

水杨酸对青椒抗冷性的影响

丁 天, 史君彦, 王 清, 高丽朴

(北京市农林科学院 蔬菜研究中心, 北京 100097)

摘 要:以青椒为试材,研究不同浓度水杨酸(SA)溶液对青椒抗冷性的影响。结果表明:以 2.0 mmol/L 浓度的 SA 处理效果最佳。经过 SA 处理可有效抑制青椒表面水浸凹陷,改善青椒冷藏期间的贮藏品质,延缓青椒果实中叶绿素的降解和维生素 C 的流失,抑制细胞膜透性的增加和丙二醛(MDA)含量的积累,并使抗氧化系统酶类过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、谷胱甘肽还原酶(GR)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性始终维持在较高水平。

关键词:青椒;水杨酸(SA);冷害

中图分类号:S 641.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)09-0154-05

青椒在我国普遍栽培,果实可烹制可口的菜肴,且维生素 C 含量高,是一种大众化蔬菜^[1]。青椒(*Caprigum amtuum* L.)属茄科(Solanaceae)茄亚族(Solaninac Dunal)辣椒属(*Capsicum*)的一年生或多年生作物^[2],属冷敏性蔬菜,贮藏温度低于一定的界限就会发生冷害,使果实代谢失调、品质劣变^[3]。目前青椒果实被公认的最佳商业贮藏温度为 9~11℃,低于 9℃易发生冷害,影响其食用性与商品价值。因此探究一种经济安全有效的方法延缓青椒采后冷藏期间的生理生化变化,对维持青椒良好品质,延长其贮藏期具有深远意义,进而为“南菜北运”中青椒的安全流通运输技术提供理论依据。

水杨酸(salicylic acid, SA)是一种广泛存在于高等植物中的简单酚类物质,能够影响果实的后熟衰老^[4],水杨酸因参与调节植物体内多种重要生理生化过程而被

认为是一种新的植物内源激素^[5]。近年来,一些研究报道了水杨酸(SA)和甲基水杨酸(MeSA)处理能够提高采后园艺农作物对冷害的抵抗力,如西红柿^[6]、枇杷^[7]、芒果^[8]、桃^[9]、石榴^[10]及菠萝^[11]等。该试验通过研究不同浓度水杨酸处理青椒,观察测定其在 3℃贮藏期间冷害及相关生理生化指标的变化,以期为果蔬贮藏生产中应用 SA 处理抑制冷害发生提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试青椒品种为“丰田新秀”,采自北京市顺义区北务镇,采后立即运回实验室。挑选无病虫害、无机械伤、大小适中、色泽亮绿青椒果实备用。

1.2 试验方法

将青椒浸泡在 0.5、1.0、2.0 mmol/L 的 SA 常温溶液中 20 min,以不浸泡 SA 溶液的青椒为对照(CK),取出自然晾干后,贮藏于 3℃的冷库中。

1.3 项目测定

1.3.1 冷害指数 青椒冷害指数测定及分级标准^[12]见表 1。冷害指数 = $\sum(\text{冷害级别} \times \text{数量}) / (\text{最大级数} \times \text{总数量}) \times 100\%$ 。

1.3.2 叶绿素含量和维生素 C 含量的测定 叶绿素含

第一作者简介:丁天(1988-),女,河南新乡人,硕士研究生,研究方向为食品加工与贮藏。E-mail:dingtiantian716@163.com.

责任作者:高丽朴(1954-),女,研究员,现主要从事农产品贮藏与加工等研究工作。E-mail:gaolipu@nrcv.org.

基金项目:国家大宗蔬菜产业体系建设资助项目(CARS-25-E-01);北京市农林科学院创新基金资助项目(cxjj201304)。

收稿日期:2013-12-19

Abstract: Taking jujube slag as material, insoluble dietary fiber of enzymatic extraction technology by single factor and orthogonal test from jujube slag and functional properties were studied. The results showed that the water bath temperature, bath time, type and adding amount of enzymes had significant effects on yield rate of insoluble dietary fiber, and the optimizing condition of enzymatic extraction technology was α -amylase dosage of 1.0%, water bath time of 90 min, water bath temperature of 70℃. Under the condition, the yield rate was 24.8% and was 1.50 times than that of chemical extraction technology. But the water-holding capacity, oil-holding capacity and expansion ratio of insoluble diary fiber by enzymatic extraction technology were lower compared with the chemical technology.

