

外源 SA 预处理对低温胁迫下萝卜幼苗的生理效应

初 敏¹, 王秀峰^{1,2}, 王淑芬³, 杨凤娟^{1,2}, 魏 珉^{1,2}, 史庆华^{1,2}

(1. 山东农业大学 园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018; 2. 山东农业大学 作物生物学国家重点实验室, 山东泰安 271018; 3. 山东省农业科学院 蔬菜研究所, 济南 250100)

摘 要: 以阳春早秀萝卜幼苗为试材, 通过叶面喷施适宜浓度的水杨酸(SA), 探讨外源 SA 对低温胁迫下萝卜幼苗的缓解效应。结果表明, 0.75 mmol · L⁻¹ SA 预处理幼苗后, 随低温处理时间延长, 可溶性糖和脯氨酸质量分数逐渐升高, 抗氧化酶活性也显著高于同期对照, 而丙二醛(MDA)质量摩尔浓度显著低于同期对照。因此, 适当浓度的外源 SA 可通过增加渗透调节物质质量分数和提高抗氧化酶活性来提高萝卜幼苗对低温胁迫的抗性。

关键词: 水杨酸; 萝卜; 低温胁迫; 生理效应

中图分类号: S631.1

文献标志码: A

文章编号: 1004-1389(2012)02-0142-04

Physiological Effects of Exogenous Salicylic Acid on Radish Seedlings under Low Temperature Stress

CHU Min¹, WANG Xiufeng^{1,2}, WANG Shufen³, YANG Fengjuan^{1,2},
WEI Min^{1,2} and SHI Qinghua^{1,2}

(1. College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018, China;
2. State Key Laboratory of Crop Biology, Shandong Agricultural University, Taian Shandong 271018, China;
3. Vegetable Research Institute of Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: Alleviating effect of exogenous salicylic acid (SA) on low temperature stress was elucidated by foliar-sprayed with appropriate concentration SA (0.75 mmol · L⁻¹), taking the seedlings of radish Yangchunzaoxiu as test materials. The results manifested that the soluble sugar and proline mass fraction were up-regulated as the time extended and the activities of the antioxidant enzyme were also markedly higher than that in control at the same time. However, the MDA molality was markedly lower than that in control at the same time. These results indicate that exogenous appropriate concentration SA could mitigate the low temperature stress to radish seedlings by increasing the osmotic adjustment materials mass fraction and promoting the activities of antioxidant enzyme.

Key words: Salicylic acid; Radish; Low temperature stress; Physiological effects

水杨酸(Salicylic Acid, SA)被认为是植物在胁迫反应中产生的一种信号分子, 它可以通过抑制膜脂过氧化来维持膜完整性^[1]。SA 能诱导植物提高对真菌、细菌和病毒等生物胁迫^[2-3]及重金属^[4]、低温^[5-7]、高温^[8-10]和盐害^[11-12]等非生物胁迫的抗性, 调节植物的抗氧化系统^[13]。代晓霞

等^[14]研究表明, SA 处理可有效提高黄瓜的耐冷性, 减少低温对细胞膜系统的伤害, 提高抗氧化酶活性。SA 对低温玉米^[15-16]、辣椒^[17]、草莓^[18]的抗寒性也有类似的报道。吴能表^[19]的研究表明, SA 的最适质量浓度为 0.1 g · L⁻¹, 最适施用次数为 2~3 次, 最适施用时间为低温来临的前 1 d。

收稿日期: 2011-06-29 修回日期: 2011-08-20

基金项目: 山东省财政支持重大应用技术创新课题[鲁财农指(2009)45号]。

第一作者: 初 敏, 女, 在读硕士, 从事设施蔬菜与无土栽培研究。E-mail: chumin033@163.com

通讯作者: 杨凤娟, 副教授。E-mail: beautyyfj@163.com

目前,外源水杨酸对萝卜幼苗低温胁迫的具体缓解机制尚不明确。因此,研究外源 SA 预处理提高萝卜耐低温胁迫机制,对进一步评价 SA 抗非生物胁迫和指导生产均有重要的理论意义。

