

短波紫外线处理对采后番茄抗氧化活性的影响*

刘长虹 陆仙英 蔡路昀 韩晓旭 应铁进

(浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058)

【摘要】 研究了4 kJ/m²短波紫外线照射处理对采后番茄在14℃贮藏35 d主要品质及抗氧化性能的影响。结果表明:4 kJ/m²短波紫外线照射处理能保持番茄果实硬度、延迟转色,同时显著促进了总酚、类黄酮的次生代谢合成,提高了番茄红素含量及抗氧化酶CAT、SOD、APX和GR的活性,从而显著提高了番茄果实的抗氧化能力。短波紫外线处理对采后番茄的贮藏保鲜及提高总酚、类黄酮和番茄红素等植物营养素的含量具有潜在的应用前景。

关键词: 番茄 贮藏 短波紫外线 抗氧化能力

中图分类号: TS205.9 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)04-0116-04

Effects of UV – C Irradiation to Antioxidants of Postharvest Tomato During Storage

Liu Changhong Lu Xianying Cai Luyun Han Xiaoxu Ying Tiejin

(School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract

The effects of 4 kJ/m² UV – C irradiation on main qualities and antioxidants of tomato during storage were investigated. The experimental results indicated that 4 kJ/m² UV – C irradiation maintained a high level of firmness and delayed the color development, significantly promoted the accumulation of phenolics, flavonoids and lycopene, increased the antioxidant enzyme activities of CAT, SOD, APX and GR, consequently showed higher antioxidant ability during storage. The results suggested that UV – C irradiation had the potential to apply on extending the shelf life and enhancing antioxidants of tomato fruit.

Key words Tomato, Storage, UV – C, Antioxidants

引言

番茄是世界上生产和消费范围最广的果蔬之一,并且被认为是膳食抗氧化剂的重要来源^[1-2]。

低剂量短波紫外线(UV – C)处理是一种无化学污染的物理处理方法,通过照射诱导果蔬自身抗病性的提高,可控制采后果蔬腐烂,延长采后寿命。近年来,国内外学者利用不同剂量的UV – C照射番茄、桃、草莓等果蔬,均能不同程度地控制真菌病害,延迟衰老^[3-6],提高其抗氧化能力^[7-8],但有关UV – C照射诱导采后番茄品质变化及其相关次生代谢生理的研究尚未见报道。本文研究UV – C照射

对采后番茄品质、总酚等植物营养素、抗氧化酶活性以及抗氧化能力的影响,探讨UV – C照射延缓衰老、提高抗氧化能力的作用,为开展番茄采后UV – C照射贮藏保鲜研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料处理

绿熟番茄(浙粉202),于2009年12月12日采自浙江省嘉善县温室,选取形状大小一致、无病虫害的番茄,采收当天运回实验室。用清水冲洗,风扇吹干。使用飞利浦紫外杀菌灯(30 W),用手持式紫外线强度计测得距离紫外灯20 cm处的紫外照射强度

收稿日期: 2010-06-26 修回日期: 2010-09-14

* 国家自然科学基金资助项目(30972036)

作者简介: 刘长虹,博士生,主要从事农产品采后贮藏与保鲜研究,E-mail: liuchanghong1982@163.com

通讯作者: 应铁进,教授,博士生导师,主要从事果蔬采后分子生物学、果蔬储运技术研究,E-mail: yingtiejin22@163.com

为 0.36 mW/cm^2 , 依据不同的照射时间确定紫外照射剂量。采用随机取样法将番茄分组, 进行紫外线照射, 照射时将果实进行翻转, 使之受照均匀。在前期试验的基础上确定番茄 (浙粉 202) 的适宜照射剂量为 4 kJ/m^2 , 将不照射的番茄作为对照果。照射后将番茄置于智能人工气候箱中, 在 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 95% 的黑暗条件下贮藏 35 d。于照射后的当天、7、14、21、28、35 d 对对照组和处理组每次分别取 6 个果实进行测定。将番茄果皮切碎, 用液氮处理后放在冰箱 ($-70\text{ }^{\circ}\text{C}$) 保存备用。

1.2 仪器与设备

飞利浦紫外杀菌灯 (30 W), 有效波长 254 nm ; TA-XT2i 型质构仪; TN-2254 型紫外线强度计; UV-9200 型紫外可见分光光度计; WSC-S 型色差计。

