

不同浓度水杨酸处理对草莓采后保鲜的影响

余璐璐¹, 曹中权¹, 朱春娇¹, 徐飞^{1,2*}

武汉生物工程学院¹生命科学与技术学院, ²应用生物技术研究中心, 武汉430415

摘要: 研究了不同浓度水杨酸(salicylic acid, SA)处理对采后草莓保鲜的影响。结果表明, 高浓度SA处理(0.1、0.2和0.5 mmol·L⁻¹ SA)对草莓采后保鲜效果不明显, 与普通草莓一样在常温下储藏2 d后发生腐烂。相反, 低浓度SA (10、20和50 μmol·L⁻¹ SA)处理草莓后, 草莓采后储藏保鲜时间明显延长, 其中20 μmol·L⁻¹ SA处理2 min效果最好, 处理后的草莓可在常温下保鲜6 d以上。与对照组草莓相比, 20 μmol·L⁻¹ SA处理组草莓采后储藏期间的果实品质较好, 硬度、相对含水量、可溶性糖含量、可滴定酸和维生素C含量均维持在一个较高的水平。其次, 20 μmol·L⁻¹ SA处理草莓能有效减少在采后储藏期间过氧化氢含量和电解质渗漏的上升, 同时维持较高水平的抗氧化酶类活性, 减轻储藏期间的氧化损伤。这些结果表明, 20 μmol·L⁻¹ SA处理草莓能起到较好保鲜效果, 具有较好的应用价值。

关键词: 水杨酸; 草莓; 采后储藏

Effects of Salicylic Acid Treatment at Different Concentrations on Postharvest Storage of Strawberry

YU Lu-Lu¹, CAO Zhong-Quan¹, ZHU Chun-Jiao¹, XU Fei^{1,2*}

¹College of Life Science and Biotechnology, ²Center of Applied Biotechnology, Wuhan Institute of Bioengineering, Wuhan 430415, China

Abstract: In this study, the effects of exogenous salicylic acid (SA) treatment at different concentrations on postharvest storage of strawberry were investigated. Results showed that the higher concentrations of SA (0.1, 0.2, and 0.5 mmol·L⁻¹ SA) treatment did not significantly promote strawberry postharvest storage, and those fruit began to decay after 2 days of storage at normal temperature as the control strawberry. On the contrary, the lower concentrations of SA (10, 20, and 50 μmol·L⁻¹ SA) treated strawberry had a prolonged postharvest storage, especially the 20 μmol·L⁻¹ SA-treated group, which the refreshing time could reach 6 days. Results also showed that 20 μmol·L⁻¹ SA-treated strawberry had a better fruit quality, and the fruit firmness, relative water content, soluble sugar, titratable acid and vitamin C content were maintained at a higher level when compared with the control strawberry. In addition, application of 20 μmol·L⁻¹ SA markedly inhibited the rising of hydrogen peroxide and electrolyte leakage, but significantly enhanced the antioxidant enzyme activities and prohibited the oxidative damage on strawberry. These results indicate that treatment of strawberry with 20 μmol·L⁻¹ SA has a good preservation effect and has a good application value.

Key words: salicylic acid; strawberries; postharvest storage

草莓(*Fragaria ananassa*)系蔷薇科(Rosaceae)草莓属的多年生常绿草本植物, 属于多倍体植物, 又叫红莓、洋莓、地莓等。草莓属植物起源于美洲、欧洲和亚洲, 全世界总共有50个种, 起源于亚洲的有8种, 而我国是野生草莓的发源地之一。草莓果肉柔软多汁, 气味芳香, 味道爽口, 是世界上七大水果之一, 享有“水果之王”的美誉(王纪忠等2012)。草莓具有很高的食用价值和药用价值, 在药理中有清火解热、利尿止泻的作用; 在食疗中有治病、防癌的功能(罗学兵和贺良明2011)。

草莓属非呼吸跃变型的浆果, 成熟后呼吸旺盛, 水分易快速损失, 采收后在室温下只能存放1~2 d, 而在采摘、装运、贮藏和销售中又极易受到机械损伤, 容易遭受微生物侵染而致使果肉腐烂变败, 缩短其保鲜期, 种种因素使得草莓的远销

