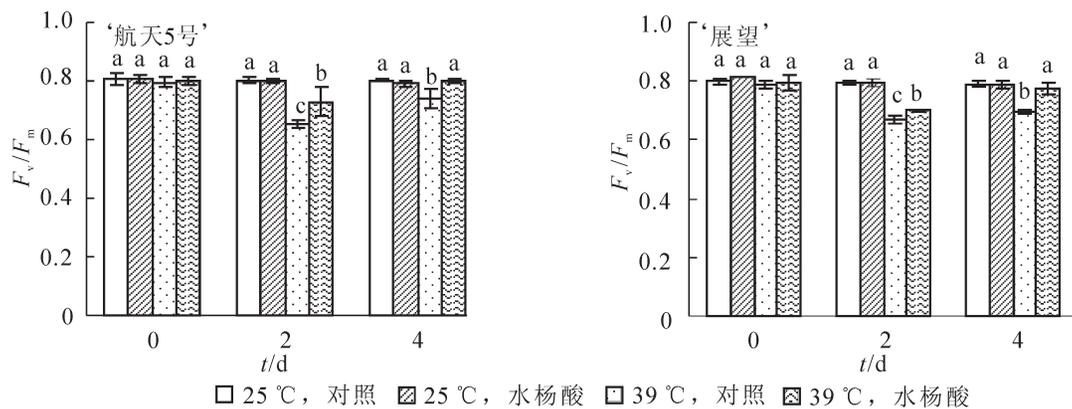


图 8 水杨酸对高温胁迫下一串红叶片 F_v/F_m 的影响

Figure 8 Effects of SA on relative F_v/F_m of *Salvia splendens* under heat stress

降。在处理4 d时‘航天5号’ F_v/F_m 下降了18.7%，‘展望’下降了15.7%。通过水杨酸处理，下降幅度大大降低，‘航天5号’仅比对照对比下降了9.1%，‘展望’比对照下降了11.9%。

3 讨论

一串红起源于南美热带地区，但过高的温度会造成伤害。与此前的研究一样，高温处理后一串红出现黄化、萎蔫等热害症状，2个品种的热害指数均明显上升，严重影响了其生长和观赏性。喷施水杨酸后，2个品种的热害指数均明显降低。这说明水杨酸能缓解高温对一串红的伤害，这与黄瓜 *Cucumis sativus*^[8,16]和蕃茄 *Lycopersicon esculentum*^[17]等作物中的研究结果相一致。

高温胁迫会造成植物叶片细胞膜的氧化伤害和膜的透性增加，从而表现为叶片相对电解质渗透率的增加^[13]。本研究也发现，随着处理时间的延长，2个一串红品种叶片相对电解率渗透率也明显上升，耐高温性强的‘展望’上升幅度较小，这与观察到的热害指数变化相一致。喷施水杨酸后，相对电解质渗透率显著低于喷施清水处理，这说明外源水杨酸能减少高温胁迫引起的细胞膜伤害，这与在番茄^[17]、玉米 *Zea mays*^[19]等作物中的研究结果相一致。进一步分析表明，相对电解质渗透率与热害指数呈显著正相关($r=0.826$)。

高温引起细胞透性的增加与活性氧代谢密切相关。植物体内拥有一套复杂的抗氧化系统用于清除多余的活性氧，维系活性氧代谢的平衡，其中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化物酶和过氧化物酶等是重要的抗氧化酶。与刘辉等^[9]、傅巧娟等^[10]研究结果相类似，高温处理后一串红超氧化物歧化酶和过氧化氢酶活性降低，过氧化物酶活性增加。本研究发现：喷施水杨酸增加了超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和抗坏血酸过氧化物酶活性，这与黄瓜、玉米中的研究结果相一致^[15-19]。这些抗氧化酶活性的增强，有利于提高活性氧的清除能力。相关性分析表明，超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和抗坏血酸过氧化物酶活性均与相对电解质渗透率呈现显著负相关性，这说明水杨酸可能通过提高抗氧化酶活性、缓解氧化伤害提高耐高温能力。本研究还发现：水杨酸处理后过氧化物酶活性降低，可能的原因在于早期过氧化物酶活性的降低有利于过氧化氢(H_2O_2)的产生，而过氧化氢可诱导部分抗氧化酶如超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和过氧化物酶等的活性^[16]。

