

没食子酸丙酯处理对薄皮甜瓜 采后储藏保鲜的影响

曹中权¹, 余璐璐¹, 徐 飞^{1,2}

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

摘 要:以湖北省新洲区当地薄皮甜瓜为试材,采用不同浓度没食子酸丙酯(n-propyl gallate, nPG)处理薄皮甜瓜,研究其采后生理变化和保鲜效果。结果表明:0.25、0.50、1.00 mmol/L nPG 处理均具有较好的保鲜效果,其中 0.50 mmol/L nPG 处理效果最好。0.50 mmol/L nPG 处理后,甜瓜果实货架期延长,果实腐烂率减少,并能有效保持果实储藏期间较高的含水量以及可溶性糖、可滴定酸和维生素 C 含量。此外,与对照组甜瓜相比,nPG 处理可明显减轻甜瓜果实的氧化损伤,电导率和 MDA 含量明显低于对照。nPG 处理还能有效抑制甜瓜在储藏期间 H_2O_2 含量积累,抗氧化酶类 CAT、SOD 和 POD 活性均维持在较高水平。综上,nPG 对甜瓜采后储藏保鲜具有较好的效果,是一种潜在的保鲜剂,该研究结果对于其它呼吸跃变型果实的储藏保鲜具有重要的参考价值。

关键词:薄皮甜瓜;没食子酸丙酯;采后储藏

中图分类号:S 652.609⁺.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)05-0148-05

甜瓜(*Cucumis melo* L.)属葫芦科黄瓜属一年生蔓性草本植物,原产热带,在我国栽培历史悠久,我国是全世界最大的甜瓜产区^[1]。甜瓜还是我国果品出口的三大拳头产品之一,现西北、华北、东北等地已成为了我国甜瓜生产的主产区^[2]。甜瓜的果肉中富含碳水化合物、维生素、氨基酸、柠檬酸、果胶、葡萄糖、矿质元素等营养成分,水分多,味道可口,清爽芳香,更是解暑佳品,受到了广大消费者的喜爱^[3]。甜瓜是呼吸跃变型果实,根据果实特征,可分为薄皮甜瓜和厚皮甜瓜 2 类^[4]。薄皮甜瓜较小,皮薄,可同果肉一起食用,但由于薄皮甜瓜采收期比较集中,而且正值高温多雨季节,加之薄皮甜瓜含糖量较高、水分含量大、生理代谢旺盛,采后若处理不当,则在贮运过程中极易受外界病菌侵染而发生腐烂变质,造成大量的经济损失^[5]。因此,研究薄皮甜瓜的采后生理变化和贮藏技术,对于提高薄皮甜瓜的经济价值尤为重要。

目前对于甜瓜的贮藏方法主要有低温冷藏和气调储藏。但是,低温冷藏对运输车的要求较高,提高了运输成本,限制了远距离运输。气调储藏可以降低甜瓜的呼吸,减少乙烯的产生,抑制微生物的繁殖,但是气调过程中的 O_2 和 CO_2 的浓度不好控制,同时建造成本高、耗能多、技术复杂,经济不发达地区较难应用。近年来,王良艳等^[6]采用 1-MCP 结合 $Na_2S_2O_5$ 复合处理的方法对厚皮甜瓜的保鲜有一定的效果。吴斌等^[7]采用固体 ClO_2 保鲜剂处理“金皇后”甜瓜 3 个月后,商品好果率可达 85%,保鲜效果良好。此外,采用涂膜贮藏保鲜在市场上的应用也较广,涂膜保鲜对于甜瓜的硬度、水分的保持、营养物质的消耗等效果比较好,但是只能作为短期销售的一种辅助方法,且涂膜的厚度会直接影响到果实的风味和品质^[8]。民间也有采用土窖贮藏的方法进行甜瓜的保鲜,但温湿度不易控制,贮藏前期温度高,后期随着温度的下降,湿度增大,造成贮藏期短,腐烂损耗大。

nPG(没食子酸丙酯,n-propyl gallate)是一种常见的油溶性抗氧化剂,其抗氧化性优于 BHT(二丁基羟基甲苯)及 BHA(丁基羟基茴香醚),安全性高,是联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WTO)向全世界推行使用的优良油脂抗氧化剂之一。nPG 已被广泛应用于油脂、食品及化妆品中,如食用油脂、方便面、饼、果肉罐头等^[9]。XU 等^[10]研究发现,nPG 处理可以延缓番茄果实成熟,提高果实品质,该研究表明 nPG 是一种潜在的果

第一作者简介:曹中权(1993-),男,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向为果蔬保鲜。E-mail:654200756@qq.com.