收稿 2015-09-09 修定 2015-09-22

资助 国家自然科学基金(31400242)和湖北省教育厅指导性项目(B2015395)。

* 通讯作者(E-mail: feixu666@hotmail.com; Tel: 027-89645439)。

和生产的大规模发展受到限制(李艳萍和郑服从2002)。因此, 延缓草莓果实采后衰老, 延长草莓货架期, 保持其良好的生理品质和商品价值是草莓生产和开发中需要解决的难题。

国内外对草莓贮藏保鲜的方法主要有低温冷藏、气调贮藏、辐射贮藏和化学保鲜(吴玉月等2011; 张正周等2013)。冷藏和气调贮藏对草莓的保鲜效果好, 但是耗资大, 对仪器和技术要求较高; 辐射贮藏剂量过大易加速草莓果实组织软化; 化学剂具有毒性, 对环境及人体健康造成影响。因此, 寻求更为安全有效的采后保鲜措施显得十分必要。

水杨酸(salicylic acid, SA)是一种在植物体内产生的简单酚类化合物(徐聪2011), 其衍生物有乙酰水杨酸(ASA)和水杨酸甲酯(MeSA), 这两类衍生物在植物体内极易转化成SA而发挥作用。以往的研究表明, SA参与并影响植物多种代谢过程, 如诱导植物成花、繁殖营养器官、气孔调节和植物抗病、保护膜系统、延缓成熟衰老等(常燕平2008)。SA在苹果(田志喜和张玉星2001)、香蕉(Srivastava和Dwivedi 2000)、猕猴桃(Zhang等2003)、脐橙(Huang等2008)和柑橘(王淑娟等2012)等水果上均表现出良好的保鲜效果, 可有效降低果实的腐烂率、保持果实硬度、维持其生理品质、提高生物抗逆性、延缓果实成熟衰老进程。

为此, 本文以新鲜草莓为研究材料, 选用不同浓度的SA溶液, 研究SA处理后草莓果实储藏变化, 及储藏期间各种生理品质的变化规律, 以期为进一步阐明SA在草莓采后保鲜过程中的功能奠定基础。

材料与amp;方法

1 供试材料

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.) (供试草莓选购于新洲本地, 武汉生物工程学院后街晶晶草莓园, ‘法拉第’品种)八成熟, 大小均一的正果。在草莓大棚中采摘果形正、果个适中、无病虫害、无机械伤的新鲜草莓, 采摘时即用塑料盒盛装分级, 以避免更换容器时碰损浆果, 用剪刀剪取果柄, 轻拿轻放, 不损伤花萼及浆果, 立即运回实验室备用。

2 草莓处理

水杨酸处理分为高浓度和低浓度2个处理组。高浓度处理组采用0.1、0.2和0.5 mmol·L⁻¹ SA溶液浸泡处理, 低浓度处理组采用10、20和50 μmol·L⁻¹ SA溶液浸泡处理。对照组草莓用超纯水处理。每组草莓浸泡不同时间后, 用滤纸吸干多余水分, 置于(20±1) °C常温下储存, 每组实验重复3次, 每天拍照观察及测定草莓各种理化指标。

3 草莓果实各项生理参数的测定

3.1 果实硬度和失水率检测

草莓果实硬度采用GY-1型手持式硬度计进行检测, 挑取每个实验组中的草莓各3个, 在草莓中间部位测量硬度并记录数据, 单位为牛(N; kg/cm²)。草莓果实失水率检测参照Guo等(2013)的方法, 每天定时称量每组草莓的重量, 并记录下来, 换算果实储藏期间的失水变化情况。

3.2 可溶性糖和可滴定酸含量测定

可溶性糖含量测定参照Xu等(2012a)的方法进行。称取2 g草莓果肉, 研磨成匀浆后, 离心5 min, 用手持式糖度仪进行检测并记录数据, 每组平行3次取平均值。可滴定酸含量测定参照Krüger等(2011)的方法进行。

