

龚仲幸,何 勇,朱祝军. 水杨酸对低温胁迫下紫罗兰的生理效应[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):150-154.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.06.049

水杨酸对低温胁迫下紫罗兰的生理效应

龚仲幸¹, 何 勇², 朱祝军²

(1. 杭州职业技术学院, 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:以紫罗兰为材料,通过叶面喷施不同浓度水杨酸的方法,研究水杨酸对 6 ℃ 低温胁迫下紫罗兰植株抗低温能力的影响。结果显示,低温胁迫下,紫罗兰的叶绿素含量和 POD 酶活性显著下降,MDA 含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和 SOD 酶、CAT 酶、APX 酶活性显著增强,外施水杨酸后,显著提升了叶绿素含量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和 SOD、CAT、APX、POD 酶活性,显著降低了 MDA 含量。结果表明,水杨酸可以通过提升 SOD、CAT、APX、POD 等抗氧化酶的活性来维持细胞的稳定性,缓解低温胁迫对紫罗兰的生长的抑制,并以 0.4 mmol/L 的水杨酸效果最好。

关键词:水杨酸;低温胁迫;紫罗兰;生理指标

中图分类号:S681.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2015)06-0150-05

紫罗兰(*Matthiola incana*)为十字花科多年生草本花卉,原产地中海沿岸,生长适温为 15~18 ℃,能耐短期的-5 ℃ 低温。花期较长,花色丰富,花朵多有香味,在花坛花的应用中受到普遍欢迎,同时该品种能耐一定的低温,为冬季的花坛花品种提供了一个很好的品种。但紫罗兰在华东、华中地区当气温连续较低时,其生长也会受到一定的影响,影响到了紫罗兰的冬季使用效果^[1-2]。水杨酸(salicylic acid,SA)被认为是一种普遍存在于高等植物体内,受环境胁迫反应时能激活植物的过敏反应并获得植物系统抗性的酚类化合物^[3-4]。许多研究表明,SA 诱导植物的多种生理功能,如提高植物的抗病性^[5]、增强植物对重金属^[6]、高温^[7]和盐害^[8]等非生物胁迫的抗性。SA 在植物抗低温胁迫方面的相关报道已在黄瓜、玉米等作物上得到了验证^[7,9]。但关于外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰的缓解效应等方面的研究还未见报道。本试验主要研究了低温胁迫下外源水杨酸对紫罗兰的影响,为缓解紫罗兰的低温冷害提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为紫罗兰“和谐”系列粉色花品种,种子采购自北林科技有限公司,经营养钵育苗 2 个月后,选取生长一致的紫罗兰进行试验,试验地点在杭州职业技术学院园艺实训基地玻璃温室内。

1.2 试验设计

在前期试验的基础上,分别以 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mmol/L 的 SA 溶液叶面喷施,每 2 d 喷 1 次,每次均以叶面附着一层均匀的水珠并出现滴水为止,喷 2 次后放入 6 ℃

低温光照培养箱中处理,光照度为 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光/暗周期为 14 h/10 h,对照(CK)为 15 ℃ 的常温苗。每处理 10 株,每次取样重复 4 次,低温胁迫后 2、4 d 取样,然后在 15 ℃ 下恢复生长 2 d,再取样,测定相关指标。

1.3 生理指标的测定

叶片相对电解质率采用朱祝军等的电导仪法^[10],选取生长健康的植株,同一部位的叶片打孔,称取 0.1 g 叶片进行测定。叶绿素含量测定采用 96% 乙醇提取法^[11]。抗氧化酶测定参照朱祝军等的方法^[10]提取酶液,所有操作在 4 ℃ 条件下进行。MDA(丙二醛)含量、可溶性糖含量(采用蒽酮法)、SOD(超氧化物歧化酶)活性、CAT(过氧化氢酶)活性测定参照李合生等的方法^[11],POD(过氧化物酶)活性、APX(抗坏血酸酶)活性和可溶性蛋白含量测定参照李忠光等的方法^[12]。

