

热激处理对鲜切甜椒活性氧代谢及贮藏品质的影响

刘洪竹¹ 赵习姮² 陈双颖¹ 李进才^{1,*}

(1.天津大学化工学院,天津 300072;

2.天津大学环境科学与工程学院,天津 300072)

摘要: 为探讨热激处理鲜切甜椒的保鲜作用,对鲜切甜椒进行热水 45、50、55℃ 分别浸泡 10、4、1min 处理后,于 8℃ 冷藏期间分析了活性氧水平、抗氧化酶活性及品质指标。热激处理 50℃ 4min 和 55℃ 1min,可抑制超氧阴离子(O_2^-)产生,减少过氧化氢(H_2O_2)含量,诱导提高超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性,抑制过氧化物酶(POD)活性,同时可以抑制丙二醛(MDA)积累,有效保持鲜切甜椒重量、叶绿素及可溶性蛋白质含量,55℃ 1min 处理效果好于 50℃ 4min 处理。表明适宜的热激处理可通过调节活性氧代谢保持鲜切甜椒冷藏品质。
关键词: 鲜切甜椒,热激,活性氧,贮藏品质,抗氧化酶

Effect of heat shock treatment on reactive oxygen species metabolism and storage quality of fresh-cut sweet pepper

LIU Hong-zhu¹, ZHAO Xi-heng², CHEN Shuang-ying¹, LI Jin-cai^{1,*}

(1.School of Chemical Engineering and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2.School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Preservation effect of heat shock treatment on fresh-cut sweet pepper was studied. Fresh-cut pepper was dipped in hot water at 45, 50 and 55℃ for 10, 4 and 1min respectively. Reactive oxygen species level, antioxidant enzyme activities and storage quality index during cold storage at 8℃ were investigated. The results indicated that heat shock treatment at 50℃ for 4min and that at 55℃ for 1min, could effectively inhibit superoxide anion(O_2^-) generation rate, reduce hydrogen peroxide(H_2O_2) content. Heat shock treatment could be used as an elicitor to enhance superoxide dismutase(SOD), catalase(CAT) and ascorbate peroxidase(APX) activities, inhibit peroxidase(POD) activity and restrain malonaldehyde(MDA) accumulation. Heat shock treatment could effectively inhibit weight loss and maintain chlorophyll and soluble protein content. The effect of 55℃ 1min heat shock treatment was better than that of 50℃ 4min. The conclusion could be drawn that heat shock treatment could maintain quality of cold storage fresh-cut pepper by inducing reactive oxygen species metabolism.

Key words: fresh-cut pepper; heat shock; reactive oxygen species; storage quality; antioxidant enzyme

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2014)01-0310-05

鲜切果蔬品质新鲜,食用方便,近年来市场需求不断提高^[1-2]。其中鲜切甜椒消费量较大,但鲜切甜椒生理代谢旺盛,易受微生物侵染而加速腐败,保鲜难度较大^[3]。国外学者曾从气调^[3]、臭氧^[4]和紫外线辐射^[5]处理等几方面,对鲜切甜椒保鲜技术进行过探讨。然而这些处理方法设备成本及技术要求较高,实际应用难度较大。热激处理作为果蔬保鲜物理手段之一,无毒无害,成本低廉,可降低呼吸速率及乙烯生成速率,抑制微生物生长,从而延缓果蔬衰老,保持品质,对青花菜^[6]、洋葱^[2,7]和甘蓝^[7]等鲜切蔬菜有较好保鲜效果。热激处理对整果甜椒保鲜有较好效果,可延长货架期 10~20d^[8-9]。但与整果甜椒比

