

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2016.04.011

文章编号:2095-6002(2016)04-0061-05

引用格式:李健,任朋,罗瑶,等.臭氧水处理对草莓采后品质和生理的影响[J].食品科学技术学报,2016,34(4):61-65.



LI Jian, REN Peng, LUO Yao, et al. Effects of ozone water treatments on postharvest quality and physiology of strawberry fruit[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 34(4): 61-65.

臭氧水处理对草莓采后品质和生理的影响

李健, 任朋, 罗瑶, 李丽萍, 王友升*

(北京工商大学食品学院/北京市食品添加剂工程技术研究中心/食品质量与安全
北京实验室/北京市食品风味化学重点实验室, 北京 100048)

摘要:用臭氧水处理草莓3 min和9 min,研究不同处理对草莓采后品质、抗氧化物质含量和相关酶活性的影响。结果表明:贮藏14 d后,臭氧水处理9 min草莓果实的硬度比对照组高74.68%,果实的可溶性固形物含量增加8.59%,总酸含量高于对照组15.63%,抑制了果实的呼吸作用。另外,用臭氧水处理草莓9 min,增加了果实过氧化氢酶和过氧化物酶活性,分别比对照组高出17.49%和53.00%。同时,臭氧水9 min处理后,草莓的总抗氧化能力和DPPH自由基清除能力也得到提高,分别较对照组高41.95%和102.37%。因此用臭氧水处理草莓9 min,可以较好地延长草莓果实的保鲜期,保持草莓的采后品质。

关键词:臭氧水;草莓;采后品质;生理;保鲜**中图分类号:**TS255.3; TS201.2**文献标志码:**A

草莓色泽艳丽、味道酸甜可口,富含多种维生素,具有较高的营养价值。但是草莓柔软多汁,含有较高的水分,组织娇嫩,在运输过程中容易受到机械损伤而腐烂,自然条件下采后2~4 d即腐烂霉变^[1]。因此,寻找有效的草莓保鲜方法具有重要意义。

臭氧(O₃),又名富氧、超氧、三原子氧,具有消毒、灭菌,去除环境中有害气体等作用。特别是进入20世纪90年代以来,臭氧在食品保藏加工中的应用越来越受到重视^[2]。臭氧能迅速穿过真菌、细菌等微生物的细胞壁、细胞膜,杀灭或抑制微生物的生长^[3];臭氧还能够降解环境中的有害气体,如乙烯,从而达到延缓果蔬生理代谢的作用^[4]。已有研究表明,臭氧处理对黄花朵果实及其鲜切片具有较好的保鲜效果^[5];王磊^[6]采用臭氧保鲜及包装技术进行常温保鲜后,使西红柿的保鲜期延长到14 d以上。目前尚未见关于臭氧水处理对草莓活性氧代谢及抗氧化能力影响的报道。本研

究使用臭氧水处理草莓,并对草莓的品质指标进行测定,探讨臭氧处理草莓的优化时间。

1 材料和方法

1.1 实验材料

“丰香”草莓(*Fragaria × ananassa* Duch cv. Toyonoka),购于新发地农贸市场。运回实验室后,挑选大小颜色一致,无机械伤、病虫害的果实进行实验。

1.2 实验仪器

Eppendorf 5810R 型台式高速大容量冷冻离心机,德国艾本德公司;LFRA 1500g 型质构仪,美国 Brookfield 公司;Lambda 35 型分光光度计,珀金埃尔默有限公司;PR-201 型数字式糖度计,美国 ATAGO 有限公司;TB-214 型分析天平,北京赛多利斯仪器有限公司;XT-B3 型臭氧水发生器,泰州市绿环环保机械制造有限公司。

收稿日期:2015-10-10

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD24B03);科技部科研院所技术开发研究专项(2013EG127233);北京市属高等学校创新团队建设与教师职业发展计划项目(IDHT20130506)。

作者简介:李健,男,副教授,博士,主要从事果蔬采后生理方面的研究;