2 结果与分析

2.1 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片相对电解质率的影响

从图 1 可以看出,随着低温处理时间的延长,不同浓度处理下紫罗兰叶片相对电解质率较对照均显著上升($P < 0.05$)。外施 SA 后,叶片相对电解质率随着 SA 处理浓度的增加呈先降低后增加的趋势,SA 处理有效抑制了叶片相对电解质率的提高。低温胁迫 2、4 d 时,各处理与 CK 相比,均达到显著差异($P < 0.05$),0 mmol/L 叶片相对电解质较对照上升了 224.4% 和 270.1%,而经 SA 处理后的紫罗兰植株,各浓度喷施的叶片相对电解质率有所下降,0.4 mmol/L 的叶片相对电解质率上升最小,增加了 157.2% 和 165.4%。试验结果表明,低温胁迫迫使紫罗兰植株的细胞膜透性增大,细胞膜脂氧化程度加大,而水杨酸处理可以显著降低叶片相对电解质率,缓解低温对植株的损害。

2.2 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片叶绿素含量的影响

由图 2 可以看出,随着低温胁迫处理时间的延长,不同浓度处理下紫罗兰叶绿素含量较对照显著($P < 0.05$)降低。外施 SA 后,叶绿素含量随着 SA 浓度的增加呈先上升后下降的

收稿日期:2015-03-06

基金项目:浙江省高等学校国内访问学者项目(编号:2014-0267)。

作者简介:龚仲幸(1974—),女,浙江慈溪人,副教授,主要从事花卉栽培与应用研究。E-mail:526435688@qq.com。

通信作者:朱祝军,博士,教授,研究方向为设施园艺学。E-mail:Zhuzj@zafu.edu.cn。

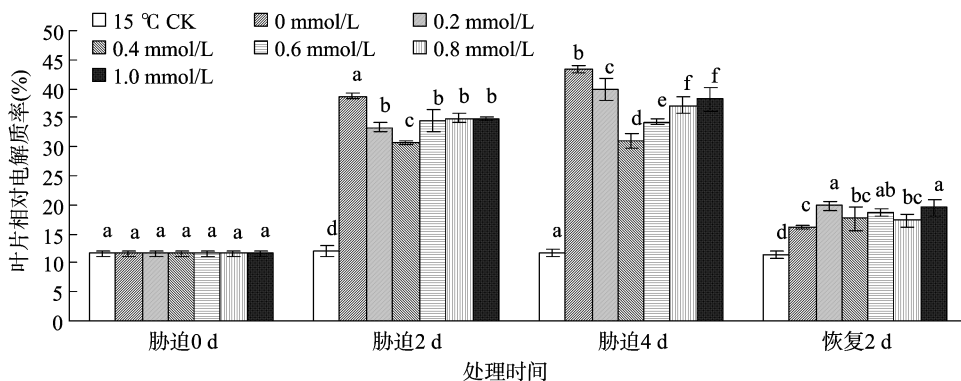


图1 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片相对电解质率的影响

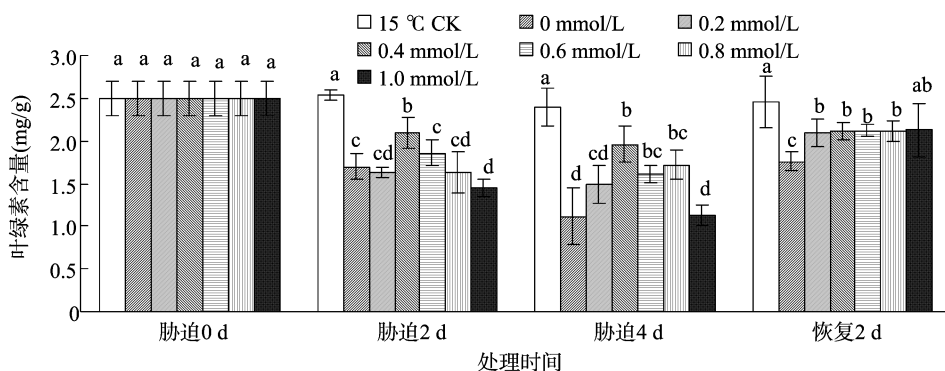


图2 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片叶绿素含量的影响

趋势,SA 处理有效地缓解了叶绿素含量下降的趋势。低温胁迫下,0 mmol/L 处理的紫罗兰植株,胁迫 2、4 d 时,叶绿素含量分别下降了 56.1% 和 28.9%,至 0.4 mmol/L 处理出现最高峰值,而后呈下降趋势,较对照相比仅下降了 23% 和 12.4%。试验结果表明,低温胁迫会迫使叶绿素含量下降,严重影响植株的光合速率,而水杨酸处理可以缓解叶绿素含量的下降,以 0.4 mmol/L 处理的效果最佳。