较,切割后的甜椒比表面积增大 3 倍以上,大部分果肉组织暴露在空气中,伤呼吸加剧,切面易被微生物侵染,热激处理对鲜切甜椒的保鲜效果与整果甜椒可能会有较大差异。目前对于热激处理保鲜机理尚无明确定论,Rico 等认为热激处理可通过调控基因表达及蛋白质合成,降低乙烯生成及细胞壁降解,延缓衰老^[10],Vicente 等研究表明热激处理可诱导调节草莓活性氧产生及防御系统,延缓衰老进程^[11]。我们在鲜切甘蓝和洋葱研究中也观测到热激处理可调节活性氧代谢和抑制衰老的生理现象^[7]。为探讨热激处理鲜切甜椒的保鲜效果及其与活性氧代谢的关系,在不同热水条件处理鲜切甜椒后,于 8℃ 低温冷藏,系统分析了冷藏期间与热激处理保鲜机理密切相关的活性氧代谢指标及品质指标变化。

收稿日期:2013-04-22 * 通讯联系人

作者简介:刘洪竹(1989-),女,硕士研究生,研究方向:果蔬贮藏保鲜。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

供试甜椒 品种为“Mandy”, 7月中旬采收绿熟果实, 随即运回实验室, 选无病虫害和机械伤, 大小均匀, 果型端正, 成熟度一致的果实进行处理; 黄嘌呤 日本和光纯药工业株式会社; 盐酸羟胺 日本 Kishida 公司; 黄嘌呤氧化酶、牛血清蛋白和愈创木酚 日本 Nacalai Tesque 公司; 2-硫代巴比妥酸、对氨基苯磺酸、N-1-萘乙二胺盐酸盐和丙酮等 均为分析纯。

UV1102 紫外分光光度计 天美(中国)科学仪器有限公司; V-1800 型可见分光光度计 上海美谱达仪器有限公司; BS 124S 型电子天平 德国赛多利斯公司; TGL-16B 台式离心机 上海安亭科学仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 热激处理 甜椒去除果梗、胎座及种子, 沿果组织纵向切割为条状, 宽约 0.5cm, 迅速进行热激处理。热激处理设计参照整果甜椒热激处理实验^[8-9], 对照为 25℃ 水浸泡 10min, 处理 I 为 45℃ 热水浸泡 10min, 处理 II 为 50℃ 热水浸泡 4min, 处理 III 为 55℃ 热水浸泡 1min。热激处理结束后装入聚乙烯食品包装袋 8℃ 低温恒湿贮藏 8d。每 2d 进行一次取样, 每个样品 2g, -80℃ 贮藏待测。

1.2.2 粗酶提取 取 2g 冷冻样品, 加入预冷 50mmol/L 磷酸缓冲液(含 0.5% (W/V) PVPP、3mmol/L EDTA-2Na, pH7.0) 8mL, 4℃ 低温条件下充分研磨, 12000 × g 离心 10min, 上清液为粗酶提取液。

1.2.3 活性氧测定 超氧阴离子(O_2^-)生成速率测定参考 Duan 等^[12]的方法, 粗酶提取液 1mL 与 1mmol/L 盐酸羟胺 1mL 混合, 30℃ 下反应 30min 后加入 20mmol/L 对氨基苯磺酸和 10mmol/L N-1-萘乙二胺盐酸盐各 1mL, 25℃ 下发色 20min, 测定 530nm 吸光度, 同时进行 0~30 μ mol/L $NaNO_2$ 标准液测定。过氧化氢(H_2O_2)含量测定采用赵习姮等^[13]的方法, 冷冻样品 2g 加预冷丙酮 4mL 冰浴研磨, 12000 × g 离心 10min, 取上清液 1mL 与 5% 硫酸钛 0.1mL 及浓氨水 0.2mL 混合, 离心去上清液, 沉淀用丙酮反复洗涤 3 次除去色素, 用 2mol/L 硫酸溶解并定容至 6mL, 测定波长 415nm 吸光度, 同时进行 0~20 μ mol/L H_2O_2 -丙酮标准液测定。