1.3 测定指标及方法

硬度采用英国 TA-XT2i 型质构仪测定, 探头直径为 5 mm , 探头以 1 mm/s 的穿刺速率下压, 下压深度为 15 mm , 读取最大峰值力 (N_{max}) 为硬度指标。采用 WSC-S 型色差计测定果实的 L^* 、 a^* 和 b^* 。 L^* 为亮度, a^* 和 b^* 表示色方向: $+a^*$ 为红色方向, $-a^*$ 为绿色方向, $+b^*$ 为黄色方向, $-b^*$ 为蓝色方向。总酚、类黄酮含量测定采用文献 [2] 的方法, 以没食子酸计算总酚含量, 以芦丁计算类黄酮含量。番茄红素含量测定采用文献 [2] 的方法。抗氧化能力测定分别采用铁离子还原/抗氧化能力测定法 (ferrie reducing/antioxidant power assay, 简称 FRAP 法)、二苯基苦基苯肼自由基清除能力法 (2, 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, 简称 DPPH 法) 和 β -胡萝卜素-亚油酸乳化液法^[9-10], 且分别采用 FRAP 值、DPPH 自由基清除率和抗氧化系数 (AAC) 表示

抗氧化能力。蛋白质含量、过氧化氢酶 (CAT)、超氧化物歧化酶 (SOD)、抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 和谷胱甘肽还原酶 (GR) 活性测定采用文献 [11] 的方法。

1.4 数据统计

数据均采用 SAS 软件进行方差分析, 用 Duncan 法进行显著性检验, $P < 0.05$ 代表有显著性差异, $P < 0.01$ 代表有极显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 硬度

番茄贮藏期间的硬度变化如图 1 所示。贮藏期间对照组和处理组的硬度均呈下降趋势, 除 14 d 和 21 d 外, UV-C 处理过的番茄果实硬度均显著高于未处理果实 ($P < 0.05$), 表明 UV-C 处理显著延迟了番茄果实的衰老。这可能与 UV-C 处理能抑制番茄果实衰老过程中细胞壁降解酶活性有关, 如多聚半乳糖醛酸酶、果胶甲酯酶、纤维素酶、木聚糖酶和蛋白酶。

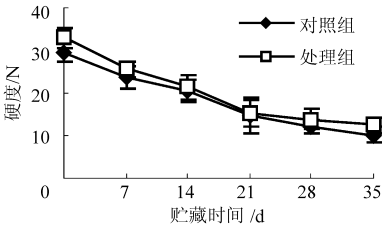


图 1 UV-C 处理番茄果实硬度随贮藏时间变化曲线
Fig. 1 Firmness of untreated and UV-C treated tomato fruit during storage

2.2 色差

番茄在贮藏期间由绿转红, 这种外在颜色变化主要是和番茄果实在贮藏期间叶绿素降解和番茄红素累积有关^[12]。贮藏期间番茄的颜色变化如图 2 所示, 随着贮藏时间的延长, 对照组和处理组的 L^*

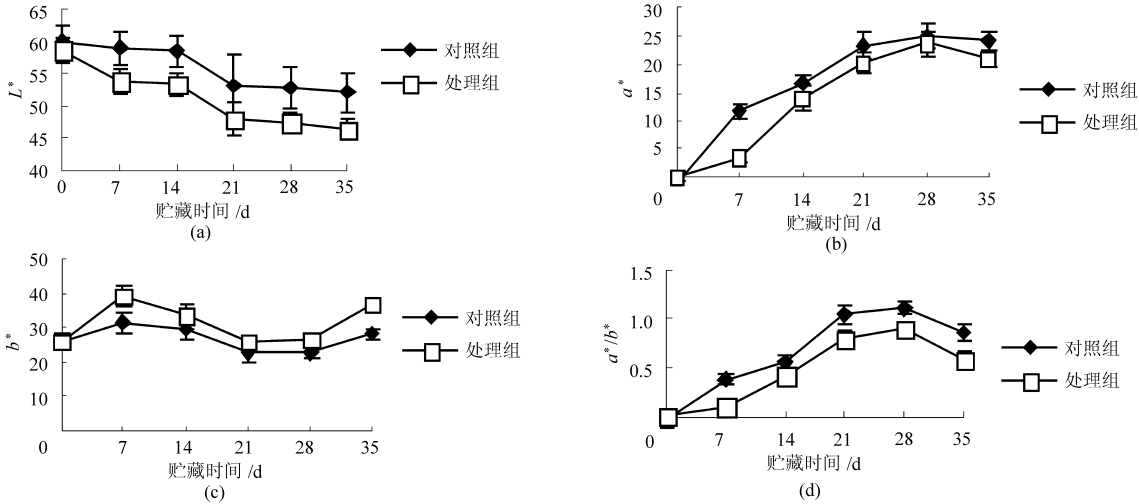


图 2 UV-C 处理番茄果实色差随贮藏时间变化曲线

Fig. 2 L^* , a^* , b^* and a^*/b^* of untreated and UV-C treated tomato fruit during storage