3.3 维生素C含量测定

维生素C含量的测定参照Xu等(2012b)的方法进行。取3 g左右的草莓果肉, 置于研钵中, 加液氮研磨成粉后, 加入8 mL预冷的10% (W/V) TCA溶液, 再次研磨成匀浆, 转入10 mL离心管中。在12 000×g条件下离心20 min, 取上清液备用。测定时向5 mL提取液中加入5 mL乙酸钠缓冲溶液和2 mL 2,6-二氯靛酚溶液, 混匀后加入10 mL二甲苯, 振荡10 s, 静置分层。从二甲苯层中小心吸取1份, 在525 nm处测定吸光度值。

3.4 果实相对电导率检测

电解质渗漏按Xu等(2012c)的方法测量。称取0.5 g草莓果实, 切成小块, 置于25 mL带塞子的试管中, 并加入约25 mL去离子水, 用真空泵抽气15 min以抽出果肉表面及细胞间隙的空气(中途放气2~3次)。接着定容至25 mL, 并静置1 h, 用DDS-II型电导率仪测定电导率(R_t)。然后, 将样品管放置于沸水浴中5 min以达到100%渗出, 冷却到室温后再测定总电导率(R_t), 用相对电解质渗透率 R_0 (%)= $R_t/R_t \times 100$ 表示质膜透性。

4 草莓果实过氧化氢(H₂O₂)及抗氧化酶类活性的测定

过氧化氢含量测定参照Velikova等(2000)方法进行。称取1 g草莓,加0.1% (W/V) TCA迅速研磨成浆,定容到10 mL离心管中。4 ℃、4 000 r·min⁻¹离心15 min。取1 mL上清液于另一只4 mL EP管中,并加入1 mL 10 mmol·L⁻¹磷酸钾缓冲液(pH 7.0)和2 mL 1 mol·L⁻¹ KI混匀反应约20 min。测定OD₃₉₀值,对照标准曲线读出H₂O₂的浓度,以此计算草莓果肉中H₂O₂的含量。

抗氧化酶类活性测定参照Wang等(2011)的方法。取1 g果肉置于预冷的研钵中,加入5 mL 0.05 mol·L⁻¹磷酸盐缓冲液(PBS,含0.2 mmol·L⁻¹ EDTA、2 mmol·L⁻¹ ASA和2% PVP, pH 7.0)后快速研磨。研磨液在8 000×g、4 ℃下离心20 min,吸取上清液用于抗氧化酶类活性的测定。

5 数据分析

所有的数据都重复测定3次,并计算标准偏差(standard deviation, SD)。采用Graphpad Prism 6.0软件分析数值的变化。以最小显著差异值(Least significant difference, LSD)小于0.05判断各种结果差异是否显著。

实验结果

1 高浓度SA溶液处理后草莓采后储藏变化

为比较不同浓度SA处理对草莓果实采后保鲜的影响,本实验先施用0.1、0.2和0.5 mmol·L⁻¹ SA溶液浸泡处理草莓果实5 min。如图1所示,对照组草莓保存至2 d时,草莓果实表面出现霉变情况,到第4天时,草莓腐烂情况严重。高浓度SA处理草莓后,草莓的保鲜效果比对照组略好,但储藏期并未明显延长。尤其在储藏第4天后,高浓度SA处理组草莓仍出现长霉腐烂等情况。

2 低浓度SA溶液处理后草莓采后储藏变化

进一步用低浓度SA处理草莓果实,采用10、20和50 μmol·L⁻¹ SA浸泡处理草莓5 min后,结果如图2所示。从图中可以看出,与对照组草莓相比,低浓度处理组草莓具有较好的保鲜效果,10、20和50 μmol·L⁻¹ SA处理组草莓在储藏期间保持较好的色泽及完好度,无水斑、无霉点。从储藏时间来

看,20 μmol·L⁻¹和50 μmol·L⁻¹ SA处理组草莓保鲜期均可延长至6 d以上,10 μmol·L⁻¹ SA处理组草莓在第6天开始有霉变现象。因此,综合保鲜效果和使用成本,本实验表明20 μmol·L⁻¹ SA为最佳处理浓度。