1.2.4 抗氧化酶活性测定 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑光还原法^[14], 以抑制对照吸光度 A_{560} 的 50% 为单位酶活性, 样品 SOD 活性以 $units \cdot g^{-1} FW$ 表示。过氧化氢酶(CAT)活性测定采用氧气计量法^[14], 单位酶活性为 24℃、1 大气压下每 g 样品每分钟产生的氧气(O_2)量, 样品 CAT 活性以 $O_2 mmol \cdot g^{-1} FW \cdot min^{-1}$ 表示。抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性采用 Cuvi 等的方法^[5], 以每分钟 A_{290} 变化为酶活性单位, 样品 APX 活性以 $\Delta A_{290} \cdot g^{-1} FW \cdot min^{-1}$ 表示。过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚法^[15], 以每分钟 470nm 吸光度变化为酶活性单位, 样品 POD 活性以 $\Delta A_{470} \cdot g^{-1} FW \cdot min^{-1}$ 表示。

1.2.5 丙二醛(MDA)含量测定 MDA 含量分析采用硫代巴比妥酸法^[13], 冷冻样品 2g 用 10% 三氯乙酸溶液 20mL 研磨, 12000 × g 离心 10min, 取上清液 2mL 与 0.6% 硫代巴比妥酸 2mL 混合, 沸水浴反应 20min 后迅速冷却, 12000 × g 离心 10min 后取上清液波长测 450、532 和 600nm 的吸光度, 通过 MDA ($\mu mol/L$) = $6.45(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450}$ 算出实验样品 MDA 含量, 单位为 $nmol \cdot g^{-1} FW$ 。

1.2.6 品质指标测定 失重率测定采用称重法^[16], 失重率(%) = (贮前重 - 贮后重) ÷ 贮前重 × 100。叶绿素含量采用丙酮比色法^[17], 可溶性蛋白质采用 Folin-酚试剂法^[17]。

1.2.7 数据处理 以上各指标均重复测定 3 次, 实验数据采用 SPSS19.0 软件进行误差和显著性差异统计分析, 数值表示为平均值 ± 标准误差, 处理间差异显著性检验采用 Duncan 法($p < 0.05$)。

2 结果与讨论

2.1 热激处理对鲜切甜椒活性氧代谢的影响

2.1.1 活性氧水平 O_2^- 和 H_2O_2 是生物体多种生理反应中间产物, 有较强氧化性, 与采后果蔬衰老有密切关系^[18]。果蔬组织细胞内较低浓度的活性氧积累, 对病原微生物有一定抑制作用, 还作为激活植物防御反应信号, 诱导提高防御体系机能, 而过量活性氧积累则会造成氧化胁迫, 引起膜脂质过氧化反应等而造成细胞生理伤害^[13, 18]。 O_2^- 生成速率, 45℃ 10min 处理在冷藏 4d 时小于对照($p < 0.05$), 50℃ 4min 处理在冷藏 4~8d 时小于对照($p < 0.05$), 55℃ 1min 处理在冷藏 2~8d 时小于对照($p < 0.05$) (图 1-A)。 H_2O_2 含量, 冷藏期间 45℃ 10min 处理在冷藏 4~6d 时低于对照, 50℃ 4min 处理在冷藏 4~8d 低于对照($p < 0.05$), 55℃ 1min 处理在冷藏 2~8d 时均低于对照($p < 0.05$) (图 1-B)。这些结果表明, 热激处理可以抑制鲜切甜椒冷藏期间的活性氧产生和积累, 与赵习姮等 38℃ 60min 热激处理樱桃番茄研究结果一致^[13]。

2.1.2 抗氧化酶活性 SOD、CAT、APX 和 POD 是植物组织细胞内活性氧防御体系的主要酶系统, 对维持活性氧代谢平衡有重要作用。SOD 是消除 O_2^- , CAT 和 APX 是消除 H_2O_2 的抗氧化酶, 较高的抗氧化酶活性可避免活性氧过量积累, 减少氧化损伤^[11, 14, 16, 18]。SOD 活性, 45℃ 10min 处理在冷藏期间与对照无显著差异($p > 0.05$), 50℃ 4min 和 55℃ 1min 处理在冷藏 2~8d 均大于对照($p < 0.05$) (图 2-A)。CAT 活性, 对照和 45℃ 10min 处理在冷藏期间保持较低水平, 50℃ 4min 处理在冷藏 4~8d 时大于对照($p < 0.05$), 55℃ 1min 处理在冷藏 2~8d 时大于对照($p < 0.05$) (图 2-B)。APX 活性, 45℃ 10min 处理在冷藏期间与对照无显著差异($p > 0.05$), 50℃ 4min 和 55℃ 1min 处理在冷藏 4~8d 时均大于对照($p < 0.05$) (图 2-C)。这些结果表明, 热激处理可诱导提高鲜切甜椒冷藏期间的抗氧化酶活性, 提高活性氧清除效率, 延缓采后果蔬衰老。类似研究结果还有 枇杷 38℃ 36h 热空气处理^[18]和草莓