责任作者:徐飞(1985-),男,四川宜宾人,博士,副研究员,硕士生导师,现主要从事植物抗逆与果蔬生理等研究工作。E-mail:feixu666@hotmail.com.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31400242);湖北省教育厅指导性资助项目(B2015395)。

收稿日期:2015-12-14

实保鲜剂。因此,该研究拟以湖北省武汉市新洲区薄皮甜瓜为试验材料,采用不同浓度 nPG 处理甜瓜后,研究薄皮甜瓜的采后生理变化及储藏品质,以期为甜瓜果实的储藏保鲜奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试薄皮甜瓜(*Cucumis melo* L.)‘日本甜宝’来自武汉市新洲区,采摘果实八成熟,带梗采摘,无机械伤,无病虫害,表皮颜色一致呈翠绿的甜瓜样品。

1.2 试验方法

试验组及对照组各取 20 个甜瓜为一组,试验组甜瓜用不同浓度 nPG(0.25、0.50、1.00 mmol/L)浸泡处理 5 min,取出擦干放置于(20±1)℃温室条件下储藏,对照组材料用无菌水浸泡处理 5 min,置相同条件下储藏,分别在 0、2、4、6、8、10、12、14 d 取样测定指标,每处理重复 3 次。

1.3 项目测定

1.3.1 甜瓜生理参数的测定 甜瓜失水率测定参照 XU 等^[10]的方法进行。可溶性糖含量测定参照张立虎等^[11]的方法,用手持折光糖度仪进行测定。可滴定酸含量测定参照 CRINÒ 等^[12]的方法进行;维生素 C 含量参照 XU 等^[13]的方法;叶绿素含量检测参照 ZHANG 等^[14]的方法。

1.3.2 过氧化氢和抗氧化酶类活性测定 过氧化氢含量测定参照 ZHU 等^[15]的方法。丙二醛(MDA)和电导率测定参照余璐璐等^[16]的方法。抗氧化物酶类(SOD、POD、CAT)活性测定参照 WANG 等^[17]的方法。

1.4 数据分析

所有的数值都重复测定 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)0.05 判断各种结果差异是否显著。

2 结果与分析

2.1 不同浓度 nPG 处理后甜瓜采后储藏变化

从图 1 可以看出,对照组甜瓜果皮在储藏的前 4 d 色泽及保鲜度较好,6 d 后,果皮开始皱缩、凹陷,10 d 后愈发严重。相反,0.25、0.50、1.00 mmol/L nPG 处理后,甜瓜在储藏期保鲜效果较好,果实色泽艳丽,甜瓜由采摘时的浅绿色逐渐开始泛白,表明果实在得到保鲜的同时,成熟度进一步增加。此外,比较 0.25、0.50、1.00 mmol/L nPG 处理后对甜瓜的保鲜效果,0.50 mmol/L 和 1.00 mmol/L nPG 处理效果最好,果实色泽及完好度均比 0.25 mmol/L nPG 处理的甜瓜好。考虑到处理成本,及今后在农业上的应用,该试验对 0.50 mmol/L nPG 处理的甜瓜做进一步研究。