*王友升,男,教授,博士,主要从事系统生物技术方面的研究。通信作者。

1.3 实验方法

1.3.1 草莓处理方法

新鲜草莓用臭氧水分别浸泡 3 min 和 9 min, 晾干后贮藏于 0 ~ 1 °C 环境中, 每处理使用 120 个果实。贮藏 14 d 后, 以未浸泡组为对照进行一系列品质指标、活性氧代谢指标及抗氧化指标的测定。

1.3.2 品质指标的测定

用质构仪测定果实硬度。围绕果实赤道部位, 果实两面各测一次, 取其平均值, 每个处理测定 6 个果实, 硬度单位为 kg/cm^2 。为测定果实可溶性固形物, 取果实中间部分果肉, 研磨离心后取上清液, 采用数字式手持糖度计测定, 每处理测定重复 3 次。总酸使用酸碱滴定法测定。呼吸强度使用静置碱液吸收法测定^[7], 呼吸强度以每小时每千克果实释放出的二氧化碳量表示, 单位为 $\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 。

1.3.3 活性氧代谢相关指标的测定

丙二醛 (MDA) 的提取液为 10% 三氯乙酸 (TCA), 在 4 °C、10 000 r/min 条件下离心 30 min, 取 1 mL, 加入 2 mL 0.5% 硫代巴比妥酸 (TBA), 100 °C 水浴 20 min, 在 510, 532, 560, 600 nm 测吸光度, 用 mmol/g 表示。过氧化氢酶 (CAT) 和过氧化物酶 (POD) 使用磷酸缓冲液 ($\text{pH} = 7.8, 0.2 \text{ mol}/\text{L}$) 提取, 在冰浴条件下完成。CAT 参照 Prochazkova 等^[8]

方法测定, 活性以 U/g 表示。POD 活性测定, 参照 Jiang 等^[9]的方法, 以每分钟酶促反应体系吸光度变化 0.01 为一个 POD 活力单位 (U)。

1.3.4 抗氧化能力的测定

总酚测定采用福林酚法, 含量以 $\mu\text{g}/\text{g}$ 表示。总黄酮参照王友升等^[10]方法测定, 含量表示为 $\mu\text{g}/\text{g}$ 。总抗氧化能力 (FRAP) 参照王友升等^[11]的方法, 将硫酸亚铁浓度 (mmol/L) 定义为 FRAP 值, 同时作为活性单位 (U)。样品总抗氧化能力用每克鲜质量样品所含的活性单位来表示 (U/g)。DPPH 自由基清除能力的测定参考李莉等^[12]的方法, 将 DPPH 自由基 50% 清除率定义为 1 个活性单位 (U), 清除 DPPH 自由基能力用 U/g 表示。所有实验重复 3 次。