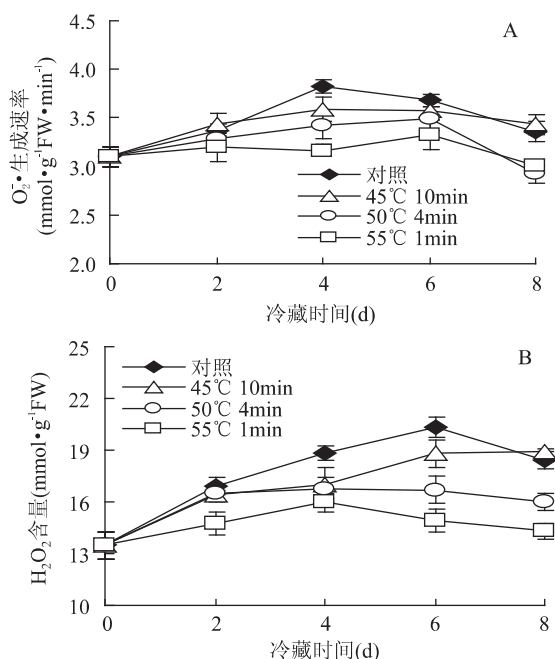


图1 热激处理对鲜切甜椒 O_2^- 生成速率 (A) 和 H_2O_2 含量 (B) 的影响

Fig.1 Effect of heat shock treatment on O_2^- generation rate (A) and H_2O_2 content (B) of fresh-cut pepper

45°C 3h 热空气处理^[11]诱导 SOD 活性增大,葡萄 50°C 和 55°C 3min 热激处理诱导 CAT 活性增大^[16],甘蓝 35°C 1min 和洋葱 48°C 10min 热激处理也观测到有 SOD 和 CAT 活性增大^[7],以及青花菜 55°C 30s 热激处理诱导 SOD、CAT 和 APX 活性增大等^[14]。

然而,POD 与 APX 等不同,既有消除 H_2O_2 的生理功能,也有催化产生自由基,加剧膜脂质过氧化,促进组织细胞衰老的作用^[15],还参与愈伤、木质化及细胞壁交联等多种生物反应。POD 活性 45°C 10min 处理在冷藏 4d 时小于对照 ($p < 0.05$),50°C 4min 处理在冷藏 2~4d 和 8d 时小于对照 ($p < 0.05$),55°C 1min 处理在冷藏 2~8d 时低于对照 ($p < 0.05$) (图 2-D)。表明热激处理可有效抑制鲜切甜椒冷藏期间的 POD 活性,Vicente 等在 45°C 3h 热空气处理草莓研究中也观测到 POD 活性被抑制,以及草莓衰老显著延缓的生理现象^[11]。

2.1.3 MDA 含量 采后甜椒衰老期间, O_2^- 和 H_2O_2 等活性氧不断积累会使细胞膜脂质发生过氧化反应,MDA 是膜脂质过氧化的终产物,MDA 含量越高表明膜脂过氧化和细胞衰老越严重,是衡量鲜切果蔬衰老程度的主要生理指标^[7,19]。MDA 含量 45°C 10min 处理在冷藏 6d 时低于对照 ($p < 0.05$),50°C 4min 和 55°C 1min 处理在冷藏 2~8d 均低于对照 ($p < 0.05$) (图 3)。热激处理可有效抑制鲜切甜椒冷藏期间 MDA 积累,抑制膜脂过氧化,保护膜结构,热激处理的这一生物学作用与前述 O_2^- 产生减少、 H_2O_2 含量较低及 SOD、CAT 和 APX 活性增大的实验结果生理关系一致,冯寅洁等在鲜切茭白 38°C 15min 热激处理研究中也观测到自由基生成和 MDA 积累被抑制^[19]。