Key words: jujube slag; insoluble dietary fiber; enzymatic extraction technology; functional properties

表 1 青椒冷害指数分级标准

级数	0	1	2	3
表现特征	无冷害	轻微冷害,冷害	中度冷害,冷害	严重冷害,冷害
症状		面积不超过 1/4	面积 1/4~1/2	面积超过 1/2

量的测定采用曹建康等^[13]的方法稍作修改,用丙酮:乙醇(2:1)提取液浸提。维生素 C 含量的测定采用钼酸铵测定法^[14],用草酸-EDTA 提取液提取,反应体系为 1 mL 样品上清,4 mL 草酸-EDTA,0.5 mL 偏磷酸-乙酸,1 mL 5%硫酸,2 mL 5%钼酸铵在 30℃ 水浴 15 min,测定 760 nm 的吸光值,3 次重复。

1.3.3 细胞膜透性的测定 定期取果 4 个,打孔器取果实圆片 2 g,用蒸馏水冲洗,滤纸拭去附着水分,置于 20 mL 蒸馏水中,用 HANNA EC215 电导率仪测外渗液的电导值,加热煮沸 20 min,待冷却后再次测定电导值,以 2 次测定的电导值的比值—相对电导率代表果肉组织细胞膜透性,3 次重复。

1.3.4 丙二醛(MDA)含量的测定 MDA 含量的测定采用 Pongprasert 等^[15]的方法。

1.3.5 POD 活性和 CAT 活性测定 POD 活性测定采用愈创木酚法^[13]。CAT 活性的测定参照曹建康等^[13]的方法稍作修改,反应体系为 1.9 mL 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 7.0),0.1 mL 粗酶提取液,1 mL 0.3% H₂O₂ 溶液混匀,测定 240 nm 处吸光度,3 次重复。

1.3.6 谷胱甘肽还原酶(GR)活性和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性测定 谷胱甘肽还原酶(GR)活性测定采用 Wang 等^[16]的方法稍作修改,反应体系为 2.5 mL 磷酸钾缓冲液,500 μL 6 mmol/L 氧化型谷胱甘肽和 250 μL 5 mmol/L NADPH 溶液,混匀测定 340 nm 处吸光值,3 次重复。抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性参照等 Andrade 等^[17]的方法,测定 290 nm 处吸光值,3 次重复。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 SA 对青椒冷害指数的影响

从图 1 可以看出,对照的青椒,冷藏 6 d 时出现冷害症状,即水浸状斑块,冷藏到第 18 天,冷害指数已达到 28.33%;而 SA 处理的青椒冷害发生延迟到第 9 天出现,并且其冷害指数明显低于对照。表明 SA 处理能够有效抑制青椒冷害的发生。这与 Fung 等^[18]在甜椒上的研究结果是一致的。

2.2 不同浓度 SA 对青椒叶绿素含量的影响

由图 2 可知,随冷藏时间的延长,青椒叶绿素含量呈下降趋势。SA 处理的青椒叶绿素含量始终高于对照,贮藏到第 21 天时,不同浓度 SA 处理的青椒叶绿素含量分别为 0.113、0.115、0.119 mg/g,而对照的叶绿素

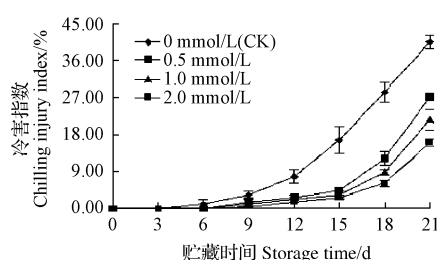


图 1 SA 处理对青椒冷害指数的影响

Fig. 1 Effect of SA treatment on chilling injury index of pepper

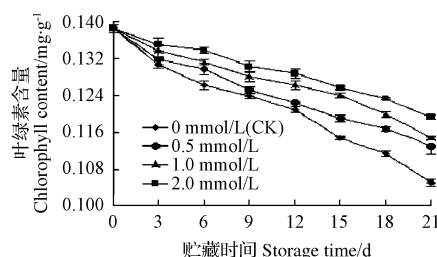


图 2 SA 处理对青椒叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effect of SA treatment on chlorophyll content of pepper

含量已经降到 0.105 mg/g。随着贮藏时间的延长,叶绿素降解速度明显加快。SA 处理并不能完全阻止叶绿素的降解,而只是减缓叶绿素降解的速度,其中 2.0 mmol/L SA 处理在整个贮藏期叶绿素含量稳定高于其它处理。