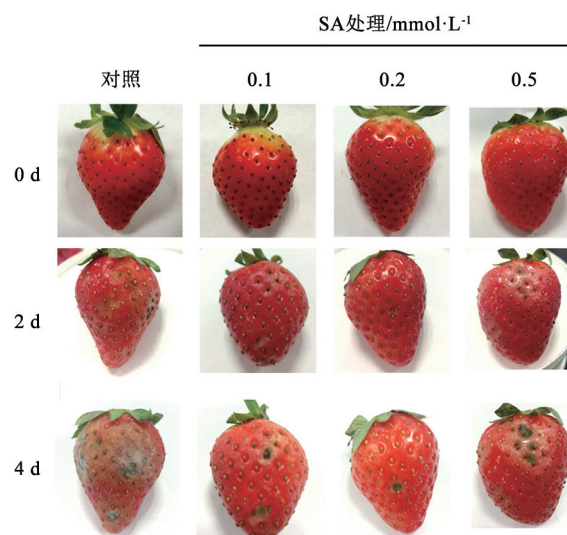


图1 高浓度SA处理对草莓采后储藏的影响
Fig.1 Effect of SA treatment at higher concentrations on postharvest storage of strawberry

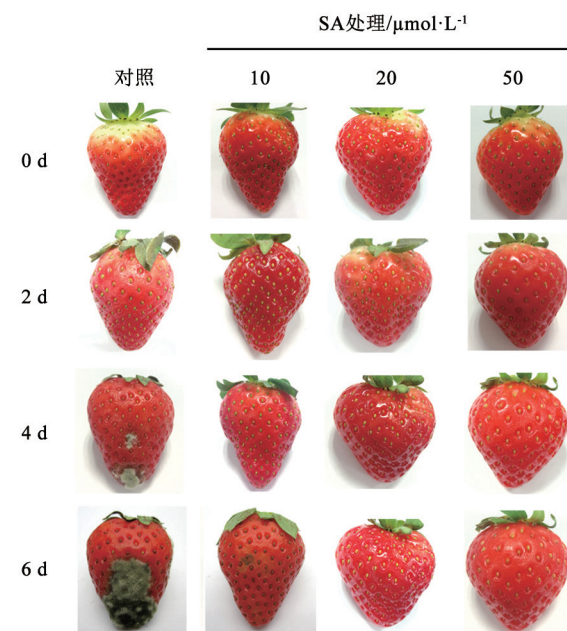


图2 低浓度SA处理对草莓采后储藏的影响
Fig.2 Effect of SA treatment at lower concentrations on postharvest storage of strawberry

3 水杨酸处理最佳时间

为进一步确定草莓SA浸泡最佳时间,本实验用 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理1、2和5 min后,观察草莓的成熟变化。从图3可以看出, $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理1、2和5 min后,草莓保鲜情况较好,总体来看,不同时间处理,储藏期及果实生理变化较一致。但 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理1 min组草莓,在储藏第6天,出现个别草莓霉变现象。综合考虑,本实验采用 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理2 min开展进一步实验研究。

4 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理对草莓果实品质的影响

从图4可以看出,在草莓采后贮藏期间,对照组和用 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA浸泡2 min处理组草莓的果实硬度、相对含水量均呈下降趋势(图4-A、B),但 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理组果实的硬度、相对含水量下降速度缓慢且始终高于对照组。此外,在储藏期间, $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理组果实的可溶性糖含量呈逐渐上升趋势,且在储藏后期明显高于对照组草莓果实(图4-C)。相比较而言, $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理组草莓果实可滴定酸含量在储藏后2 d与对照组无明显区别,但在4 d后,对照组草莓果实可滴定酸含量明显下降,下降趋势大于 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理组草莓(图4-D)。由图4-E可知,维生素C含量均呈先上升后下降的趋势,但处理组草莓变化趋势较小。比较对照组和处理组草莓相对电导率测定结果发现, $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理组草莓的相对电导率始终低于对照组(图4-F),表明 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA溶液能有效抑制果实成熟衰老进程。