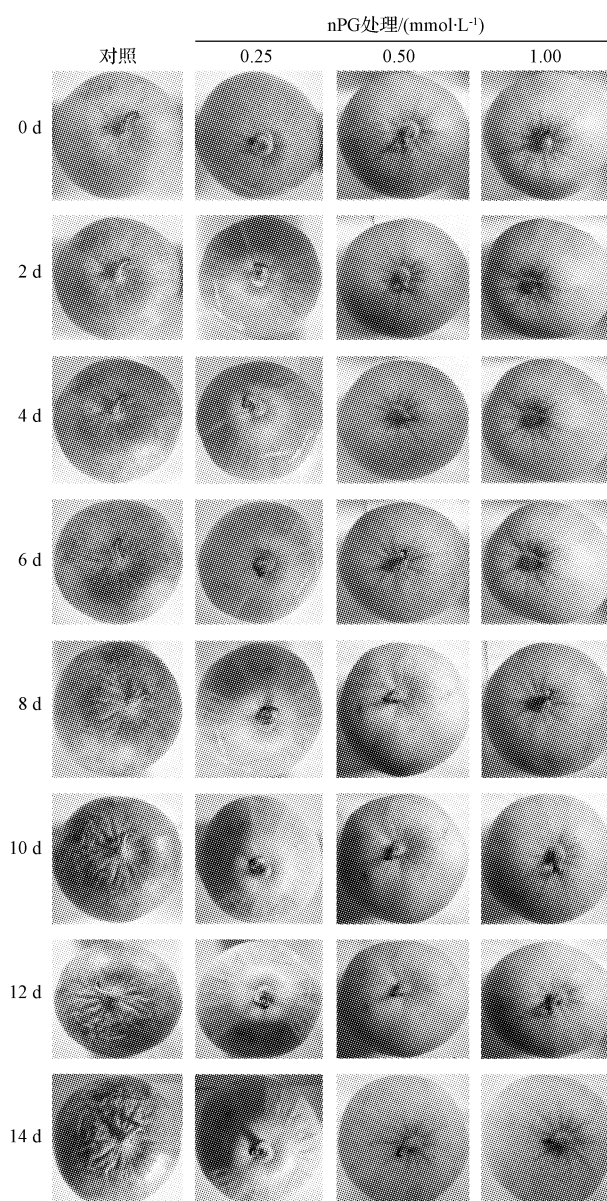


图 1 不同处理组甜瓜采后储藏变化

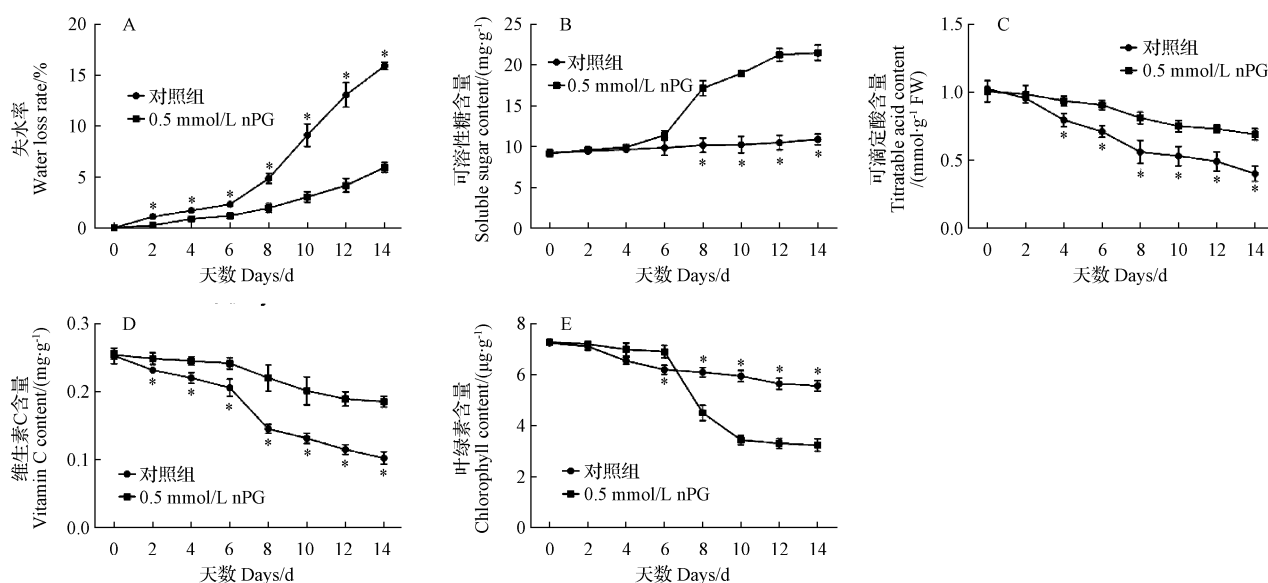
Fig. 1 Changes in postharvest storage of the thin-skinned melon between the nPG-treated fruit and the control