2.3 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 MDA 含量的影响

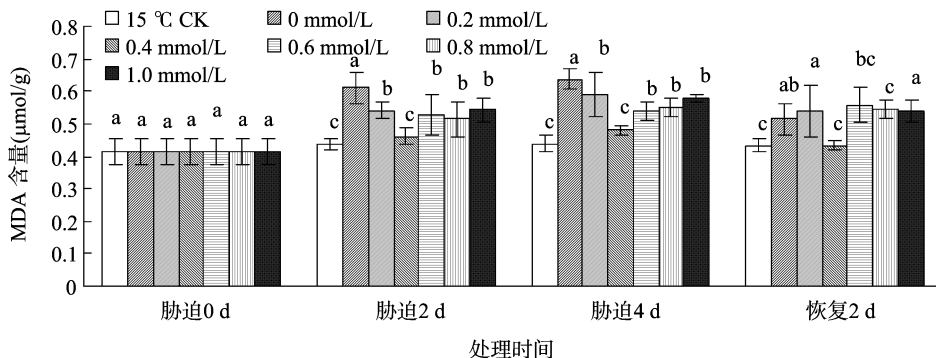


图3 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 MDA 含量的影响

2.4 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片可溶性糖含量的影响

由图 4 可以看出,随着低温胁迫时间的延长,不同 SA 浓度处理的紫罗兰植株可溶性糖含量均比对照显著 ($P < 0.05$) 增加,并随着喷施浓度的增加呈先上升后下降的趋势,至 0.4 mmol/L 处理时达到峰值。低温胁迫 2、4 d 时,0 mmol/L

处理的紫罗兰植株 MDA 含量与对照相比显著 ($P < 0.05$) 增加,随着 SA 浓度的增加,MDA 含量呈先下降后上升的趋势。胁迫 2、4 d 后,0.4 mmol/L 处理与对照无显著差异,而其他浓度的处理与对照差异显著 ($P < 0.05$)。低温胁迫下,0 mmol/L 处理的紫罗兰叶片 MDA 含量在 2、4 d 比对照增加 39.6% 和 45.1%。经 SA 处理后,0.4 mmol/L 处理仅比对照增加 5.3% 和 9.3%,与对照差异不显著 ($P > 0.05$)。