(a) L^* (b) a^* (c) b^* (d) a^*/b^*

均呈下降趋势,但 UV - C 处理显著降低了 L^* 值 ($P < 0.05$)。随着番茄颜色由绿转红,对照组和处理组的 a^* 均随贮藏时间的延长而上升,但 UV - C 照射可显著抑制这种上升趋势。 b^* 在贮藏的前 7 d 升高,随之下降,在贮藏结束时又升高,但 UV - C 处理番茄果实的 b^* 显著高于对照果 ($P < 0.05$)。番茄果实表面的 a^*/b^* 被认为是番茄果实红色发展的参考指标^[13]。图 2d 表明,对照与处理果实的 a^*/b^* 均呈前期上升后期下降的趋势,从贮藏的第 7 d 到结束,UV - C 照射降低了番茄果实的 a^*/b^* 。以上结果表明,UV - C 处理能推迟番茄果实成熟,延缓转色。

2.3 总酚和类黄酮含量

贮藏期间总酚含量的变化如图 3 所示。由图可知,从贮藏的第 14 d 到结束,UV - C 处理显著提高了番茄果实的总酚含量 ($P < 0.05$)。28 d 和 35 d 时,处理组果实总酚质量比分别比对照组高 15.9% 和 18.1%。

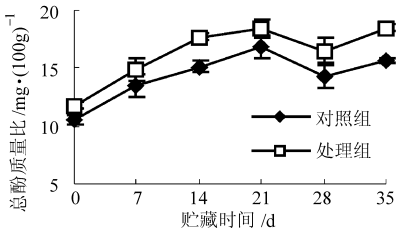


图 3 UV - C 处理番茄果实总酚质量比
随贮藏时间变化曲线

Fig.3 Total phenolics content of untreated and UV - C treated tomato fruit during storage

类黄酮含量变化趋势与总酚相似,如图 4 所示,从贮藏的第 7 d 到结束,UV - C 照射显著提高了番茄果实的类黄酮含量 ($P < 0.05$)。35 d 时,对照组与处理组果实的类黄酮质量比均达到最大值,分别为 16.4 mg/(100 g) 和 20.8 mg/(100 g),比处理当天分别提高了 74.0% 和 110.3%。

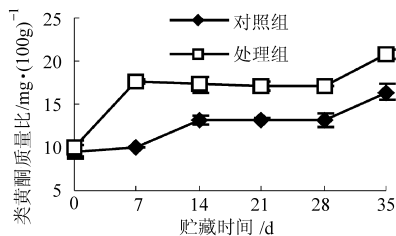


图 4 UV - C 处理番茄果实类黄酮质量比
随贮藏时间变化曲线

Fig.4 Flavonoids content of untreated and UV - C treated tomato fruit during storage

2.4 番茄红素含量

番茄红素是类胡萝卜素的一种,在番茄中大约

占类胡萝卜素的 80% ~ 90%^[14]。贮藏期间番茄红素质量比的变化如图 5 所示,在处理的当天,对照组与处理组的番茄红素均很低,随后的 21 d 番茄红素大量增加,从 21 d 到 35 d 增长缓慢,贮藏结束时,番茄红素含量约增长了 60 倍。从 21 d 到贮藏结束,UV - C 处理显著提高了番茄果实中的番茄红素含量 ($P < 0.05$),35 d 时,处理组番茄红素质量比达到 6.8 mg/(100 g),而对照组仅为 4.9 mg/(100 g),处理组较对照组提高了 38.7%。

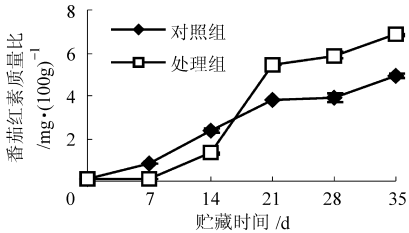


图 5 UV - C 处理番茄果实番茄红素质量比
随贮藏时间变化曲线

Fig.5 Lycopene content of untreated and UV - C treated tomato fruit during storage