本试验以阳春早秀萝卜品种为试材,选用适宜浓度的外源 SA 对萝卜幼苗进行叶面喷施预处理,通过动态测定相关指标,探讨外施 SA 对低温胁迫下萝卜幼苗渗透调节物质质量分数和抗氧化酶活性的影响,以期为提高萝卜幼苗的耐低温胁迫能力及萝卜生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

试验于 2010 年 3—5 月在山东农业大学玻璃温室内进行。供试萝卜品种为阳春早秀,该萝卜品种为冷敏感品种,是根据电解质渗漏率从 12 份萝卜品种(由山东省农科院蔬菜研究所提供)中筛选出来的。

按常规方法浸种,挑选饱满的种子播于装有基质 V(草炭):V(蛭石):V(珍珠岩)=2:1:1 的 50 孔穴盘中。待子叶展平后,用 1/2 的营养液代替自来水浇灌,待第 1 片真叶展平后,用全营养液浇灌。营养液中大量元素参照日本园试配方,微量元素参照 Arnon 配方^[20]。

待萝卜幼苗长至 3 叶 1 心时,移至昼/夜温度 25℃/15℃,光周期 8 h/16 h 的培养箱(宁波产 GXZ 型)中,预处理 2 d 后,开始叶面喷施外源 SA,共设 2 个处理,以叶面喷施清水作为对照(CK),另一处理为喷施 0.75 mmol·L⁻¹ 的 SA,连续喷施 3 d 后,将幼苗置低温处理(昼/夜温度 5℃/5℃,PFD 550~600 μmol·m⁻²·s⁻¹,光周期 8 h/16 h)处理 10 d,分别于低温处理 0、1、4、7、10 d 后取萝卜幼苗上数第 2~3 片叶进行各生理指标的测定,每处理重复 3 次,每重复 50 株,共 150 株幼苗,求平均值。

1.2 测定项目与方法

可溶性糖质量分数的测定参照赵世杰等^[21]的方法。脯氨酸质量分数的测定采用酸性茚三酮显色法^[22]。丙二醛(MDA)质量分数的测定参照 Cakmak 等^[23]的方法。

抗氧化酶活性的测定:酶液提取参照朱祝军等^[24]的方法。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用 Prochazkovar 等^[25]的方法测定;过氧化氢酶(CAT)活性采用 Cakmak 等^[23]的方法测定;抗坏

血酸过氧化物酶(APX)活性采用 Nakano 等^[26]的方法测定。

1.3 数据处理

数据均为 3 次重复的平均值,采用 Microsoft Excel 和 Sigma plot 软件处理数据和作图,DPS 软件对数据进行单因素方差分析,并运用 Duncan's 检验法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 SA 对低温胁迫下萝卜幼苗叶片渗透调节物质质量分数的影响

由图 1 可以看出,0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理 3 d 后及低温胁迫 1 d 后,萝卜幼苗叶片中可溶性糖和脯氨酸质量分数均低于对照(CK)。低温胁迫 4 d 后,随低温时间延长,2 处理条件下,其可溶性糖与脯氨酸质量分数均呈增加趋势,且 0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理的可溶性糖和脯氨酸质量分数均显著高于 CK;低温处理 10 d 后,0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理的可溶性糖和脯氨酸质量分数较胁迫前分别显著增加 162.92% 和 78.89%,而 CK 仅增加 68.6% 和 13.70%。

2.2 SA 对低温胁迫下萝卜幼苗叶片 MDA 质量摩尔浓度及抗氧化酶活性的影响

2.2.1 对 MDA 质量摩尔浓度的影响 图 2-A 显示,0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理 3 d 后及低温胁迫 1 d 后,萝卜幼苗叶片 MDA 质量摩尔浓度比对照(CK)稍有增加。低温胁迫 4 d 后,CK 中 MDA 质量摩尔浓度显著高于 0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理,且胁迫时间越长,CK 中 MDA 质量摩尔浓度增幅越大,显著高于 0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理。低温胁迫 10 d 后,CK 幼苗叶片 MDA 质量摩尔浓度较胁迫前显著增加 207.71%,0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理仅增加 114.67%。