5 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理后草莓抗氧化酶类活性的变化

从图5可以看出,对照组草莓在储藏期间,

H_2O_2 含量快速上升,在第4天达到峰值。相反, $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA浸泡2 min的处理组草莓在储藏后的前2 d变化较小,在第4天逐渐上升但 H_2O_2 含量明显低于对照组草莓。进一步检测抗氧化酶类活性发现,对照组草莓过氧化氢酶(CAT)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性和过氧化物酶(POD)活性在储藏后的前2 d逐渐上升但随后快速下降。相比较而言, $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理组的草莓CAT活性在储藏期间呈逐渐上升的趋势, SOD和POD活性呈先上升后下降的趋势,且在储藏第2天达到峰值。这些结果表明, SA处理可能通过稳定抗氧化酶类活性,从而减少 H_2O_2 的积累,减轻储藏期间的氧化损伤,延长草莓的保鲜和储藏期。

讨 论

草莓是一种重要的经济作物,草莓因其香甜可口也深受人们的喜欢。但是,草莓在种植及采摘后,极易受病虫害的侵蚀,造成巨大的经济损失。近年来,国内外对草莓保鲜开展了大量研究,不同的保鲜剂对草莓具有不同的保鲜效果。张露荷等(2013)的研究表明,施用1% CaCl_2 +0.15%植酸+2%柠檬酸+0.1%山梨酸钾的复配保鲜剂,与1%壳聚糖制成涂膜,能有效抑制草莓果实腐烂,保持果实硬度,并且延缓可溶性固形物和维生素C含量的降低。陈明之(2005)通过比较过氧乙酸、过氧乙酸+氯化钙、氯化钙3种保鲜剂对草莓贮藏保鲜效果的差异,结果发现0.01%过氧乙酸处理效果最好。

本实验比较了不同浓度SA处理对草莓采后储藏保鲜的差异。研究表明,高浓度SA (0.1、

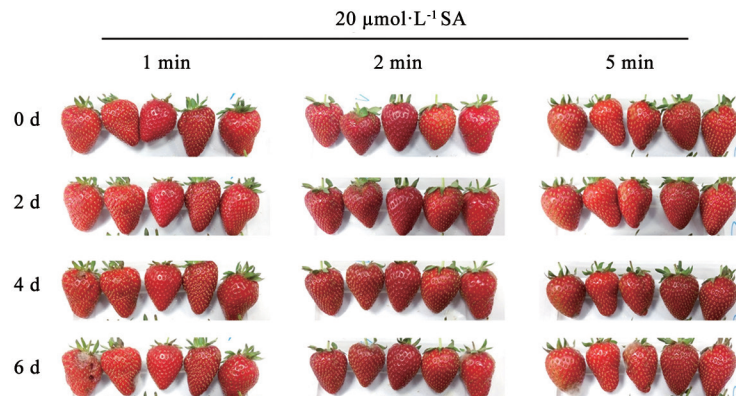
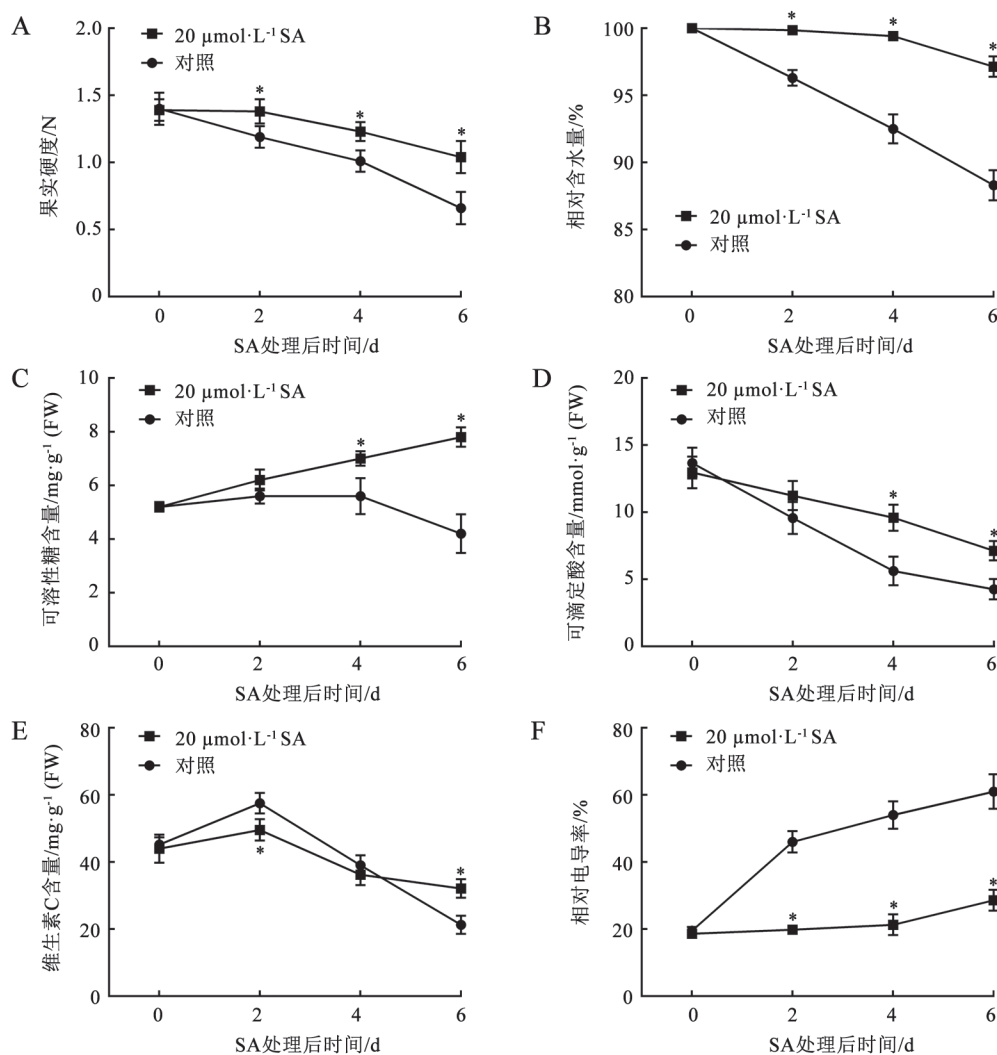