2.3 不同浓度 SA 对青椒维生素 C 含量的影响

由图 3 可知,青椒维生素 C 含量随着贮藏时间的延长而不断的流失,SA 处理果实的维生素 C 含量始终高于对照。贮藏到第 21 天时,不同浓度 SA 处理的青椒维生素 C 含量分别为 0.812、0.909、0.963 mg/g,而对照青椒的维生素 C 含量仅为 0.793 mg/g。其中,2.0 mmol/L SA 处理的青椒更有利于维持其果实维生素 C 含量。

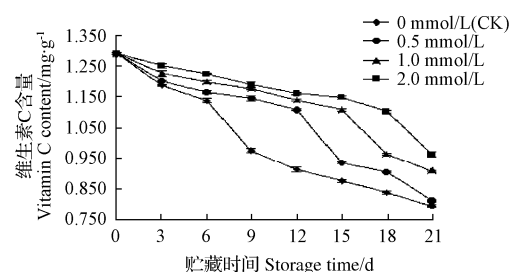


图 3 SA 处理对青椒维生素 C 含量的影响

Fig. 3 Effect of SA treatment on vitamin C content of pepper

2.4 不同浓度 SA 对青椒细胞膜透性的影响

细胞膜在植物组织的新陈代谢过程中具有重要作用,其透性的高低反映了细胞膜的完整程度和稳定性,

因此细胞膜渗透率已经被广泛用作反映冷害的一个指标^[19]。由图 4 可知,贮藏期间青椒细胞膜透性呈上升趋势,而 SA 处理的青椒果实相对电导率显著低于对照,贮藏到第 21 天时,SA 处理分别上升到 21.52%、21.35%、17.85%,而对照的相对电导率达到 33.06%,显著高于 SA 处理的青椒。结果表明,随着贮藏时间的延长,青椒细胞膜透性增加,膜受损加重,SA 处理可有效减轻膜受损,降低冷害发生的程度。

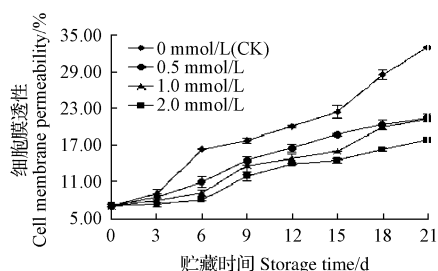


图 4 SA 处理对青椒细胞膜透性的影响

Fig. 4 Effect of SA treatment on cell membrane permeability of pepper

2.5 不同浓度 SA 对青椒丙二醛(MDA)含量的影响

由于脂质过氧化,冷害可以改变细胞膜的结构,MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,组织中 MDA 水平的变化,是反映植物遭受低温胁迫时细胞膜脂质过氧化的一个重要指标^[20]。由图 5 可知,随着贮藏期延长,青椒 MDA 含量呈上升趋势,对照的 MDA 含量迅速增加,第 21 天对照 MDA 含量分别比 0.5、1.0 mmol/L SA 处理的青椒 MDA 含量高 23.10% 和 43.71%,是 2.0 mmol/L SA 处理的青椒 MDA 含量的 2 倍。SA 处理能够有效抑制 MDA 含量的增加,维持青椒的品质。