2.2.2 对 CAT、SOD、APX 活性的影响 0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理 3 d 后,萝卜幼苗叶片 CAT、SOD、APX 活性均显著高于 CK(图 2-B, C, D)。整个处理过程中,2 处理条件下其 APX 和 SOD 活性变化趋势基本一致,APX 呈升高-降低-升高趋势,而 SOD 呈降低-升高-降低趋势;CK 中 CAT 活性呈先升高后降低趋势,而 SA 预处理则呈下降趋势;但 0.75 mmol·L⁻¹ SA 预处理的萝卜幼苗其 APX、SOD、CAT 活性均显著高于 CK。低温胁迫 10 d 后,0.75 mmol·L⁻¹ SA 预

处理与 CK 叶片中 APX 活性分别比低温胁迫前升高 75.40% 和 47.96%, SOD 活性分别比胁迫

前降低 57.62% 和 86.29%, 而 CAT 活性分别比胁迫前降低 16.23% 和 10.49%。

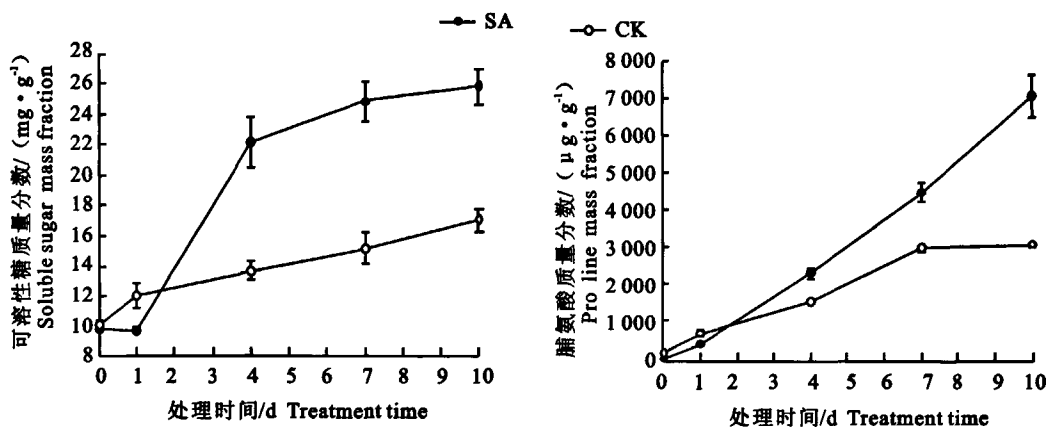


图 1 SA 对低温胁迫下萝卜幼苗叶片可溶性糖和脯氨酸质量分数的影响

Fig. 1 Effects of SA on soluble sugar and proline mass fraction in leaves of radish seedlings under low temperature stress