2.2 nPG 处理对甜瓜采后储藏期间生理品质的影响

如图 2 所示,对照甜瓜在采后储藏前 6 d 持水量较好,但第 6 天后出现明显的失水现象,在第 14 天水分散失达 15% 以上(图 2A)。相比较而言,0.5 mmol/L nPG 处理后甜瓜水分变化趋势与对照组甜瓜类似,但在第 6 天后的失水率明显低于对照组,储藏后第 14 天失水率仅在 5% 左右。此外,0.5 mmol/L nPG 处理后甜瓜可溶性糖含量逐渐上升,而对照组甜瓜在储藏期间无明显变化(图 2B)。可滴定酸含量测定结果表明,对照组甜瓜和 0.5 mmol/L nPG 处理组甜瓜可滴定酸均在储藏后第 2 天开始下降,但对照组甜瓜下降速率明显快于 0.5 mmol/L nPG 处理组甜瓜(图 2C)。同样,

0.5 mmol/L nPG 处理组甜瓜在储藏期间维生素 C 含量明显高于对照组甜瓜(图 2D),但果实叶绿素含量在储藏后第 6 天开始快速下降,而对照组甜瓜在储藏期间叶绿

素含量变化较小(图 2E)。这些结果表明,nPG 处理能很好的保持甜瓜储藏期间的营养成分,同时促进甜瓜的进一步成熟。



注:作图数据为 3 次重复试验的平均值。* 代表对照组与 0.5 mmol/L nPG 处理组甜瓜测量值之间存在显著性差异。下同。

Note: Data are the means \pm SD of three independent experiments. The asterisks (*) indicate statistically significant differences between the CK and 0.5 mmol/L nPG-treated fruit ($P < 0.05$). The same below.

图 2 处理组和对照组甜瓜采后储藏期间生理指标的变化

Fig. 2 Changes in physiological metabolism between the 0.5 mmol/L nPG-treated fruit and the control

2.3 甜瓜采后储藏期间氧化损伤及抗氧化酶类活性检测

如图 3 所示,对照组甜瓜在采后储藏第 4 天 H_2O_2 的含量急剧上升(图 3A),电导率(图 3B)和丙二醛

(MDA)含量(图 3C)在第 6 天后快速上升,其中 H_2O_2 在第 10 天达到峰值。相比较而言,0.5 mmol/L nPG 处理组甜瓜在储藏前 6 d H_2O_2 的含量较为稳定,在第 8 天后开始上升,但上升幅度明显低于对照组甜瓜(图

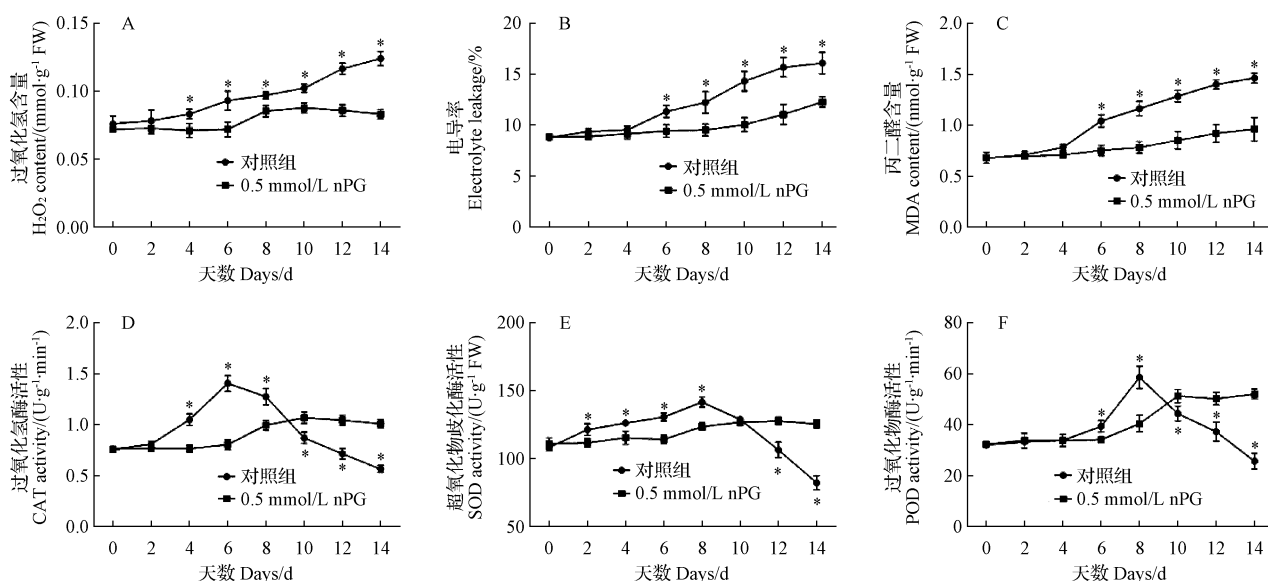


图 3 处理组和对照组甜瓜储藏期间氧化损伤和抗氧化酶类活性变化

Fig. 3 Changes in fruit oxidative damage and antioxidant enzyme activities between the 0.5 mmol/L nPG-treated fruit and the control