处理的紫罗兰植株可溶性糖含量较对照增加了 10.9% 和 19.5%,0.4 mmol/L 处理的紫罗兰植株较对照增加了 49.7% 和 51.7%。

2.5 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片可溶性蛋白含量的影响

由图 5 可以看出,不同浓度处理的紫罗兰植株可溶性蛋

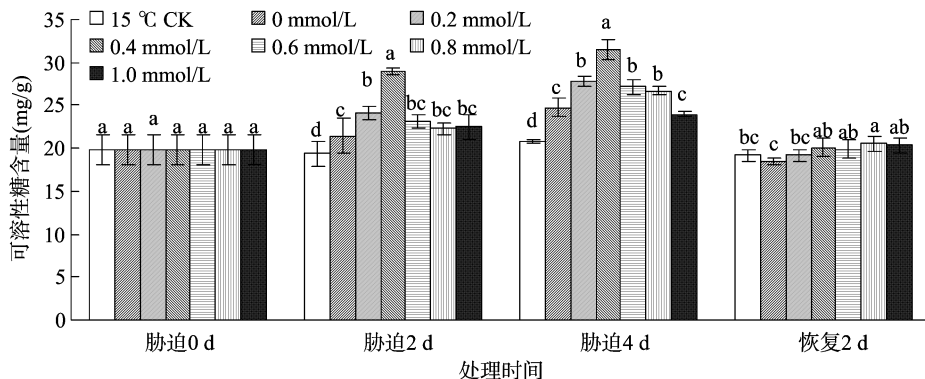


图4 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片可溶性糖含量的影响

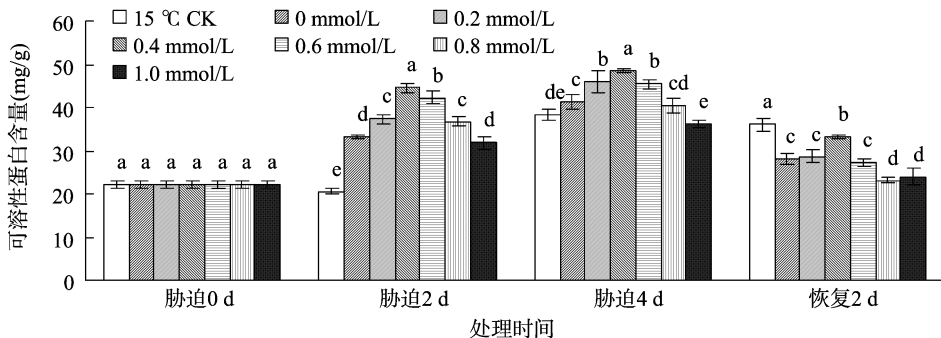


图5 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片可溶性蛋白含量的影响

白含量在低温胁迫 2 d 时较对照显著 ($P < 0.05$) 增加。随着 SA 浓度的增加,可溶性蛋白含量呈先上升后下降的趋势,在 0.4 mmol/L 处理时达到峰值。低温胁迫 2、4 d 时,0 mmol/L 处理的紫罗兰植株可溶性蛋白含量较对照增加 61.3% 和 7.4%,0.4 mmol/L 处理较对照增加了 116.5% 和 26.6%。

试验结果表明,低温胁迫 4 d 时,0.6 mmol/L、0.8 mmol/L 处理与对照差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.6 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 SOD 酶活性的影响

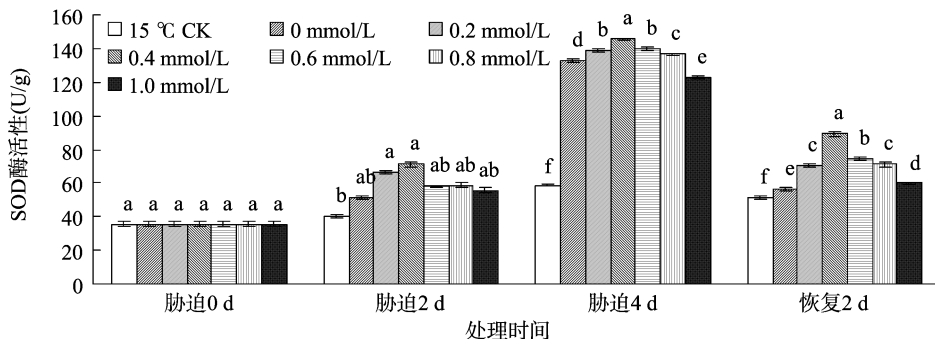


图6 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 SOD 酶活性影响

2.7 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 CAT 酶活性的影响

由图 7 可以看出,随着低温胁迫时间的延长,紫罗兰叶片 CAT 酶活性随着 SA 浓度增加呈先上升后下降的趋势,胁迫 2、4 d 时以 0.4 mmol/L 处理为峰值,且均与对照呈显著差异。0 mmol/L 处理的紫罗兰叶片 CAT 酶活性在低温胁迫 2 d 时下降了 0.7%,胁迫 4 d 较对照上升 17%。而 0.4 mmol/L 处理较对照分别上升了 32.1%、36.6%。

影响

由图 6 可以看出,叶片 SOD 酶活性低温胁迫 2 d 时不同浓度处理较对照差异不显著,在胁迫 4 d 时较对照显著 ($P < 0.05$) 增强。随着喷施浓度增加,SOD 酶活性呈先上升后下降的趋势,在 0.4 mmol/L 时达到最高峰值。0 mmol/L 处理的紫罗兰叶片 SOD 酶活性在低温胁迫 2、4 d 时,较对照增强了 26.8% 和 126.7%。0.4 mmol/L 处理效果最好,较对照高出 77% 和 148%。

2.8 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 POD 酶活性的影响

由图 8 可以看出,紫罗兰植株在低温胁迫下,POD 酶活性较对照显著 ($P < 0.05$) 降低,外施 SA 后,随着 SA 浓度的增加,POD 酶活性呈先上升后下降的趋势,且在 0.4 mmol/L 处理达到峰值。低温胁迫下,0 mmol/L 处理的紫罗兰叶片 POD 酶活性显著下降,胁迫 2、4 d 时,较对照分别下降了 37.5%、50.8%,而 0.4 mmol/L 处理较对照仅下降了 8.3%、21.3%。