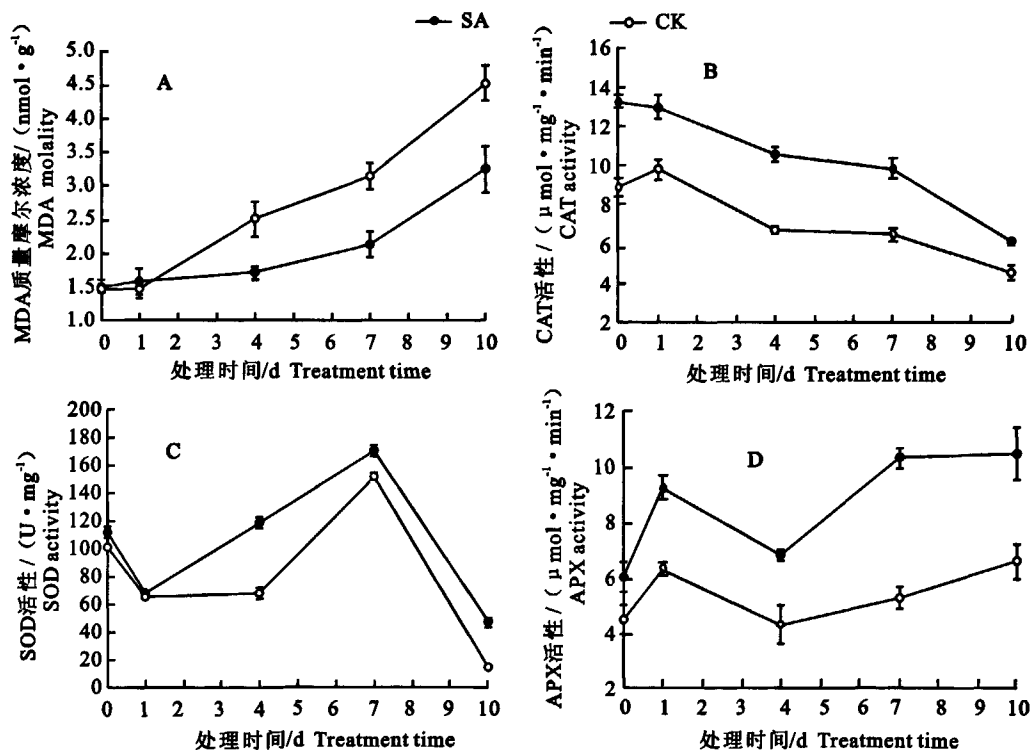


图 2 SA 对低温胁迫下萝卜幼苗叶片 MDA 质量摩尔浓度及 CAT、SOD、APX 活性的影响

Fig. 2 Effects of SA on MDA molality and SOD, CAT and APX activities in leaves of radish seedlings under low temperature stress

3 讨论

MDA 是植物器官衰老或在逆境条件下发生膜脂过氧化的产物之一,其质量摩尔浓度高低表示细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件耐受的强弱^[27],其质量摩尔浓度变化是质膜损伤程度的重要标志之一。低温胁迫下植物能够合成渗透调节物质以增强自身的抗冷性,这是植物为适应环

境的一种保护性反应^[28]。脯氨酸作为重要的渗透调节物质,在正常情况下,它在植物体内的质量分数并不高,但当植物处于逆境时,其质量分数往往会增加^[29]。Bassi 等^[30]也报道,脯氨酸的积累对细胞进行渗透调节、稳定细胞结构、降低氧化起着重要作用。同时可溶性糖作为一种渗透调节物质,其质量分数高低与多数植物的抗逆性呈正相关^[31]。本试验结果表明,当用 $0.75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

SA 和清水(CK)预处理 3 d 后,随处理时间延长,萝卜幼苗叶片可溶性糖、脯氨酸质量分数和 MDA 质量摩尔浓度均随之增加,但 SA 预处理后其可溶性糖和脯氨酸质量分数增加幅度显著高于 CK,而 MDA 质量摩尔浓度增加幅度显著低于 CK(图 1,图 2-A),这可能是由于加入外源 SA 可有效抑制膜内不饱和脂肪酸过氧化作用及其产物 MDA 的积累,维持细胞质膜的稳定性和完整性,增强细胞活力,从而提高萝卜幼苗对低温的适应性。

植物在受到低温胁迫时,其体内会产生大量的氧自由基,这时体内清除过剩自由基的酶保护系统 SOD、CAT 和 APX 就会启动,酶活性提高。SOD 是清除生物体内 $O_2^{\cdot-}$ 的唯一酶类,它能歧化 $O_2^{\cdot-}$ 生成 H_2O_2 。本试验中,外源 SA 提高了萝卜幼苗中 SOD 活性,从而可将过量生成的 $O_2^{\cdot-}$ 迅速分解为 O_2 和 H_2O_2 。有研究表明^[32], H_2O_2 的存在对细胞具有双重作用,一方面, H_2O_2 的跨膜通透性使得其具有信号分子的作用;另一方面, H_2O_2 的过量累积能够加剧对细胞的伤害。CAT 与 APX 是 H_2O_2 清除的关键酶,但本试验中 CAT 活性在低温胁迫中持续降低,且外源 SA 抑制 CAT 活性,使其降低幅度高于 CK,可能是因为 CAT 是 SA 的结合蛋白,SA 能够通过结合 CAT 来抑制其活性^[33],从而积累 H_2O_2 , H_2O_2 作为第二信使诱导一系列防卫反应的发生,从而缓解低温对萝卜幼苗造成的伤害。 $0.75\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ SA 预处理显著提高低温胁迫 4 d 后萝卜幼苗 APX 活性,可能是 SOD 与 CAT 双重作用的结果。胁迫 4 d 后 SOD 活性提高的同时, CAT 活性受到抑制,从而积累大量 H_2O_2 来激活 APX 的活性,有利于催化 AsA 与 H_2O_2 反应,清除胁迫后期过量产生的活性氧,最终提高萝卜幼苗对低温的抗性。