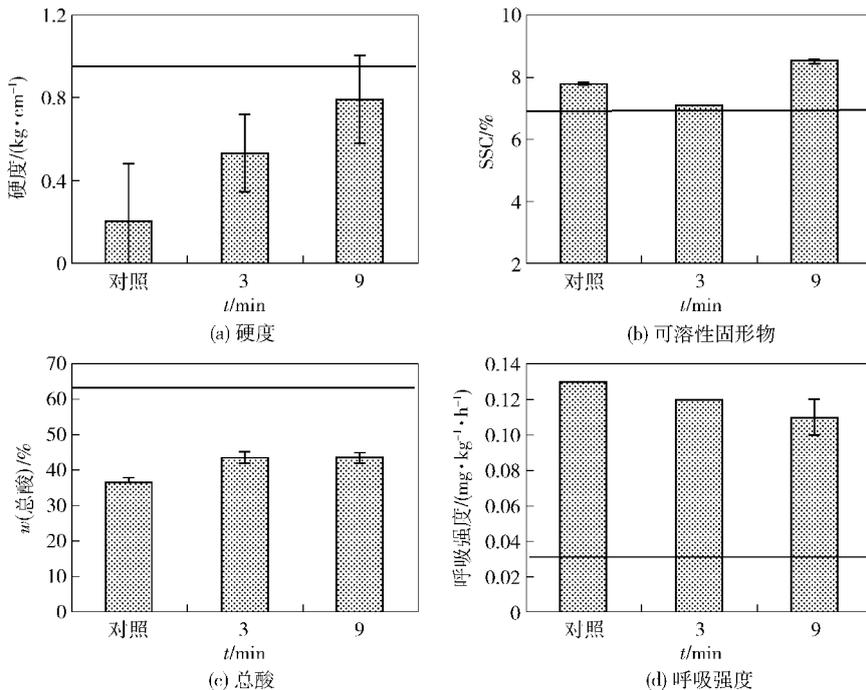
1.3.5 数据统计及制图

使用 Excel 2007 统计分析实验数据, 计算标准误差并作图。

2 结果分析

2.1 臭氧水处理对草莓果实贮藏品质的影响

草莓果实经不同时间的臭氧水处理后, 其品质指标变化如图 1。草莓果实硬度随着贮藏时间的延长而降低, 用臭氧水处理草莓, 贮藏 14 d, 明显延缓



横线代表 0 d 的数值, 竖线代表标准差, $n = 3$

图 1 不同时间臭氧水处理对草莓果实贮藏品质的影响

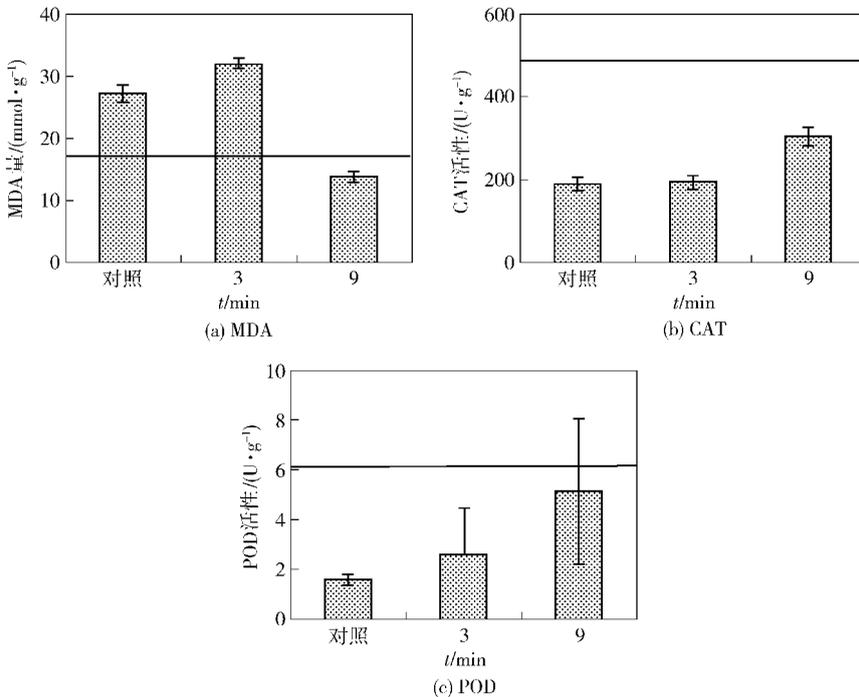
Fig. 1 Effects of ozone water treatments on post-harvest quality of strawberry fruit

了果实硬度的下降。臭氧水处理 9 min 时果实的硬度要比处理 3 min 及对照组分别高 32.91% 和 74.68%。草莓贮藏后,果实的可溶性固形物含量增加,臭氧水处理 9 min,果实的可溶性固形物含量增加最多,高于对照组 8.59%。草莓贮藏 14 d 后,总酸含量下降,用臭氧水抑制草莓果实总酸含量的下降,而臭氧水处理时间对草莓果实总酸含量影响较小,处理 3 min 和 9 min 仅相差 0.07%。草莓果实的呼吸强度随贮藏时间的延长而增加,贮藏 14 d,用臭氧水处理草莓后抑制了草莓的呼吸,用臭氧水处理 9 min 后草莓的呼吸强度最低。