3A)。在整个储藏期间,0.5 mmol/L nPG 处理组甜瓜电导率和 MDA 含量无明显变化,仅在第 10 天后有轻微上升(图 3B-C)。

抗氧化酶类活性测定结果表明,对照组甜瓜过氧化氢酶(CAT),超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性均呈现先上升后下降的趋势,CAT 活性在储藏后第 4 天开始上升,第 6 天达到峰值(图 3D),SOD 活性在储藏后第 2 天开始快速上升,在第 8 天达到峰值(图 3E),而 POD 活性在第 6 天开始明显上升,在第 8 天后开始下降(图 3F)。相比较而言,0.5 mmol/L nPG 处理组甜瓜 CAT、SOD 和 POD 活性在储藏前 6 d 变化较小,第 8 天均有明显上升,并在第 10 天趋于稳定(图 3D-F)。

3 讨论与结论

薄皮甜瓜是含水量较高的水果之一,也是典型的呼吸跃变型果实,在储藏期受到呼吸作用和蒸腾作用的影响会失去大量的水分而萎蔫,从而严重影响储藏和销售。侯田莹等^[18]研究表明,低温(10℃)可减缓薄皮甜瓜质量和可溶性固形物损失,抑制呼吸强度和乙烯释放,从而延长薄皮甜瓜的采后储藏期,但温度过低(0~5℃)会引起冷害。相反,贮藏温度偏高,则会加快薄皮甜瓜后熟衰老过程,室温条件下贮藏 9 d,腐烂严重,失去商品价值。该试验研究表明,薄皮甜瓜在 20℃ 储藏条件下易失水萎蔫,果实衰老腐烂。相反,0.5 mmol/L nPG 处理后,甜瓜在储藏期保鲜效果较好,果实色泽艳丽,在 20℃ 条件下可储藏 14 d。XU 等^[10]研究番茄采后保鲜时发现,0.5 mmol/L nPG 处理绿熟期番茄可使成熟延缓 7 d,番茄在储藏期间能保持较高的果实硬度和含水量。丁君等^[19]的研究表明 nPG 处理鲜切生姜能够保持鲜切生姜的质地,降低鲜切生姜的失重率,同时使维生素 C、可溶性固形物含量和硬度维持在较高水平。

研究表明,果蔬中含糖量和有机酸的含量对果蔬的口感、风味、贮藏性等具有重要的影响^[6]。该试验结果表明,随着贮藏时间的延长,薄皮甜瓜的可滴定酸和维生素 C 含量均呈下降趋势,在储藏第 4 天后,可滴定酸迅速下降,到第 10 天下降速度有所减缓,到第 14 天降到最低;维生素 C 含量在第 6 天后急剧下降,在第 14 天减少近 1.5 倍。相比较而言,nPG 处理组可滴定酸和维生素 C 含量始终保持较低的下降速度,且在整个储藏期间均高于对照组,这表明 nPG 处理能够有效缓解果实有机酸的降解,保持甜瓜的酸甜口感。此外,nPG 处理组甜瓜果实在采后储藏期间逐渐上升,表明 nPG 处理在保鲜的同时,稳定了甜瓜的果实代谢进程。

诸多研究表明,果实储藏期间活性氧(reactive oxidase species,ROS)的产生是引起果实衰老的重要因素之一,ROS 的积累造成果实生理机能下降,抗性减弱,容易遭受病原微生物的入侵进而出现细胞破损,果肉褐