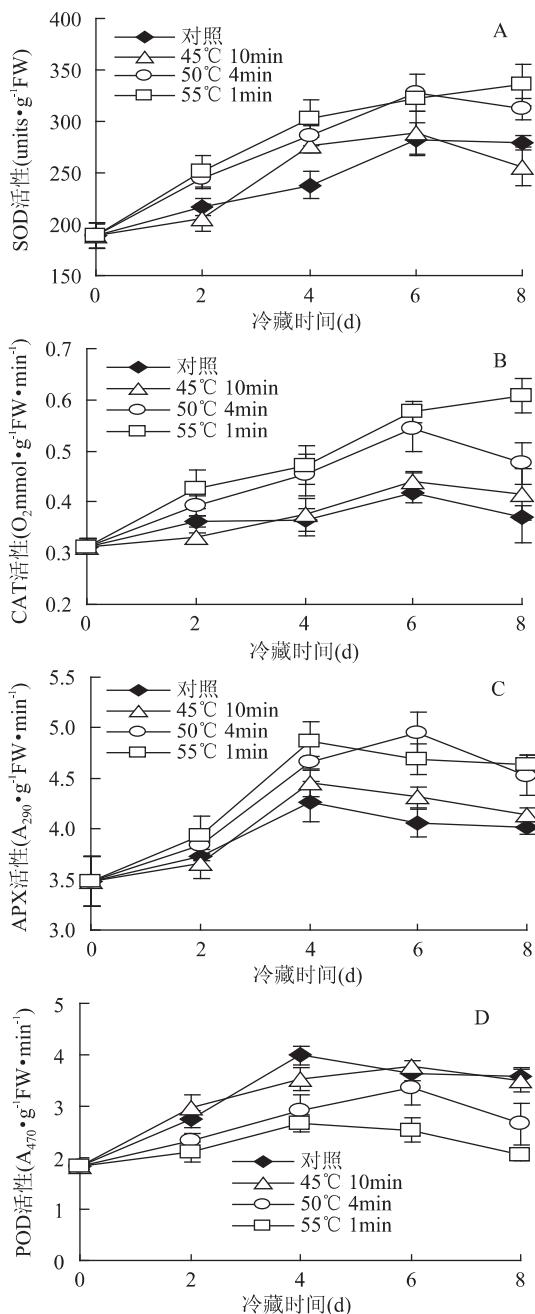


图2 热激处理对鲜切甜椒 SOD (A)、CAT (B)、APX (C) 和 POD (D) 活性的影响

Fig.2 Effect of heat shock treatment on SOD (A), CAT (B), APX (C) and POD (D) activities of fresh-cut pepper

2.2 热激处理对鲜切甜椒贮藏品质的影响

2.2.1 失重率 失重率是反映采后果蔬品质变化指标之一,贮藏期间由于水分蒸发和呼吸代谢不断进行,失重率不断增大,失重率越大表明品质劣变愈显著。45°C 10min 处理的失重率在贮藏 6~8d 小于对照 ($p < 0.05$),50°C 4min 处理的失重率在贮藏 4~8d 小于对照 ($p < 0.05$),55°C 1min 处理的失重率在贮藏 2~8d 小于对照 ($p < 0.05$) (图 4)。表明热激处理可抑制鲜切甜椒贮藏期间的失重变化,保持甜椒品质,Siddiq 等在鲜切洋葱 50°C 1min 热激处理^[2]和黄锐等在葡萄 50°C 3min 热激处理^[16]中也观测到失重被抑制的现象。