综上可知,外源 SA 预处理是通过缓解 MDA 的上升速度,促进可溶性糖和脯氨酸等渗透调节物质积累及提高抗氧化酶活性等来提高萝卜幼苗的抗低温胁迫能力。

参考文献:

- [1] 李国靖,周 莹. 水杨酸与植物抗非生物胁迫[J]. 植物学通报,2001,18(3):295-302.
- [2] 原永兵,曹宗巽. 水杨酸在植物体内的作用[J]. 植物学通报,1994,11(3):1-9.
- [3] Anders M D, Chen Z, Kliesig D F. Possible involvement of lipid peroxidation in salicylic acid-mediated induction of PR-1 gene expression[J]. Phytochemistry, 1998, 47: 555-566.
- [4] Ashraf Metwally, Iris Finkemeier, Manfred Georgi, et al. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings[J]. Plant Physiol, 2003, 132: 272-281.
- [5] 吴 楚,王政权. 外源水杨酸对水曲柳幼苗遭受冷害后抗光氧化能力的影响[J]. 湖北农学院学报, 2003(2): 8-14.
- [6] 孙 艳,崔鸿文. SA 对黄瓜幼苗形成及抗低温胁迫效应[J]. 西北植物学报, 2000, 20: 616-620.
- [7] Kang G, Wang Z, Sun G. Participation of H_2O_2 in enhancement of cold chilling by salicylic acid in banana seedlings[J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45: 567-573.
- [8] 陈培琴,郁松林,詹妍妮. 茉莉酸和水杨酸对热胁迫下葡萄幼苗抗氧化能力的影响[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 166-171.
- [9] Larkindale J, Knight M R. Protection against heat stress-induced oxidative damage in *Arabidopsis* involves calcium, ethylene and salicylic acid[J]. Plant Physiology, 2002, 128: 682-695.
- [10] Janda T, Szalai G, Padi E. Hydr oponic treatment with salicylic acid decrease the effects of chilling injury in maize[J]. Planta, 1999, 208: 175-180.
- [11] 宋士清,郭世荣,尚庆茂,等. 外源 SA 对盐胁迫下黄瓜幼苗的生理效应[J]. 园艺学报, 2006, 33(1): 68-72.
- [12] 张志刚,尚庆茂. 水杨酸、壳聚糖对盐胁迫下黄瓜叶片光合参数的调节作用[J]. 西北农业学报, 2010, 19(3): 174-178.
- [13] Dat J F, Lopez D H, Foyer C H, et al. Effects of salicylic acid on oxidative stress and thermo tolerance in tobacco[J]. Plant Physiol, 2000, 118: 1455-1461.
- [14] 代晓霞,生吉萍,申 琳. 外源水杨酸和内源 H_2O_2 对黄瓜抗冷性的影响[J]. 中国农业大学学报, 2007, 12(1): 68-72.
- [15] 张春光,荆红梅. 水杨酸诱导植物抗性的研究进展[J]. 生命科学研究, 2001, 5(3): 295-302.
- [16] 康国章,孙谷畴,王正询. 水杨酸在植物抗环境胁迫中的作用[J]. 广西植物, 2004, 24(2): 178-183.
- [17] 张素勤,耿广东,谭玉丽. 水杨酸对辣椒抗寒性的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23: 118-120.
- [18] 高 波,邵永春,徐 坤,等. 外源水杨酸对草莓抗冷性的影响[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版, 2007, 24(2): 81-85.
- [19] 吴能表. 外源水杨酸对萝卜低温胁迫的缓解作用[J]. 西南农业大学学报:自然科学版, 2006, 28(5): 782-785.
- [20] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社, 2004: 98-114.
- [21] 赵世杰,刘华山,董新春,等. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1998: 146-148, 156-157.