变,品质恶化,严重影响了果实的采后保鲜^[20-21]。ROS 产生还能引发脂质过氧化、蛋白质氧化、核酸损伤和酶失活,并能激活程序性细胞死亡^[22]。高雄杰^[23]研究发现,用硅酸钠处理“玉金香”甜瓜可促进甜瓜抗氧化酶类(CAT、POD、SOD)的酶活性,抑制活性氧的形成,减少膜脂过氧化产物丙二醛的产生,维护机体的正常代谢活动,延长甜瓜的货架期。该试验用 0.5 mmol/L nPG 处理甜瓜能明显降低储藏期间 H₂O₂ 的产生,稳定抗氧化酶类 CAT、SOD 和 POD 的活性,从而减轻果实氧化损伤,这与 XU 等^[10]研究结果也是相一致的。

总之,该试验研究表明 nPG 处理甜瓜具有较好的保鲜效果,且在常温(20℃)条件下可明显延长果实的货架期。nPG 安全性高,使用方便,不受时间和地点的影响,因而有望在农民生产、运销过程中进行推广,减轻果实烂损问题。该试验成果可为厚皮甜瓜贮藏保鲜以及其它呼吸跃变型果实保鲜技术提供理论依据和技术参考,但 nPG 的具体作用机理是什么,是否参与调控成熟相关基因的表达,还需要进一步的研究证实。

参考文献

- [1] 孟令波,褚向明,秦智伟,等.关于甜瓜起源与分类的探讨[J].北方园艺,2001(4):20-21.
- [2] 马德伟.甜瓜优良品种[J].中国蔬菜,1992(5):45.
- [3] 陈雷,秦智伟.甜瓜采后生理和贮藏保鲜研究进展[J].北方园艺,1999(6):24-27.
- [4] SABATO D,ESTERAS C,GRILLO O,et al. Seeds morpho-colourimetric analysis as complementary method to molecular characterization of melon diversity[J]. Scientia Horticulturae,2015,192:441-452.
- [5] 张润光,王良艳,黄丽婉.甜瓜贮藏保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2011,11(1):36-39.
- [6] 王良艳,张有林,张润光,等.1-甲基环丙烯复合焦亚硫酸钠处理对厚皮甜瓜的保鲜效果[J].食品科学,2012(12):294-298.
- [7] 吴斌,钟梅,王智荣,等.固体 ClO₂ 保鲜剂的研制及应用[J].食品科学,2010,31:294-296.
- [8] 王兰菊,胡青霞,李靖.甜瓜涂膜常温保鲜效果研究[J].郑州轻工业学院学报(自然科学版),2003(18):68-70.
- [9] 李因,姜子涛,李荣.食品中没食子酸丙酯的定量分析研究进展[J].食品研究与开发,2007,28(9):172-175.
- [10] XU F,ZHANG D W,WANG JH,et al. n-propyl gallate is an inhibitor to tomato fruit ripening[J]. Journal of Food Biochemistry,2012,36(6):657-666.
- [11] 张立虎,李冠,张自强,等.便携式糖度无损检测仪在甜瓜糖度检测中的应用[J].新疆农业科学,2014(12):2347-2352.
- [12] CRINÒ P,BIANCO CL,ROUPHAEL Y,et al. Evaluation of rootstock resistance to fusarium wilt and gummy stem blight and effect on yield and quality of a grafted 'Inodorus' melon[J]. Hort Science,2007,42(3):521-525.
- [13] XU F,YUAN S,ZHANG D W,et al. The role of alternative oxidase in tomato fruit ripening and its regulatory interaction with ethylene[J]. Journal of Experimental Botany,2012,63(15):5705-5716.
- [14] ZHANG D W,YUAN S,XU F,et al. Light intensity affects chlorophyll synthesis during greening process by metabolite signal from mitochondrial alternative oxidase in *Arabidopsis*[J]. Plant, Cell and Environment,2016,39(1):12-25.