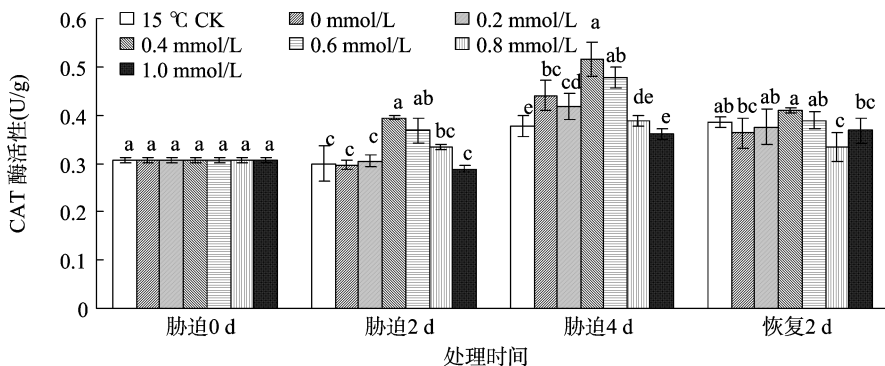


图7 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 CAT 酶活性影响

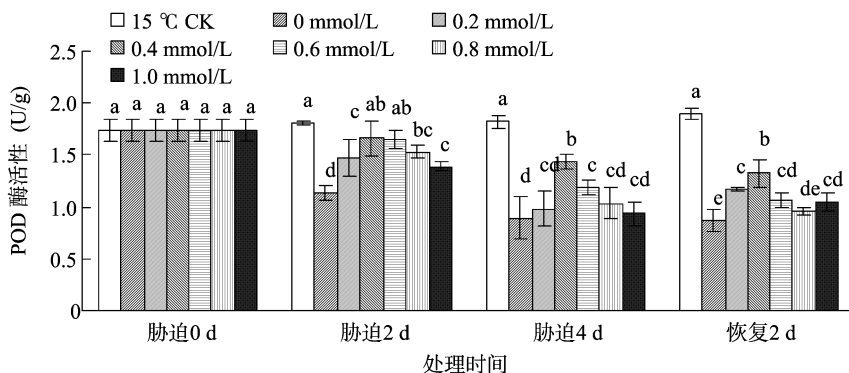


图8 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 POD 酶活性影响

2.9 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 APX 酶活性的影响

由图 7 可以看出,随着低温胁迫时间的延长,不同 SA 处理浓度的 APX 酶活性均较对照显著 ($P < 0.05$) 增强,随着 SA 浓度的增加,APX 酶活性呈先上升后下降的趋势,在

0.4 mmol/L 处理出现峰值。低温胁迫下 2、4 d 时,0 mmol/L 处理的紫罗兰叶片 APX 酶活性分别较对照增加了 23.7% 和 95.4%,0.4 mmol/L 处理分别较对照增加了 108.9% 和 241.3%。

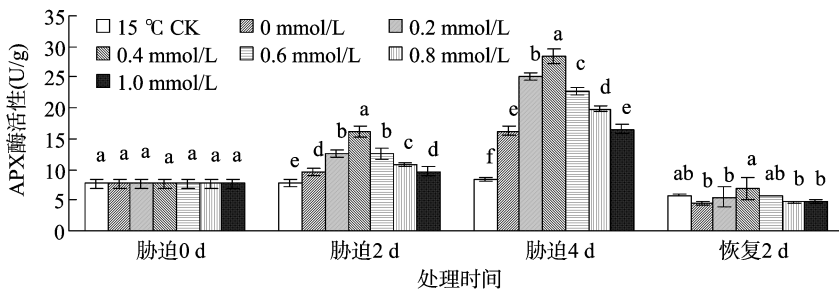


图9 外源水杨酸对低温胁迫下紫罗兰叶片 APX 酶活性的影响

3 讨论

生物膜是植物细胞膜、细胞器与外界环境交流的界面,它既有接受、传递环境信息的作用,也有对胁迫环境作出反应的作用,对维持植物的正常生理生化代谢起着很重要的作用^[12]。当植株受到低温胁迫时,植物的细胞膜受到伤害,引起了质膜透性的增加,表现为植物叶片的电解质率增大。同时也导致了膜脂氧化产物 MDA 含量增加。本试验表明,6 °C 低温胁迫后,紫罗兰叶片的相对电解质率和 MDA 含量上升,表明低温使紫罗兰的膜结构和稳定性产生了影响。适宜的 SA 处理可以降低叶片相对电解质率和 MDA 的含量,缓解低温胁迫对植物的危害。这与韩浩章等^[13]、田丹青等^[14] 的研