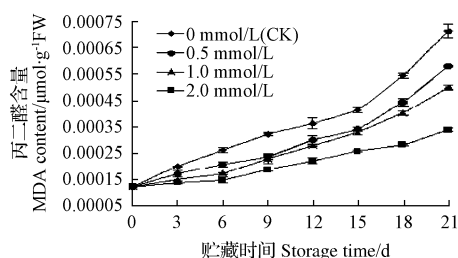


图 5 SA 处理对青椒丙二醛(MDA)含量的影响

Fig. 5 Effect of SA treatment on MDA content of pepper

2.6 不同浓度 SA 对青椒过氧化物酶(POD)活性的影响

果蔬冷害的发生与活性氧代谢的平衡是密切相关的。当果蔬遭受冷害时,抗氧化酶系统活性下降,使活性氧自由基大量积累。积累的活性氧首先攻击膜系统,

使膜质发生过氧化,最终导致细胞膜损伤^[21]。过氧化物酶(POD)是果蔬体内普遍存在的一种重要的氧化还原酶,可以有效地清除果实代谢过程中产生的活性氧,使其维持在一个较低水平,从而防止活性氧引起的膜脂过氧化及其它伤害,保护果实的正常生理代谢。由图 6 可知,不同浓度 SA 处理的青椒果实 POD 活性在贮藏第 6 天达到最高峰,之后 POD 活性随着贮藏时间的延长降低,2.0 mmol/L SA 处理的青椒果实在整个贮藏期间 POD 活性最高,其高峰值为 $1.52 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$,对照高峰值仅为 $1.13 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在贮藏末期,2.0 mmol/L SA 处理的青椒果实 POD 活性比对照高 34.5%,说明 SA 处理可有效增强青椒果实 POD 活性,抑制果实冷害的发生,其中 2.0 mmol/L SA 处理的效果最好。

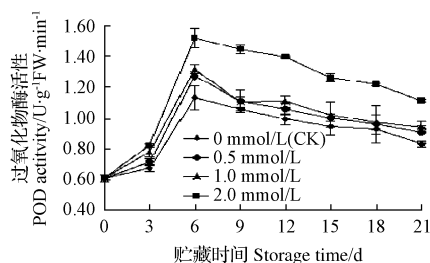


图 6 SA 处理对青椒过氧化物酶活性的影响

Fig. 6 Effect of SA treatment on POD activity of pepper

2.7 不同浓度 SA 对青椒过氧化氢酶(CAT)活性的影响

果蔬体内积累的过氧化氢(H_2O_2)可以直接或间接导致细胞膜脂质过氧化损害,加速细胞衰老死亡。过氧化氢酶(CAT)能催化植物体内积累的 H_2O_2 分解为水和分子氧,从而降低 H_2O_2 对果蔬组织可能造成的氧化伤害。由图 7 可知,贮藏过程中,青椒 CAT 活性呈先上升后下降的趋势,CAT 活性的峰值出现在贮藏的第 9 天,SA 处理的青椒 CAT 活性显著高于对照,且 SA 处理明显提高了 CAT 活性峰值,其中 2.0 mmol/L SA 效果最显著,其峰值为 $224.06 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$,比对照高 13.7%。在贮藏末期,2.0 mmol/L SA 处理的青椒果实 CAT 活性仍达 $178.31 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。说明 SA 处理诱导青椒果实的抗性,提高 CAT 的活性,减弱其膜脂过氧化作用,进而减轻冷害的发生,提高了果实抗冷性。

2.8 不同浓度 SA 对青椒谷胱甘肽还原酶(GR)活性的影响

各种逆境胁迫都可诱发细胞内活性氧浓度的增加而导致氧化胁迫,植物的抗冷性与抗氧化物含量的增加和清除自由基酶活性的增强密切相关,GR 在植物的逆

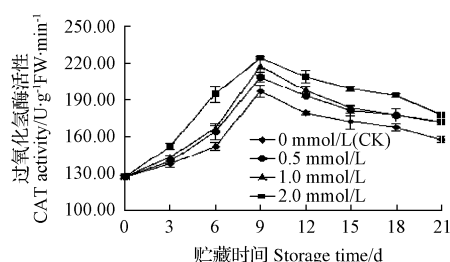


图7 SA处理对青椒过氧化氢酶活性的影响

Fig. 7 Effect of SA treatment on CAT activity of pepper

境胁迫适应中起着十分重要作用^[22]。由图8可知,在整个冷藏期间GR活性呈先上升后下降的趋势,第9天达到峰值且SA处理的青椒GR活性显著高于对照组,其中2.0 mmol/L的效果最好。2.0 mmol/L SA处理的青椒果实GR活性峰值为 $41.50 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$,比对照高37.1%,贮藏末期,2.0 mmol/L SA处理的青椒果实GR活性比对照高24.7%,SA处理能够显著提高青椒果实GR活性,增强其抗氧化性,抑制冷害的发生。