温度是影响植物光系统运行的重要因素之一。 F_v/F_m 表征了光系统II(PS II)最大光化学效率，其大小可以反映植物光系统II的运行情况^[18]。本研究发现：高温处理后一串红 F_v/F_m 显著降低，说明其受到了光抑制，这与刘辉等^[9]的研究结果相一致。喷施水杨酸后，2个品种 F_v/F_m 均显著上升，说明水杨酸可以有效缓解高温胁迫引起的光伤害，这与许耀照等^[20]的结果相一致。

综合上述分析可知，外源水杨酸缓解一串红高温胁迫的生理机制可能在于诱导了超氧化物歧化酶、过氧化氢酶和抗坏血酸过氧化物酶等抗氧化酶活性，减少了氧化伤害，缓解了高温引起的光抑制。

4 参考文献

- [1] 车代弟. 园林花卉学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009: 154.
- [2] HORVÁTH E, SZALAI G, JANDA T. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling [J]. *J Plant Growth Regul*, 2007, **26**(3): 290 – 300.
- [3] HE Y, ZHU Z J. Exogenous salicylic acid alleviates NaCl toxicity and increases antioxidative enzyme activity in *Lycopersicon esculentum* [J]. *Biol Plant*, 2008, **52**(4): 792 – 795.
- [4] 李永红, 魏玉香, 谷茂. 水杨酸预处理对鸡冠花幼苗热胁迫的生理效应[J]. 西北植物学报, 2008, **28**(11): 2257 – 2262.
LI Yonghong, WEI Yuxiang, GU Mao. Physiological effect of salicylic acid on heat stress of *Celosia cristata* [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2008, **28**(11): 2257 – 2262.
- [5] 曹淑红, 李宁毅. 水杨酸对高温胁迫下百日草幼苗耐热性的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, **45**(1): 91 – 94.
CAO Shuhong, LI Ningyi. Effects of salicylic acid on heat resistance of *Zinnia elegans* seedlings under high temperature stress [J]. *J Shenyang Agric Univ*, 2014, **45**(1): 91 – 94.
- [6] 吕俊, 张蕊, 宗学风, 等. 水杨酸对高温胁迫下水稻幼苗抗热性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, **17**(6): 1166 – 1171.