图3 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理不同时间对草莓果实保鲜的影响

Fig.3 Effect of $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA treatment at different times on postharvest storage of strawberry

图4 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理草莓后生理指标的变化Fig.4 Changes in physiological metabolism in 20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA-treated strawberry*表示SA处理后同一时间处理组与对照组差异显著($P<0.05$)。

0.2和0.5 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA)处理对草莓采后保鲜效果不明显,仅比对照组草莓略好。但是,低浓度SA (10、20和50 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA)处理采后草莓后,具有明显的保鲜效果,果实色泽、品质均高于对照组草莓,其中20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA为最佳处理浓度,处理后的草莓货架期延长至6 d以上。进一步研究发现,20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理2 min效果更好。

事实上,SA在果蔬保鲜方面的应用越来越广泛,而近年的许多研究结果也显示出不同水果对SA的生理需求不同。任邦来和张燕(2012)施用0.1、0.5、1.0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ SA溶液浸泡处理番茄20 min,在室温下贮藏55 d,结果显示SA处理能减少番茄

果实水分蒸发,降低果实失重率,延缓果实硬度、可溶性固形物、维生素C、可滴定酸的降低,而0.5 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的SA溶液对番茄果实进行涂膜处理的保鲜效果最佳。刘更森等(2014)用1.25、2.50、5.00 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA溶液在冷藏条件下处理中华寿桃果实,并测定了与褐变有关的果肉色泽、硬度、 H_2O_2 含量和褐变指数的变化;试验结果表明,SA能有效维持中华寿桃果肉色泽,减缓果实硬度下降速度,降低果实在储藏期间的氧化损伤。

本实验研究也发现,20 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理能有效减缓草莓果实硬度、含水量、可滴定酸及维生素C含量的降低,抑制果实 H_2O_2 含量及相对电导率