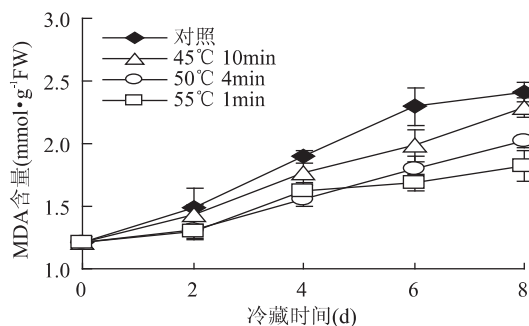


图3 热激处理对鲜切甜椒 MDA 含量的影响

Fig.3 Effect of heat shock treatment on MDA content of fresh-cut pepper

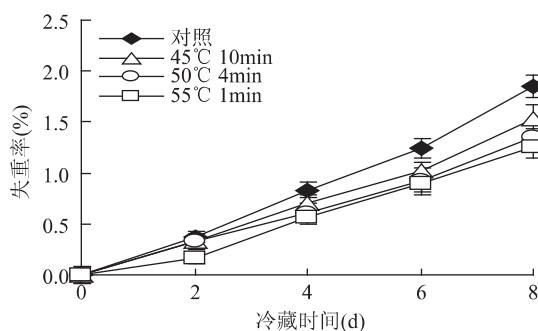


图4 热激处理对鲜切甜椒失重率的影响

Fig.4 Effect of heat shock treatment on weight loss of fresh-cut pepper

2.2.2 叶绿素和可溶性蛋白质含量 热激处理可以抑制青花菜叶绿素酶及脱镁螯合酶活性,减少叶绿素降解,有效保持产品绿色^[20],可溶性蛋白质含量是反映植物组织细胞衰老最明了的生理指标。冷藏期间叶绿素持续降解,含量不断降低,45℃ 10min 处理贮藏期间与对照无显著差异($p > 0.05$)。50℃ 4min 和 55℃ 1min 处理贮藏 2~8d 均高于对照($p < 0.05$) (图 5-A)。可溶性蛋白质含量 45℃ 10min 处理贮藏 4d 时高于对照($p < 0.05$)。50℃ 4min 和 55℃ 1min 处理贮藏 2~8d 时均高于对照($p < 0.05$) (图 5-B)。这些结果表明,热激处理可有效保持鲜切甜椒绿色及延缓衰老,与 48℃ 3h 热空气处理鲜切青花菜及 50℃ 10min 热水处理绿芦笋的研究结果一致^[6,21]。

综上所述,植物组织衰老与其细胞内活性氧过剩,导致膜脂质、叶绿素和蛋白质等生物大分子氧化破坏有密切关系^[5,12,19]。由于甜椒切割后比表面积增大,组织细胞内的氧分压升高,加之热激处理的逆境胁迫,鲜切甜椒活性氧 O_2^- 生成速率和 H_2O_2 含量应激升高,贮藏期间对照 O_2^- 生成速率和 H_2O_2 含量保持较高水平,致使 MDA 积累、叶绿素和蛋白质减少加快。但是,适宜的热激处理 50℃ 4min 及 55℃ 1min,可诱导提高抗氧化酶 SOD、CAT 及 APX 活性,抑制 POD 活性,使 O_2^- 生成的测定值和 H_2O_2 积累低于对照,与之相应,MDA 积累增加及叶绿素和蛋白质减少也缓解,表现为具有延缓鲜切甜椒衰老、保持贮藏品质的生物学作用。