(下转第 183 页)

- [19] KHAN S, CAO Q, Hesham A E, *et al.* Soil enzymatic activities and microbial community structure with different application rates of Cd and Pb[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(7): 834-840.
- [20] 刘敬武, 单爱琴, 揣小明, 等. 重金属离子 Cd^{2+} 、 Pb^{2+} 污染对土壤酶活性的影响[J]. *污染防治技术*, 2008, 21(1): 19-22.
- [21] 马冬云, 郭天财, 宋 晓, 等. 尿素施用量对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. *生态学报*, 2007, 27(12): 5222-5228.
- [22] 张 双, 肖 昕, 白兴雷, 等. Pb、Zn 胁迫对小麦生长过程中土壤酶活性的影响[J]. *洁净煤技术*, 2009, 15(3): 113-116.
- [23] 杨志新, 刘树庆. 重金属 Cd、Zn、Pb 复合污染对土壤酶活性的影响[J]. *环境科学学报*, 2001, 21(1): 60-63.
- [24] 苗 静, 祝 惠, 鑫 宏, 等. DOP 与 Pb 单一及复合污染对土壤酶活性的影响[J]. *环境科学研究*, 2009, 22(7): 856-861.
- [25] 李江遐, 杨肖娥, 陈声明. 铅污染对青紫泥微生物活性的影响[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(6): 182-185.
- [26] 王秀丽, 徐建民, 槐 应, 等. 重金属铜、锌、镉、铅复合污染对土壤环境微生物群落的影响[J]. *环境科学学报*, 2003, 23(1): 22-27.
- [27] Chen C L, Liao M, Huang C Y, *et al.* Effect of combined pollution by heavy metals on soil enzymatic activities in areas polluted by tailings from Pb-Zn-Ag mine [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2005, 17(4): 637-640.
- [28] 秦永生, 赵 吉, 刘振乾, 等. 重金属 Cu 与 Pb 复合污染对土壤呼吸影响的研究[J]. *安徽农业科技*, 2008, 36(3): 1117-1118, 1121.
- [29] 孙 琴, 王 超. 土壤外源 Cd 和 Pb 复合污染对小麦 (*Triticum aestivum* L.) 根系植物络合素和谷胱甘肽合成的影响[J]. *生态环境*, 2008, 17(5): 1833-1838.
- [30] 赵 勇, 李红娟, 魏婷婷, 等. 土壤、蔬菜的铅污染相关性分析及土壤铅污染阈值[J]. *中国生态农业学报*, 2008, 16(4): 843-847.

(上接第 131 页)

- [7] 史为民, 陈青云, 曲 梅. 日光温室黄瓜非均质冠层光合生产的模拟[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(2): 181-187.
- [8] 杨 贺, 须 辉, 李天来, 等. 冬春季节日光温室内栽培番茄植株体总辐射分布规律[J]. *安徽农业科学*, 2007, 35(16): 4760-4761, 4832.
- [9] 艾希珍, 张振贤. 日光温室黄瓜不同叶位叶片光合作用研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(12): 1519-1524.
- [10] 艾希珍, 马兴庄, 于立明, 等. 日光温室黄瓜叶片展开过程中光合特性的变化[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(3): 558-564.
- [11] 杨国栋, 周宝利, 付亚文, 等. 茄子不同群体结构光合特性、干物质分配及其对产量的影响[J]. *园艺学报*, 2004, 31(5): 603-606.
- [12] 张亚红, 陈端生, 黄晚华. 日光温室黄瓜群体结构参数及群体内辐射分布分析[J]. *农业工程学报*, 2003, 19(1): 172-176.
- [13] 白 青, 张亚红, 傅 理, 等. 日光温室内南北方向黄瓜群体结构参数分析[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(7): 149-153.
- [14] 王 谦, 陈景玲, 孙治强. Li-cor 仪器太阳辐射测量单位定量变换的应用研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(4): 140-144.
- [15] 章家恩, 黄 润, 饶卫民, 等. 玉米群体内太阳光辐射垂直分布规律研究[J]. *生态科学*, 2001, 20(4): 9-11.

(上接第 145 页)