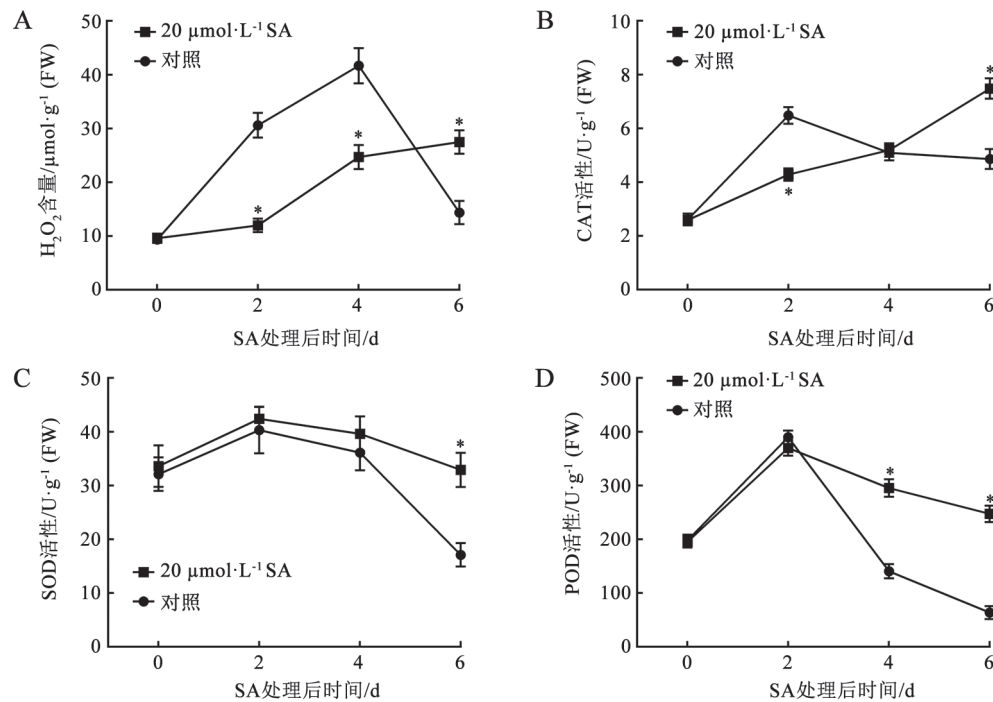


图5 $20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理后的抗氧化酶类活性的变化

Fig.5 Changes in activities of antioxidant enzymes in $20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA-treated strawberry

的上升,保持较高的可溶性糖含量及果实的色泽和生理品质。此外, $20 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ SA处理能有效增强草莓果实储藏期间抗氧化酶类活性, CAT、SOD和POD活性在储藏2 d后明显增强,且均维持在相对较高的水平,这可能与减轻草莓储藏期间的氧化损伤及腐烂霉变有关。值得注意的是,本实验研究表明低浓度SA处理比高浓度SA处理效果更好,这不同于在番茄和中华寿桃中的处理浓度,分析可能是因为草莓果皮薄,水分含量高,因此高浓度SA进入果实内部易造成氧化损伤,且影响果实口感。Hayat等(2010)报道高浓度SA处理会抑制植物的生长及干物质的积累,相反,低浓度的SA处理能促进植物生长及提高植物抗性。Fariduddin等(2003)研究表明,低浓度SA ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)处理野生芥菜,能提高植物叶绿素含量及光合作用。低浓度SA处理同样可以提高植物抵抗生物和非生物胁迫的能力(崔婧2007)。

综上,水杨酸在水果、蔬菜和农作物中的应用安全方便,适应绿色无公害农业发展要求。从本研究结果来看,水杨酸在草莓采后储藏保鲜中具有处理成本低、用量少的优点,有潜在的应用价值。