3 结论

适宜的热激处理可诱导调节鲜切甜椒冷藏期间

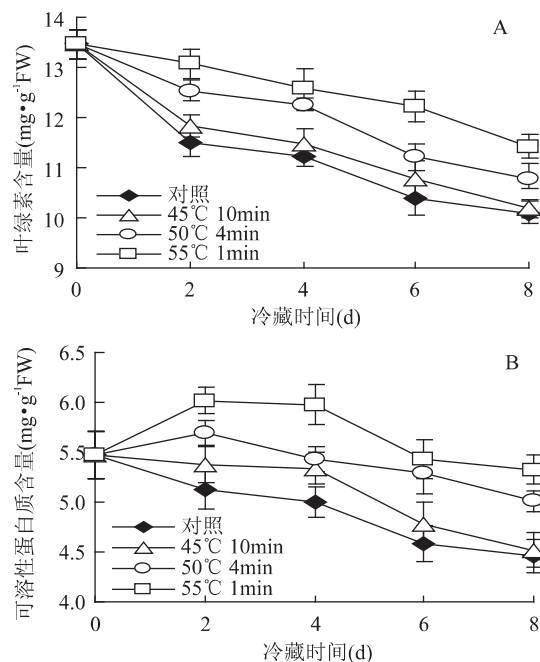


图5 热激处理对鲜切甜椒叶绿素(A)和可溶性蛋白质(B)含量的影响

Fig.5 Effect of heat shock treatment on chlorophyll(A) and soluble protein(B) content of fresh-cut pepper

的抗氧化酶 SOD、CAT、APX 和 POD 活性,降低活性氧 O_2^- 和 H_2O_2 对膜脂质的过氧化,有效抑制鲜切甜椒失重及叶绿素和可溶性蛋白质降低,保持鲜切甜椒冷藏品质。热激处理 50℃ 4min,特别是 55℃ 1min 对鲜切甜椒 8℃ 冷藏有较好保鲜效果。

参考文献

- [1] Meng X A, Zhang M, Adhikaric B. Extending shelf-life of fresh-cut green peppers using pressurized argon treatment [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 71: 13-20.
- [2] Siddiq M, Roidoung S, Sogi D S, et al. Total phenolics, antioxidant properties and quality of fresh-cut onions (*Allium cepa* L.) treated with mild-heat [J]. Food Chemistry, 2013, 136 (2): 803-806.
- [3] González-Aguilar G A, Ayala-Zavala J F, Ruiz-Cruz S, et al. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers [J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37(8): 817-826.
- [4] Ketteringham L, Gausseres R, James S J, et al. Application of aqueous ozone for treating pre-cut green peppers (*Capsicum annuum* L.) [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(1): 104-111.
- [5] Cui M A, 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.
- [6] Lemoine M L, Civello P, Chaves A, et al. Hot air treatment delays senescence and maintains quality of fresh-cut broccoli florets during refrigerated storage [J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(6): 1076-1081.

- [7] 刘洪竹,陈双颖,李进才.冷热激处理对不同鲜切蔬菜衰老生理机能的影响[J].食品工业科技,2013,34(12):316-321.
- [8] 程顺昌,任小林.热处理对尖椒果实贮藏特性及冷害的影响[J].中国农学通报,2007,23(4):255-259.
- [9] González-Aguilar G A, Gayosso L, Cruz R, *et al.* Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2000, 18(1): 19-26.
- [10] Rico D, Martín-Diana A B, Barat J M, *et al.* Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2007, 18(7): 373-368.
- [11] Vicente A R, Martínez G A, Chaves A R, *et al.* Effect of heat treatment on strawberry fruit damage and oxidative metabolism during storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, 40(2): 116-122.
- [12] Duan X W, Liu T, Zhang D D, *et al.* Effect of pure oxygen atmosphere on antioxidant enzyme and antioxidant activity of harvested litchi fruit during storage [J]. *Food Research International*, 2011, 44(7): 1905-1911.
- [13] 赵育短,刘扬,李进才,等. H_2O_2 处理对采后樱桃番茄和芒果抗冷性的影响[J].天津大学学报,2010,43(9):844-848.
- [14] Zhang Z, Nakano K, Maezawa S. Comparison of the

- antioxidant enzymes of broccoli after cold or heat shock treatment at different storage temperatures [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2009, 54(2): 101-105.
- [15] Alegria C, Pinheiro J, Gonçalves E M, *et al.* Evaluation of a pre-cut heat treatment as an alternative to chlorine in minimally processed shredded carrot [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2010, 11(1): 155-161.
- [16] 黄锐,安力,王强,等.热处理对葡萄品质及保护性酶的影响[J].食品工业科技,2009,30(8):300-302.
- [17] 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.
- [18] Liu F J, Tu K, Shao X F, *et al.* Effect of hot air treatment in combination with *Pichia guilliermondii* on postharvest anthracnose rot of loquat fruit [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 58(1): 65-71.
- [19] 冯寅洁,应铁进.热激处理和壳聚糖涂膜对去壳茭白常温保鲜的影响[J].食品与发酵工业,2009,35(9):188-193.
- [20] Costa M L, Civello P M, Chaves A R, *et al.* Hot air treatment decreases chlorophyll catabolism during postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) heads [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 86(7): 1125-1131.
- [21] 李艳华,王庆国.不同处理对绿芦笋采后生理和贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2007,33(2):145-149.