- [22] 李合生, 孙 群, 赵世杰. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [23] Cakmak I, Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbic acid peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves[J]. *Plant Physiol*, 1992, 98: 1222-1227.
- [24] 朱祝军, 喻景权, Joska Gerendas, 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.
- [25] Prochazkova K D, Sairam G C, Srivastava D V. Single oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves[J]. *Plant Sci*, 2001, 161: 765-771.
- [26] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxide scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast[J]. *Plant & Cell Physiol*, 1981, 22: 867-880.
- [27] 刘娥娥, 宗 会, 郭振飞. 干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响[J]. *热带亚热带植物学报*, 2000, 8(3): 235-238.
- [28] 薛国希, 高辉远, 李鹏民, 等. 低温下壳聚糖处理对黄瓜幼苗生理生化特性的影响[J]. *植物生理与分子生物学报*, 2004, 30(4): 441-448.
- [29] Schat H, Sharma S S, Vooijs R. Heavy metal-induced accumulation of free proline in a metal-tolerant and a nontolerant ecotype of *Silene vulgaris*[J]. *Physiol Plant*, 1997, 101: 477-482.
- [30] Bassi R, Sharma S S. Proline accumulation in wheat seedling exposed to zinc and copper[J]. *Phytochemistry*, 1993, 33: 1339-1342.
- [31] 王孝宜, 李树德, 东慧茹, 等. 番茄品种耐寒性与 ABA 和可溶性糖含量的关系[J]. *园艺学报*, 1998, 25(1): 56-60.
- [32] 王利军. 高温锻炼和水杨酸对葡萄抗热性的诱导及信号传导研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
- [33] Chen Zhixiang, Silva H, Klessig D F. Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salicylic acid[J]. *Science*, 1993, 262: 1883-1886.

作者：[初敏](#)，[王秀峰](#)，[王淑芬](#)，[杨凤娟](#)，[魏珉](#)，[史庆华](#)，[CHU Min](#)，[WANG Xiufeng](#)，[WANG Shufen](#)，[YANG Fengjuan](#)，[WEI Min](#)，[SHI Qinghua](#)

作者单位：[初敏, CHU Min\(山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安, 271018\)](#)，[王秀峰, 杨凤娟, 魏珉, 史庆华, WANG Xiufeng, YANG Fengjuan, WEI Min, SHI Qinghua\(山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018; 山东农业大学作物生物学国家重点实验室, 山东泰安271018\)](#)，[王淑芬, WANG Shufen\(山东农业科学院蔬菜研究所, 济南, 250100\)](#)

刊名：[西北农业学报](#) 

英文刊名：[Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica](#)

年，卷(期)：2012, 21 (2)

被引用次数：5次

参考文献(33条)

1. [李国婧;周曼](#) [水杨酸与植物抗非生物胁迫](#)[期刊论文]-[植物学通报](#) 2001(03)

2. [原永兵;曹宗巽](#) [水杨酸在植物体内的作用](#) 1994(03)

3. [Anders M D;Chen Z;Klessig D F](#) [Possible involvement of lipid peroxidation in salicylic acid-mediated induction of PR1 gene expression](#) 1998

4. [Ashraf Metwally;Iris Finkemeier;Manfred Georgi](#) [Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings](#) 2003

5. [吴楚;王政权](#) [外源水杨酸对水曲柳幼苗遭受冷害后抗光氧化能力的影响](#) 2003(02)

6. [孙艳;崔鸿文](#) [SA对黄瓜幼苗形成及抗低温胁迫效应](#) 2000

7. [Kang G;Wang Z;Sun G](#) [Participation of H2O2 in enhancement of cold chilling by salicylic acid in banana seedlings](#) 2003

8. [陈培琴;郁松林;詹妍妮](#) [茉莉酸和水杨酸对热胁迫下葡萄幼苗抗氧化能力的影响](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2006(05)

9. [Larkindale J;Knight M R](#) [Protection against heat stress-induced oxidative damage in Arabidopsis involves calcium, ethylene and salicylic acid](#) 2002

10. [Janda T;Szalai G;Padi E](#) [Hydr oponioc treatment with salicylic acid decrease the effects of chilling injury in maize](#) 1999

11. [宋士清;郭世荣;尚庆茂](#) [外源SA对盐胁迫下黄瓜幼苗的生理效应](#)[期刊论文]-[园艺学报](#) 2006(01)

12. [张志刚;尚庆茂](#) [水杨酸、壳聚糖对盐胁迫下黄瓜叶片光合参数的调节作用](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2010(03)

13. [Dat J F;Lopez D H;Foyer C H](#) [Effects of salicylic acid on oxidative stress and thermo tolerance in tobacco](#) 2000

14. [代晓霞;生吉萍;申琳](#) [外源水杨酸和内源H2O2对黄瓜抗冷性的影响](#)[期刊论文]-[中国农业大学学报](#) 2007(01)