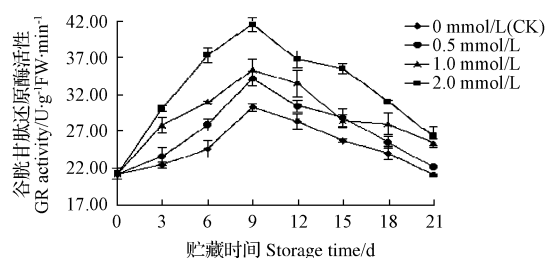


图8 SA处理对青椒谷胱甘肽还原酶活性的影响

Fig. 8 Effect of SA treatment on GR activity of pepper

2.9 不同浓度SA处理对青椒抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的影响

抗坏血酸过氧化物酶(APX)是植物细胞中防御外界氧化胁迫和植物本身活性氧代谢的重要抗氧化酶类,在降低 H_2O_2 对植物细胞产生氧化损伤方面起关键作用^[23]。由图9可以看出,青椒果实APX活性到贮藏第9天均呈上升趋势,随后各处理APX活性降低,其中对照下降迅速,而2.0 mmol/L SA处理的青椒果实APX活性峰值最高,为 $267.63 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$,对照峰值最小,为 $239.84 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。在贮藏末期,2.0 mmol/L SA处理的青椒果实APX活性为 $219.04 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{ FW} \cdot \text{min}^{-1}$,对照青椒果实APX活性为2.0 mmol/L SA处理的71.3%。结果表明,SA处理能够有效增强APX活性,增强青椒的抗氧化效力,其中2.0 mmol/L SA处理的青椒果实效果最好。

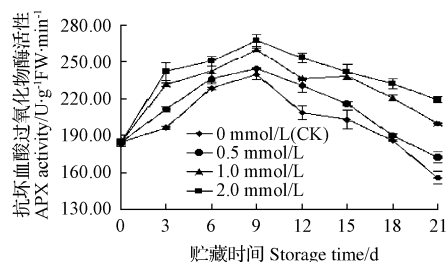


图9 SA处理对青椒抗坏血酸过氧化物酶活性的影响

Fig. 9 Effect of SA treatment on APX activity of pepper

3 讨论与结论

冷害是由不适宜的低温引起的生理失调现象,引起果实细胞膜透性的增加和脂质过氧化,表现出果实表面的水渍状亦是冷害的较早表现^[24],极大地影响了其食用与商品价值。采后冷害是影响青椒等冷敏感性果蔬冷藏期品质的重要因素,低温贮藏产生冷害可引起青椒果实细胞膜透性增大、丙二醛积累,果实叶绿素和维生素C损失加快^[25],同时低温冷害导致青椒活性氧清除酶活性降低,主要是CAT和APX活性降低,POD活性升高,而低温也刺激脂氧合酶活性的升高,促使膜质过氧化加强,细胞膜透性增大^[1]。SA处理可以减轻果蔬腐烂及其采后冷害的影响,适宜浓度的SA处理可有效提高黄瓜和番茄果实的抗冷性^[26],提高桃果实的冷藏性^[27],抑制猕猴桃低温冷害变软^[28],延长果实低温贮藏的时间,维持了低温条件下果蔬的营养品质,抑制冷害对果蔬贮藏期间的危害。

该试验结果表明,SA处理对于“丰田新秀”青椒在3℃贮藏下冷害的发生及其各项生理生化指标有显著地影响。SA处理可以减轻青椒果实冷害的发生,降低冷害指数,抑制细胞膜渗透率,以及MDA含量的积累;减缓叶绿素和维生素C含量的下降,并且使抗氧化系统酶类POD、CAT、GR以及APX的活性始终维持在较高的水平,其中以2.0 mmol/L SA处理的效果最好。

参考文献

- [1] 侯建设,李中华,席巧芳. 青椒果实冷害与活性氧清除酶和脂氧合酶活性变化的关系[J]. 食品科技, 2006(12): 164-168.
- [2] 徐剑峰. 甜椒耐热机理及热胁迫下生理、生化变化的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2005.
- [3] 张平,王莉,李丽秀,等. 辣椒贮藏生理的研究进展[J]. 天津农业科学, 1995(5): 40-44.
- [4] Yao H J, Tian S P. Effects of pre-and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(3): 253-262.
- [5] 吴锦程,陈群,唐朝晖,等. 外源水杨酸对冷藏枇杷果实木质化及相关酶活性的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 175-179.