2.5 抗氧化能力

虽然有很多测定抗氧化能力的方法,但迄今为止没有一种公认的标准方法^[15]。本试验采用 FRAP 法、DPPH 法和 β -胡萝卜素-亚油酸乳化液法 3 种方法相互印证来测定番茄果实的抗氧化能力。如图 6 所示,贮藏期间对照和处理组的 FRAP 值均呈前期上升后期下降趋势;DPPH 自由基清除率则始终处于上升状态,但后期上升缓慢;处理组的 AAC 呈前期上升后期下降趋势,而对照组则始终处于上升趋势。同时,这 3 种方法均表明 UV - C 处理显著提高了番茄果实的抗氧化能力 ($P < 0.05$)。前人研究表明,番茄总抗氧化能力中水溶性抗氧化剂大约占 92%,脂溶性抗氧化剂(主要是番茄红素和脂溶性酚类化合物)大约占了 8%^[2]。本试验中,番茄果实总酚和类黄酮含量的增加以及它们的协同作用可能是水溶性抗氧化能力(FRAP 法和 DPPH 法测定)提高的主要原因,而番茄红素的增加可能是脂溶性抗氧化能力(β -胡萝卜素 - 亚油酸乳化液法测定)提高的原因。综上所述,UV - C 处理对抗氧化能力有积极作用,显著提高了番茄果实的抗氧化能力 ($P < 0.05$)。

2.6 抗氧化酶

抗氧化酶体系在植物成熟过程中起重要作用,这个体系包括 CAT、SOD、APX 和 GR^[16]。番茄贮藏期间各抗氧化酶的变化如图 7 所示。整个贮藏期间,UV - C 处理提高了 CAT、APX 和 GR 的活性。从贮藏的 21 d 到 28 d,UV - C 处理显著提高了 SOD

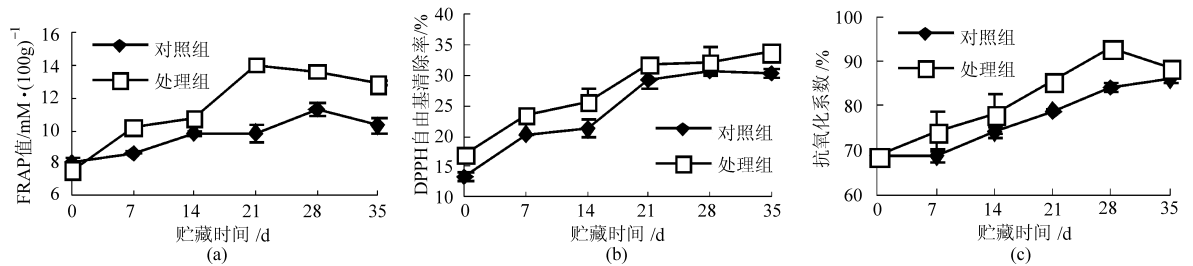


图 6 UV - C 处理番茄果实抗氧化能力随贮藏时间变化曲线

Fig. 6 Antioxidant activity of untreated and UV - C treated tomato fruit during storage
(a) FRAP (b) DPPH (c) AAC

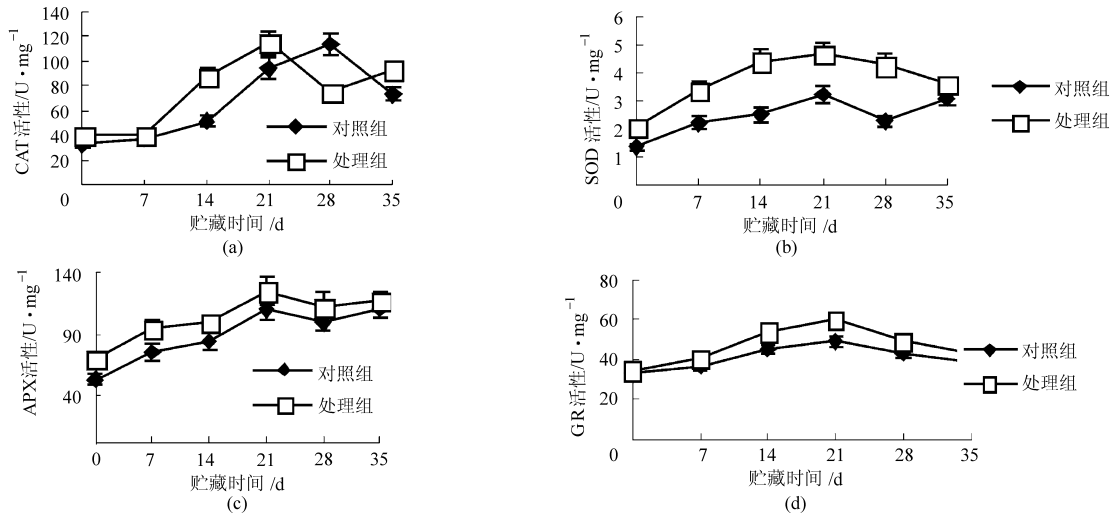


图 7 UV - C 处理番茄果实 CAT、SOD、APX 和 GR 活性随贮藏时间变化曲线

Fig. 7 CAT, SOD, APX and GR of untreated and UV - C treated tomato fruit during storage
(a) CAT (b) SOD (c) APX (d) GR