15. [张春光;荆红梅](#) [水杨酸诱导植物抗性的研究进展](#) 2001(03)

16. [康国章;孙谷畴;王正询](#) [水杨酸在植物抗环境胁迫中的作用](#)[期刊论文]-[广西植物](#) 2004(02)

17. [张素勤;耿广东;谭玉丽](#) [水杨酸对辣椒抗寒性的影响](#) 2008

18. [高波;邵永春;徐坤](#) [外源水杨酸对草莓抗冷性的影响](#)[期刊论文]-[青岛农业大学学报\(自然科学版\)](#) 2007(02)

19. [吴能表](#) [外源水杨酸对萝卜低温胁迫的缓解作用](#)[期刊论文]-[西南农业大学学报\(自然科学版\)](#) 2006(05)

20. [郭世荣](#) [无土栽培学](#) 2004

21. [赵世杰;刘华山;董新春](#) [植物生理学实验指导](#) 1998

22. [李合生;孙群;赵世杰](#) [植物生理生化实验原理和技术](#) 2000

23. [Cakmak I;Marschner H](#) [Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbic acid peroxidase, and glutathione reductive enzyme in bean leaves](#) 1992

24. [朱祝军;喻景权;Joska Gerendas](#) [氮素形态和光照强度对烟草生长和H2O2清除酶活性的影响](#) 1998(04)

25. [Prochazkovar K D;Sairam G C;Srivastava D V](#) [Single oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves](#)[外文期刊] 2001(4)

26. [Nakano Y;Asada K](#) [Hydrogen peroxide scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplast](#) 1981

27. [刘娥娥;宗会;郭振飞](#) [干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响](#)[期刊论文]-[热带亚热带植物学报](#) 2000(03)

28. [薛国希;高辉远;李鹏民](#) [低温下壳聚糖处理对黄瓜幼苗生理生化特性的影响](#)[期刊论文]-[植物生理与分子生物学学报](#) 2004(04)

29. [Schat H;Sharma S S;Vooijs R](#) [Heavy metal-induced accumulation of free praline in a metal-tolerant and a nontolerant ecotype of Silene vulgaris](#) 1997

30. [Bassi R;Sharma S S](#) [Proline accumulation in wheat seedling exposed to zinc and copper](#) 1993

31. [王孝宣;李树德;东慧茹](#) [番茄品种耐寒性与ABA和可溶性糖含量的关系](#) 1998(01)

32. [王利军](#) [高温锻炼和水杨酸对葡萄抗热性的诱导及信号传导研究](#) 2001

33. [Chen Zhixiang;Silva H;Klessig D F](#) [Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salicylic acid](#) 1993

引证文献(6条)

1. [常云霞](#), [徐克东](#), [陈璨](#), [陈龙](#) [水杨酸对低温胁迫下大豆幼苗生长抑制的缓解效应](#)[期刊论文]-[大豆科学](#) 2012(6)

2. [常云霞](#), [于祖义](#), [陈璨](#), [雷倩倩](#), [陈龙](#) [不同浓度水杨酸处理对玉米幼苗抗寒性的影响](#)[期刊论文]-[周口师范学院学报](#) 2013(5)

3. [常云霞](#), [徐克东](#), [陈璨](#), [阮先乐](#), [朱慧琴](#), [陈龙](#) [水杨酸对低温胁迫下黄瓜幼苗叶片抗寒生理指标的影响](#)[期刊论文]-[北方园艺](#) 2013(12)

4. [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](#)[期刊论文]-[浙江农业学报](#) 2013(4)

5. [尹健康](#) [外源化学物质与烟草抗寒性关系的研究进展](#)[期刊论文]-[江西农业学报](#) 2013(3)

6. [赵晓帼](#), [朱毅](#), [罗云波](#) [查看详情](#)[期刊论文]-[北方园艺](#) 2014(15)

引用本文格式: [初敏](#), [王秀峰](#), [王淑芬](#), [杨凤娟](#), [魏珉](#), [史庆华](#), [CHU Min](#), [WANG Xiufeng](#), [WANG Shufen](#), [YANG Fengjuan](#), [WEI Min](#), [SHI Qinghua](#) [外源SA预处理对低温胁迫下萝卜幼苗的生理效应](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2012(2)