- [6] Ding C K, Wang C Y, Gross, K C, et al. Reduction of chilling injury and transcript accumulation of heat shock proteins in tomato fruit by methyl jasmonate and methyl salicylate[J]. Plant Sci, 2001, 161(6): 1153-1159.
- [7] Cai C, Li X, Chen K S. Acetylsalicylic acid alleviates chilling injury of postharvest loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruit[J]. Eur Food Res Technol, 2006, 223(4): 533-539.
- [8] Ding Z S, Tian S P, Zheng X L, et al. Responses of reactive oxygen metabolism and quality in mango fruit to exogenous oxalic acid or salicylic acid under chilling temperature stress[J]. Physiol Plant, 2007, 130(1): 112-121.
- [9] Cao S F, Hu Z C, Zheng Y H, et al. Synergistic effect of heat treatment and salicylic acid on alleviating internal browning in cold-stored peach fruit[J]. Postharvest Biol Technol, 2010, 58(2): 93-97.
- [10] Sayyari M, Babalar M, Kalantari S, et al. Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates[J]. Postharvest Biol Technol, 2009, 53(3): 152-154.
- [11] Lu X H, Sun D Q, Mo Y W, et al. Effects of post-harvest salicylic acid treatment on fruit quality and anti-oxidant metabolism in pineapple during cold storage[J]. J Hort Sci Biotechnol, 2010, 85: 454-458.
- [12] 石建新, 赵迎丽, 阎晓芳, 等. 青椒的冷害症状及统计方法[J]. 北方园艺, 1999(2): 7-8.
- [13] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 9.
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [15] Pongprasert N, Sekozawa Y, Sugaya S, et al. A novel postharvest UV-C treatment to reduce chilling injury (membrane damage, browning and chlorophyll degradation) in banana peel[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 130(1): 73-77.
- [16] Wang L, Chen S, Kong W, et al. Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and affects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(3): 244-251.
- [17] Andrade C M J, Vicente A R, Concellón A, et al. Changes in red pepper antioxidants as affected by UV-C treatments and storage at chilling temperatures[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(7): 1666-1671.
- [18] Fung R W M, Wang C Y, Smith D L, et al. MeSA and MeJA increase steady-state transcript levels of alternative oxidase and resistance against chilling injury in sweet peppers (*Capsicum annuum* L.) [J]. Plant Science, 2004, 166(3): 711-719.
- [19] McCollum T G, McDonald R E. Electrolyte leakage, respiration, and ethylene production as indices of chilling injury in grapefruit[J]. Hort Science, 1991, 26(9): 1191-1192.
- [20] Posmyk M M, Bailly C, Szafrńska K, et al. Antioxidant enzymes and isoflavonoids in chilled soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) seedlings[J]. Journal of Plant Physiology, 2005, 16(4): 403-412.
- [21] 张海燕. 外源腐胺对油桃贮藏冷害、品质及生理变化的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [22] Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt K V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review[J]. Annals of Botany, 2003, 91: 179-194.
- [23] 孙云, 江春柳, 赖钟雄, 等. 茶树鲜叶抗坏血酸过氧化物酶活性的变化规律及测定方法[J]. 热带作物学报, 2008, 29(5): 562-566.
- [24] 赵迎丽, 王春生, 郝利平. 青椒果实低温贮藏及冷害生理的研究[J]. 山西农业大学学报, 2003, 23(2): 129-132.
- [25] 张瑞, 史晓亚, 张会丽, 等. 不同贮藏温度对青椒生理性状的影响[J]. 河南农业科学, 2013, 42(4): 111-114.
- [26] 韩涛, 李丽萍, 冯双庆. 外源水杨酸处理对采后番茄和黄瓜果实抗冷性的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(5): 571-575.
- [27] 陈双建, 王利军, 刘庆昌, 等. 贮藏前外源水杨酸处理对桃果实冷害性的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(9): 219-224.
- [28] Mo Y, Gong D, Liang G, et al. Enhanced preservation effects of sugar apple fruits by salicylic acid treatment during post-harvest storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(15): 2693-2699.

Effect of Salicylic Acid on Chilling Resistance of Green Pepper

DING Tian, SHI Jun-yan, WANG Qing, GAO Li-pu

(Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097)

Abstract: Taking green pepper as material, the chilling resistance of green pepper treated by different concentrations salicylic acid (SA) was studied. The results showed that SA treatment effectively inhibited the surface flooding concavity of pepper, improved the storage quality during cold storage, delayed the degradation of chlorophyll and vitamin C, suppressed the increase of membrane permeability and the accumulation of MDA content, and also maintained a high enzyme activities level of antioxidant system, including POD, CAT, GR and APX. The best concentration of SA was 2.0 mmol/L.

Key words: green pepper; salicylic acid(SA); chilling