究结果一致,本试验中 MDA 含量与叶片相对电解质率呈正相关,相关系数 $r = 0.91$ 。

叶绿素在植物光合作用中起着关键性的作用,叶绿素的形成是由许多酶共同作用的结果,低温直接影响酶的活动,也就影响了叶绿素的合成^[15]。本试验结果表明,6 °C 低温胁迫下,未经 SA 处理的紫罗兰叶片叶绿素含量显著下降,适宜浓度的 SA 处理可以增加叶绿素的含量,可能与 SA 处理提升了氧化酶的活性有关,这与辛慧慧等的研究结果^[15] 相一致。本试验中,叶绿素含量与叶片相对电解质率呈负相关,相关系数 $r = -0.895$ 。

低温胁迫下,可溶性蛋白含量的提高增加了细胞功能性蛋白的含量和渗透势,有利于提高植物的抗逆性^[16]。可溶性

糖作为细胞调节物质也与细胞的渗透势密切相关,可溶性糖含量的提高,增加了细胞的渗透势,提高了植物的抗逆性^[16]。本试验结果表明,6℃低温胁迫可以提高可溶性蛋白和可溶性糖的含量,植物通过自身调节来适应逆境的环境,经 SA 处理后,2 种含量均显著增加,适宜的 SA 处理可以提高紫罗兰植株抗低温胁迫的能力。

植物在低温胁迫环境下,植物体内拥有一套复杂的抗氧化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 SOD、CAT、APX、POD 等是比较重要的抗氧化酶。低温胁迫下,SOD、CAT 酶的活性均显著上升,经 SA 处理,酶活性显著上升,这与辛慧慧等^[15]、李永华等^[18]在棉花、菊花等植物上的研究结果相一致。本研究发现,APX 酶活性经 SA 处理后显著增强,这与史庆华等在黄瓜中的研究结果^[19]相一致,POD 酶活性在低温胁迫时下降,经 SA 处理后上升,这与刘慧英等在西瓜中的研究结果^[17]一致。氧化酶活性的增强,有利于植物提高自身清除活性氧的水平。相关分析表明,SOD、CAT、APX、POD 酶与相对电解质率均呈现显著负相关,相关系数 r 分别为 -0.582、-0.575、-0.706、-0.933,这说明水杨酸可以通过提高抗氧化酶的活性,清除活性自由基,提高紫罗兰的抗低温能力。

徐伟慧等在水杨酸对低温胁迫下西葫芦的研究中发现,以 250 mg/L SA 效果最好^[20],史庆华等在水杨酸对黄瓜的研究中发现,100 $\mu\text{mol/L}$ 的处理效果最佳^[19],杜朝昆等在对玉米幼苗高温和低温胁迫的研究中发现,高温胁迫下 300 mmol/L SA 预处理效果最好,而低温胁迫时 150 mmol/L SA 处理效果最好^[7]。综上发现,不同植物在低温胁迫时,SA 的浓度会有所不同,而同一种植物在不同的逆境中,SA 的最佳浓度也会有所不同。本试验发现紫罗兰低温胁迫时最佳的 SA 处理浓度为 0.4 mmol/L。

综合以上分析可知,水杨酸提升紫罗兰的抗低温能力,其生理机制可能就是提升了 SOD、CAT、APX、POD 等抗氧化酶的活性。

参考文献:

- [1] 北京林业大学园林系花卉教研组. 园林花卉学[M]. 北京:中国林业出版社,2000:203.
- [2] 靳文东. 紫罗兰“和谐”系列栽培管理[J]. 中国花卉园艺,2012(24):25-25.
- [3] 王利军,战吉成. 水杨酸与植物抗逆性[J]. 植物生理学通讯,

(上接第 112 页)

用进来,以更好利用这些弥足珍贵的品种资源,为高粱的生产和应用带来新的格局。

参考文献:

- [1] 辽宁省农业科学院. 中国高粱品种志[M]. 北京:农业出版社,1980.
- [2] 卢庆善,孙毅,华泽田. 农作物杂种优势[M]. 北京:中国农业科技出版社,2001.
- [3] 卢庆善,孙毅. 杂交高粱遗传改良[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2005.
- [4] Victorwu Y, Wall J, 魏相. 通过发芽增加高粱蛋白质中赖氨酸

2002,38(6):619-624.