- LÜ Jun, ZHANG Rui, ZONG Xuefeng, *et al.* Effect of salicylic acid on heat resistance of rice seedling under heat stress [J]. *Chin J Ecol-Agric*, 2009, **17**(6): 1168 – 1171.
- [7] 水德聚, 石瑜, 曹亮亮, 等. 外源水杨酸预处理对高温胁迫下白菜耐热性和光合特性的影响[J]. *植物生理学报*, 2012, **48**(4): 386 – 392.
- SHUI Deju, SHI Yu, CAO Liangliang, *et al.* Effects of exogenous SA pretreatment on thermotolerance and photosynthesis in pakchoi under high temperature stress [J]. *Plant Physiol J*, 2012, **48**(4): 386 – 392.
- [8] 史庆华, 朱祝军, 徐敏, 等. 外源水杨酸对黄瓜叶片几种酶活性和抗氧化物质含量的影响[J], *园艺学报*, 2004, **31**(5): 666 – 667.
- SHI Qinghua, ZHU Zhujun, XU Min, *et al.* Effects of exogenous salicylic acid on activities of some enzymes and antioxidants in cucumber leaves [J]. *Acta Horti Sin*, 2004, **31**(5): 666 – 667.
- [9] 刘辉, 张国平, 沈国正, 等. 一串红‘神州红’和‘帝王’对高温胁迫的响应[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2011, **37**(2): 155 – 161.
- LIU Hui, ZHANG Guoping, SHEN Guozheng, *et al.* Responses of *Salvia splendens* cultivars ‘Shenzhouhong’ and ‘Emperor’ to thermo-stress [J]. *J Zhejiang Univ Agric & Life Sci*, 2011, **37**(2): 155 – 161.
- [10] 傅巧娟, 汪炳良, 陈一, 等. 高温胁迫对一串红生长及叶片抗氧化酶活性的影响[J]. *浙江农业学报*, 2010, **22**(5): 628 – 633.
- FU Qiaojuan, WANG Bingliang, CHEN Yi, *et al.* Effects of high temperature stress on growth and activities of antioxidant enzymes in leaves of *Salvia splendens* [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2010, **22**(5): 628 – 633.
- [11] 贾开志, 陈贵林. 高温胁迫下不同茄子品种幼苗耐热性研究[J]. *生态学杂志*, 2005, **24**(4): 398 – 401.
- JIA Kaizhi, CHEN Guilin, Tolerance of different eggplant varieties at seedling stage to high temperature stress [J]. *Chin J Ecol*, 2005, **24**(4): 398 – 401.
- [12] 朱祝军, 喻景权, GERENDAS J, 等. 氮素形态和光照强度对烟草生长和 H₂O₂ 清除酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 1998, **4**(4): 379 – 385.
- ZHU Zhujun, YU Jingquan, GERENDAS J, *et al.* Effect of light intensity and nitrogen form on growth and nitrogen on growth and activities of H₂O₂-scavenging enzymes in tobacco [J]. *J Plant Nut Fert*, 1998, **4**(4): 379 – 385.
- [13] 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, 2001: 7.
- [14] 李忠光, 龚明. *植物生理学综合性和设计性实验教程*[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013: 10.
- [15] GENTY B, BRIANTAIS J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. *Biochim Biophys Acta*, 1989, **990**(1): 87 – 92.
- [16] SHI Qinghua, BAO Zhiyi, ZHU Zhujun, *et al.* Effects of different treatments of salicylic acid on heat tolerance, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzyme activity in seedlings of *Cucumis sativa* L. [J]. *Plant Growth Regul*, 2006, **48**(2): 127 – 135.
- [17] 万正林, 罗庆熙, 李立志, 等. 水杨酸诱导番茄幼苗抗高温效果[J]. *中国蔬菜*, 2009(24): 36 – 42.
- WAN Zhenglin, LUO Qingxi, LI Lizhi, *et al.* Experiment on the effect of inducing heat resistance in tomato seedlings by salicylic acid [J]. *China Veg*, 2009(24): 36 – 42.
- [18] 张雅, 何勇, 朱祝军. 不同茄子品种幼苗耐热性研究[J]. *中国蔬菜*, 2009(24): 30 – 35.
- ZHANG Ya, HE Yong, ZHU Zhujun. Studies on seedling heat tolerance of different eggplant (*Solanum melongena* L.) varieties [J]. *China Veg*, 2009(24): 30 – 35.
- [19] 杜朝昆, 李忠光, 龚明. 水杨酸诱导玉米幼苗适应高温和低温胁迫的能力与抗氧化酶系统的关系[J]. *植物生理学通讯*, 2005, **41**(1): 19 – 22.
- DU Chaokun, LI Zhongguang, GONG Ming. The adaptations to heat and chilling stresses and relation to antioxidant enzymes of maize seedlings induced by salicylic acid [J]. *Plant Physiol Commun*, 2005, **41**(1): 19 – 22.
- [20] 许耀照, 曾秀存, 郁继华, 等. 水杨酸对高温胁迫下黄瓜幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. *西北植物学报*, 2007, **27**(2): 267 – 271.
- XU Ya Zhao, ZENG Xiucun, YU Jihua, *et al.* The variation of chlorophyll fluorescence parameters of cucumber seedlings, leaves with salicylic acid treatment under high temperature stress [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2007, **27**(2): 267 – 271.