- [15] ZHU F, XI DH, YUAN S, et al. Salicylic acid and jasmonic acid are essential for systemic resistance against tobacco mosaic virus in *Nicotiana benthamiana*[J]. Molecular Plant-Microbe Interactions, 2014, 27(6):567-577.
- [16] 余璐璐, 吴阳晨, 王静静, 等. 交替氧化酶在麻疯树盐胁迫响应中的作用[J]. 生物技术通报, 2014, 43(7):112-118.
- [17] WANG S D, ZHU F, YUAN S, et al. The roles of ascorbic acid and glutathione in symptom alleviation to SA-deficient plants infected with RNA viruses[J]. Planta, 2011, 234(1):171-181.
- [18] 侯田莹, 宋曙辉, 寇文丽, 等. 不同贮藏温度条件下薄皮甜瓜品质和生理特性的变化[J]. 中国瓜菜, 2011(24):7-10.
- [19] 丁君, 杨绍兰, 吴昊, 等. 不同浓度的没食子酸丙酯对鲜切生姜保鲜特性的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(9):236-240.
- [20] 田世平. 果实成熟和衰老的分子调控机制[J]. 植物学报, 2013, 48(5):481-488.
- [21] TIAN S, QIN G, LI B. Reactive oxygen species involved in regulating fruit senescence and fungal pathogenicity[J]. Plant Molecular Biology, 2013, 82(6):593-602.
- [22] 张梦如, 杨玉梅, 成蕴秀, 等. 植物活性氧的产生及其作用和危害[J]. 西北植物学报, 2014, 34(9):1916-1926.
- [23] 高雄杰. 采后硅酸钠处理对“玉金香”甜瓜活性氧及其代谢体系的诱导[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2010.

Effect of N-propyl Gallate Treatment on Postharvest Storage of Thin-skinned Melon (*Cucumis melo* L.)

CAO Zhongquan¹, YU Lulu¹, XU Fei^{1,2}

(1. College of Life Science and Biotechnology, Wuhan Institute of Bioengineering, Wuhan, Hubei 430415; 2. Center of Applied Biotechnology, Wuhan Institute of Bioengineering, Wuhan, Hubei 430415)

Abstract: Thin-skinned melon (*Cucumis melo* L.) was used as material to study the effect of n-propyl gallate (nPG) treatment at different concentrations on fruit postharvest storage, and the changes of fruit metabolism were also investigated. The results showed that 0.25, 0.50, 1.00 mmol/L nPG treatment obviously promoted the shelf life of thin-skinned melon, especially the 0.50 mmol/L nPG-treated group, where the fruit postharvest storage was prolonged and the fruit decay was decreased. The 0.50 mmol/L nPG-treated fruit also kept higher water content, soluble sugar content, titratable acid content and vitamin C content when compared with the control fruit. In addition, treatment of nPG significantly prohibited oxidative damage on melon fruit, which showed lower electric conductivity and MDA content during the whole period of storage. nPG application also inhibited the H₂O₂ accumulation, and the antioxidative enzyme activities of nPG-treated group were maintained higher than the control group. Overall, the results of this study demonstrated that thin-skinned melon fruit postharvest storage could be extended with 0.5 mmol/L nPG treatment. Therefore, nPG is a potential antistaling agent to melon and our results provide an important information for other climacteric fruit postharvest storage.

Keywords: thin-skinned melon; n-propyl gallate; postharvest storage

没食子酸简介

知识窗

没(mo)食子酸亦称“五倍子酸”、“鞣酸”,学名 3,4,5-三羟基苯甲酸,分子式 C₇H₆O₅。广泛存在于掌叶大黄、大叶桉、山茱萸等植物中,是自然界存在的一种多酚类化合物,在食品、生物、医药、化工等领域有广泛的应用。

据国外文献记载,没食子酸最早由舍勒制得(1786),但中国在这以前就有明确记载。例如,明代李挺的《医学入门》(1575)中记载了采用发酵法从五倍子中得到没食子酸的过程。书中谓:“五倍子粗粉,并矾,曲和匀,如作酒曲样,如瓷器遮不见风,候生白取出”。《本草纲目》卷 39 中则有“看药上长起长霜,则药已成矣”的记载。这里的“生白”“长霜”均为没食子酸生成之意,是世界上最早制得的有机酸,比舍勒的发现早了 200 年。

以没食子酸为原料可以合成没食子酸酯类化合物,没食子酸的烷基酯根据烷基碳原子个数可分为低级酯(如甲酯、乙酯、丙酯等)和高级酯(如辛酯、月桂酯、十八碳醇酯等),这些酯类化合物都是性能优良的食品抗氧化剂。20 世纪 80 年代日本已经有用 95%的没食子酸和其它助剂组成的抗氧化剂 G1000、EG-5 乳剂和 EG-5 油剂,特别是没食子酸丙酯为抗氧化剂,可用于食用油脂以防腐臭变质。没食子酸丙酯(PG)已在许多国家批准使用,日、美、德、英均有生产。

(来源:百度百科)