- [4] 孟雪娇,邸昆,丁国华. 水杨酸在植物体内的生理作用研究进展[J]. 中国农学通报,2010,26(15):207-214.
- [5] Horváth E S, Janda T. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling[J]. Journal of Plant Growth Regulation,2007,26(3):290-300.
- [6] 李彩霞,李鹏,苏永发,等. 水杨酸对镉胁迫下玉米幼苗质膜透性和保护酶活性的影响[J]. 植物生理学通讯,2006,42(5):882-884.
- [7] 杜朝昆,李忠光,龚明. 水杨酸诱导的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.
- [8] He Y, Zhu Z J. Exogenous salicylic acid alleviates NaCl toxicity and increases antioxidative enzyme activity in *Lycopersicon esculentum*[J]. Biologia Plantarum,2008,52(4):792-795.
- [9] 孙艳,崔鸿文,胡荣. 水杨酸对黄瓜幼苗壮苗的形成及抗低温胁迫能力的生理效应[J]. 西北植物学报,2000,20(4):616-620.
- [10] 朱祝军,喻景权, Gerendas J, 等. 氮素形态和光照强度对烟草生长和 H_2O_2 清除酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,1998,4(4):379-385.
- [11] 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.
- [12] 张鸽香. 瓜叶菊对低温胁迫的生理反应[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2004,28(5):89-92.
- [13] 韩浩章,王晓立,张丽华. 低温胁迫下水杨酸对香樟幼苗抗寒性的影响[J]. 南方农业学报,2011,42(12):1519-1522.
- [14] 田丹青,葛亚英,潘刚敏,等. 低温胁迫对 3 个红掌品种叶片形态和生理特性的影响[J]. 园艺学报,2011,38(6):1173-1179.
- [15] 辛慧慧,李防洲,侯振安,等. 低温胁迫下棉花幼苗对外源水杨酸的生理响应[J]. 植物生理学报,2014,50(5):660-664.
- [16] 常云霞,徐克东,陈璨,等. 水杨酸对低温胁迫下大豆幼苗生长抑制的缓解效应[J]. 大豆科学,2012,31(6):927-931.
- [17] 刘慧英,朱祝军,吕国华,等. 低温胁迫下西瓜嫁接苗的生理变化与耐冷性关系的研究[J]. 中国农业科学,2003,36(11):1325-1329.
- [18] 李永华,苏志国,李洪涛,等. 水杨酸预处理对低温胁迫下菊花叶片生理活性的影响[J]. 河南农业科学,2010(12):99-101,106.
- [19] 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.
- [20] 徐伟慧,周兰娟,王志刚. 外源水杨酸缓解西葫芦幼苗低温胁迫的效应[J]. 浙江农业学报,2013,25(4):764-767.

的含量[J]. 国外农学:杂粮作物,1982(3):16-21.

- [5] 卢庆善. 甜高粱[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2008.
- [6] 孔令旗,张文毅,李振武. 高粱籽粒直链淀粉和支链淀粉含量的基因效应分析[J]. 作物学报,1995(3):319-323.
- [7] 倪先林,赵甘霖,刘天朋,等. 杂交糯高粱主要农艺性状的配合力和遗传力研究[J]. 江苏农业科学,2011,39(3):90-93.
- [8] 张文毅. 论高粱株高及其区段的遗传[J]. 辽宁农业科学,1993(5):1-4.
- [9] 乌艳红,李志明,辛晓平,等. 11 种帚用高粱形态特征分析[J]. 安徽农业科学,2009,37(6):2430-2431,2516.
- [10] 张文毅,李振武,孟广艳. 高粱穗结构的遗传研究 I. 杂种一代的遗传表现[J]. 辽宁农业科学,1985(2):1-5.