参考文献

- 常燕平(2008). 水杨酸的生理效应及在果实保鲜方面的应用. 北方园艺, (5): 69~71
- 陈明之(2005). 几种不同化学保鲜剂对草莓贮藏保鲜效果的对比研究. 食品研究与开发, 26: 158~160
- 崔婧(2007). 水杨酸与植物抗逆性. 安徽农学通报, 13: 35~38
- 李艳萍, 郑服丛(2002). 草莓果实采后病害及保鲜技术. 热带农业科学, 22: 64~69
- 刘更森, 樊连梅, 李淑萍, 原永兵(2014). 外源水杨酸处理对贮藏期桃果实褐变的影响. 华北农学报, 29: 193~198
- 罗学兵, 贺良明(2011). 草莓的营养价值与保健功能. 中国食物与营养, 17: 74~76
- 任邦来, 张燕(2012). 水杨酸对番茄保鲜效果的影响. 中国食物与营养, 18: 37~40
- 田志喜, 张玉星(2001). 水杨酸对红星苹果果实后熟的影响. 园艺学报, 28: 557~559
- 王纪忠, 张绍铃, 周青, 陶书田, Khanizadeh S, 叶玉秀(2012). 几种常用保鲜方法对草莓保鲜效果的研究. 食品研究与开发, 33: 179~181
- 王淑娟, 陈明, 陈金印(2012). 水杨酸对“遂川金柑”采后生理及贮藏效果的影响. 果树学报, 29: 1110~1114
- 吴玉月, 肖衡, 徐鹏, 赵淮(2011). 草莓贮藏与运输保鲜技术研究现状和发展趋势. 农产品加工, (11): 130~132
- 徐聪(2011). 水杨酸对果蔬采后贮藏保鲜和系统获得性抗性的影响. 食品工业科技, (9): 450~453
- 张露荷, 陈佰鸿, 安力(2013). 不同保鲜剂组合处理对草莓保鲜效果的影响. 保鲜与加工, 13: 23~28

- 张正周, 郑旗, 李娟, 刘卫, 樊雪飞(2013). 草莓果实采后无害化保鲜技术研究进展. 保鲜与加工, 13: 53~57
- Fariduddin Q, Hayat S, Ahmad A (2003). Salicylic acid influences net photosynthetic rate, carboxylation efficiency, nitrate reductase activity, and seed yield in *Brassica juncea*. *Photosynthetica*, 41: 281~284
- Guo Q, Lv X, Xu F, Zhang Y, Wang J, Lin H, Wu B (2013). Chlorine dioxide treatment decreases respiration and ethylene synthesis in fresh-cut 'hami' melon fruit. *Int J Food Sci Technol*, 48: 1775~1782
- Hayat Q, Hayat S, Irfan M, Ahmad A (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environ Exp Bot*, 68: 14~25
- Huang RH, Liu JH, Lu YM, Xia RX (2008). Effect of salicylic acid on the antioxidant system in the pulp of 'cara cara' navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck) at different storage temperatures. *Postharvest Biol Technol*, 47: 335~336
- Krüger E, Dietrich H, Schöpplein E, Rasim S, Kürbel P (2011). Cultivar, storage conditions and ripening effects on physical and chemical qualities of red raspberry fruit. *Postharvest Biol Technol*, 60: 31~37
- Srivastava MK, Dwivedi UN (2000). Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Sci*, 158: 87~96
- Velikova V, Yordanov I, Edreva A (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant Sci*, 151: 59~66
- Wang SD, Zhu F, Yuan S, Yang H, Xu F, Shang J, Xu MY, Jia SD, Zhang ZW, Wang JH et al (2011). The roles of ascorbic acid and glutathione in symptom alleviation to SA-deficient plants infected with RNA viruses. *Planta*, 234: 171~181
- Xu F, Yuan S, Zhang DW, Lv X, Lin HH (2012a). The role of alternative oxidase in tomato fruit ripening and its regulatory interaction with ethylene. *J Exp Bot*, 63: 5705~5716
- Xu F, Zhang DW, Wang JH, Zhang ZW, Wen L, Du JB, Shang J, Yuan M, Yuan S, Lin HH (2012b). N-propyl gallate is an inhibitor to tomato fruit ripening. *J Food Biochem*, 36: 657~666
- Xu F, Zhang DW, Zhu F, Tang H, Lv X, Cheng J, Xie HF, Lin HH (2012c). A novel role for cyanide in the control of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings response to environmental stress. *Plant Cell Environ*, 35: 1983~1997
- Zhang Y, Chen K, Zhang S, Ferguson I (2003). The role of salicylic acid in postharvest ripening of kiwifruit. *Postharvest Biol Technol*, 28: 67~74