的活性($P < 0.05$), 35 d 时, 处理组的 SOD 活性低于对照组, 但差异不显著($P > 0.05$)。

3 结束语

4 kJ/m²短波紫外线照射处理能保持番茄果实

硬度、延迟转色、推迟成熟, 同时显著促进了总酚、类黄酮的次生代谢合成, 提高了番茄红素含量和抗氧化酶 CAT、SOD、APX、GR 的活性, 显著提高了番茄果实的总抗氧化能力。

参 考 文 献

1 Lenucci M S, Cadinu D, Taurino M, et al. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2006, 54(7): 2 606 ~ 2 613.
2 Toor R K, Savage G P. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes [J]. Food Research International, 2005, 38(5): 487 ~ 494.
3 Baka M, Mercier J, Corcuff R, et al. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries [J]. Journal of Food Science, 1999, 64(6): 1 068 ~ 1 072.
4 El Ghauth A, Wilson C L, Callahan A. Induction of chitinase, β -1, 3-glucanase, and phenylalanine ammonia lyase in peach fruit by UV-C treatment [J]. Phytopathology, 2003, 93(3): 349 ~ 355.
5 Liu J, Stevens C, Khan V A, et al. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes [J]. Journal of Food Protection, 1993, 56(10): 868 ~ 872.
6 荣瑞芬, 冯双庆. 不同剂量短波紫外线照射对采后番茄后熟和发病的影响[J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(1): 68 ~ 73.
Rong Ruifen, Feng Shuangqing. Effect of UV-C light irradiation on ripening and disease infection of postharvest tomato [J]. Journal of China Agricultural University, 2001, 6(1): 68 ~ 73. (in Chinese)

superbus [J]. Food Chemistry, 2007,104(3): 1 215 ~ 1 219.

17 Chua M T, Tung Y T, Chang S T. Antioxidant activities of ethanolic extracts from the twigs of *Cinnamomum osmophloeum* [J]. Bioresource Technology, 2008, 99(6): 1 918 ~ 1 925.

18 江慎华,王书源,马海乐,等. 丁香活性物质提取工艺及其抗氧化活性的研究[J].农业机械学报, 2010,41(1):132 ~ 138.
Jiang Shenhua, Wang Shuyuan, Ma Haile, et al. Extracting technology and antioxidant activity of bioactive components from clove [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(1):132 ~ 138. (in Chinese)

19 Lee H S, Jung S H, Yun B S, et al. Isolation of chebulic acid from *Terminalia chebula* Retz. and its antioxidant effect in isolated rat hepatocytes [J]. Archives of Toxicology, 2007, 81(3): 211 ~ 218.

20 Cheng H Y, Lin T C, Yu K H, et al. Antioxidant and free radical scavenging activities of *Terminalia Chebula* [J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin,2003,26(9):1 331 ~ 1 335.

21 Rangsiwong P, Rangkadilok N, Satayavivad J, et al. Subcritical water extraction of polyphenolic compounds from *Terminalia chebula* Retz. fruits [J]. Separation and Purification Technology, 2009, 66(1): 51 ~ 56.

~~~~~

(上接第 119 页)

7 Wang C Y, Chen C T, Wang S Y. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries illumination with UV-C [J]. Food Chemistry, 2009, 117(3): 426 ~ 431.

8 Erkan M, Wang S Y, Wang C Y. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 48(2): 163 ~ 171.

9 Alothman M, Bhat R, Karim A A. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits [J]. Innovative Food Science and Emerging Technology, 2009, 10(4): 512 ~ 516.

10 Kaur C, Kapoor H C. Antioxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(2): 153 ~ 161.

11 曹建康,姜微波,赵玉梅,等. 果蔬采后生理生化实验指导 [M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007.

12 Saltveit M E. Fruit ripening fruit quality [M]. Wallingford, UK: CAB International, 2005: 145 ~ 170.

13 Arias R, Lee T C, Logendra L, et al. Correlation of lycopene measured by HPLC with the  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  colour readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with colour and lycopene content [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(5): 1 697 ~ 1 702.

14 Shi J, Maguer M L. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing [J]. CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2000, 40(1): 1 ~ 42.

15 Frankel E N, Meyer A S. The problems of using one-dimensional methods to evaluate multifunctional food and biological antioxidants [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2000, 80(13): 1 925 ~ 1 941.

16 Dalton D A. Antioxidant defenses of plants and fungi [M]. New York: Chapman and Hall, 1995: 298 ~ 355.