(上接第258页)

- Characterisation of a thermostable xylanase from *Chaetomium* sp. and its application in Chinese steamed bread [J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(2): 457-462.
- [16] 曹云鹤,陈小玲,贺平丽,等.疏色曲霉木聚糖酶基因 *xyn A* 的克隆、表达及酶学性质分析[J].生物技术通讯,2006,17(6):878-881.
- [17] 江正强,杨绍青,李里特,等.嗜热拟青霉固体发酵产木聚糖酶的纯化和性质[J].工业微生物,2006,36(3):1-4.
- [18] 徐子钧,李剑,梁凤来,等.利用 SAS 软件优化 L-乳酸发酵培养基[J].微生物学通报,2004,31(3):85-87.
- [19] 王晓青,曾洪梅,石义萍.农用抗生素 2-16 高产菌株选育及发酵优化组合研究[J].微生物学通报,2005,32(6):7-11.
- [20] 高鹏飞,李妍,赵文静,等.益生菌 *Lactobacillus casei* Zhang 增殖培养基的优化[J].微生物学通报,2008,35(4):623-628.
- [21] Suny, Wangzf, Wujh, *et al.* Optimising enzymatic maceration in pretreatment of carrot juice concentrate by response

- surface methodology [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2006, 41(9): 1082-1089.
- [22] Miller GL. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar [J]. *Anal Chem*, 1959, 31: 426-427.
- [23] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, *et al.* Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1951, 193: 265-275.
- [24] Palaniswamy M, Pradeep B V, Sathya R, *et al.* Isolation, identification and screening of potential xylanolytic enzyme from litter degrading fungi [J]. *African Journal of Biotechnology*, 2008, 7(11): 1978-1982.
- [25] 代义,吕淑霞,林英,等.高产木聚糖酶菌株筛选、鉴定及产酶条件的研究[J].生物技术,2008,18(2):70-73.
- [26] 周薇薇,尹亚辉,赵长新.响应面法优化黑曲霉固态发酵产木聚糖酶工艺[J].大连工业大学学报,2013,32(3):176-179.

(上接第309页)

- [3] 周新勇,宋曙辉,罗晖,等.反相高效液相色谱法测定紫山药中薯蓣皂苷的含量[J].食品工业科技,2011,32(7):420-422.
- [4] Liu Ying, Shi Shan-shan, Wang Cai-sheng. Determination of Nutrients and Diosgenin Contents *Dioscorea batatas* Decne. in zhejiang [J]. *Medicinal Plant*, 2010, 1(2): 21-23.
- [5] Jau-Tien Lin, Deng-Jye Yang. Determination of steroidal saponins in different organs of yam (*Dioscorea pseudojaponica* Yamamoto) [J]. *Food Chemistry*, 2008(108): 1068-1074.
- [6] 陈少青,蒋旭钢,汪财生,等.紫山药多糖超声波辅助提取

- 工艺优化及抗氧化性能研究[J].江苏农业科学,2009(5):231-234.
- [7] 谭余良,杨幼慧.无醇及低醇发酵果汁研究进展[J].中国酿造,2006(5):1-3.
- [8] Branyik T, Silva D P, Baszczynski M, *et al.* A review of methods of low alcohol and alcohol-free beer production [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012(108): 493-506.
- [9] Jonathan R Dion, David H Burns. Simultaneous determination of alcohol and carbohydrate content in commercial beverages by ultrasound frequency analysis [J]. *Talanta*, 2011(86): 384-392.