2.2 臭氧水处理对草莓活性氧代谢的影响

草莓果实经不同时间的臭氧水处理后,果实

中的活性氧代谢的变化如图 2。MDA 是植物膜脂过氧化的重要产物之一,植物在逆境中受伤害与活性氧积累诱导膜脂过氧化密切相关。随着贮藏时间的延长,草莓果实中 MDA 含量增加,用臭氧水处理 3 min 时 MDA 含量高于对照组,但处理 9 min 低于对照组,降低了 49.35%。随着贮藏时间的延长,草莓果实中 CAT 和 POD 活性降低。臭氧水处理延缓了这两种酶活性的下降。贮藏 14 d 时,用臭氧水处理草莓 3 min 和 9 min, CAT 活性分别比对照组高出 17.49% 和 53.00%。此外,POD 活性分别为对照组的 9.40 和 13.32 倍。用臭氧水处理草莓 9 min 更好地抑制了 CAT 和 POD 的活性降低。



横线代表 0 d 的数值,竖线代表标准差, $n = 3$

图 2 不同时间臭氧水处理对草莓果实活性氧代谢的影响

Fig. 2 Effects of ozone water treatments on activated oxygen metabolism of strawberry fruit

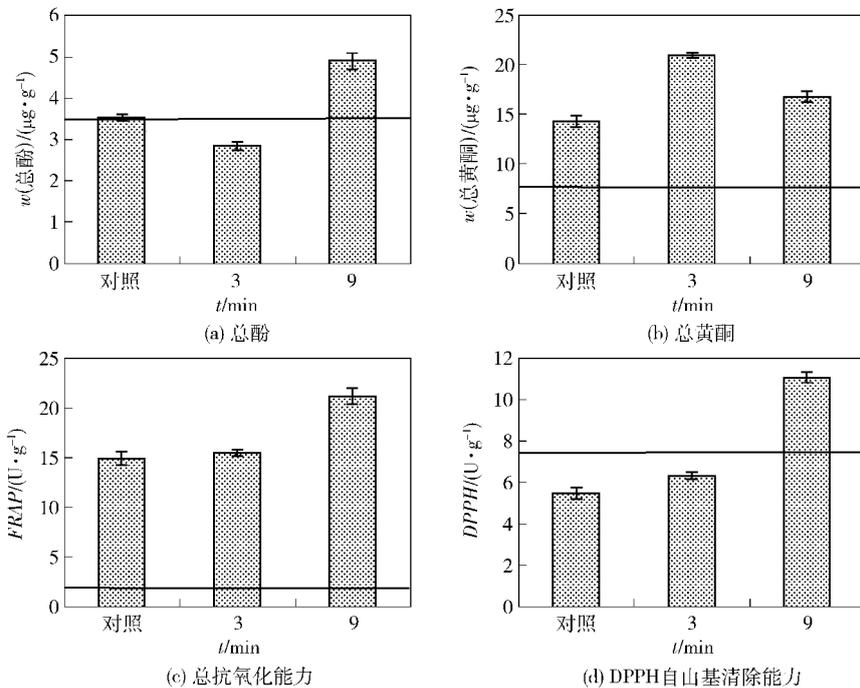
2.3 臭氧水处理对草莓抗氧化能力的测定结果

草莓果实经不同时间的臭氧水处理后,果实中的抗氧化能力的变化如图 3。草莓果实的总酚含量在贮藏第 14 天时略有增加,其中用臭氧水处理 9 min 草莓的总酚含量最高。果实中总黄酮含量最高的为用臭氧水处理 3 min 组,但是处理 9 min 也高于对照组。用臭氧水处理草莓 9 min 提高了果实中 FRAP 和 DPPH 自由基清除能力,分别较对照组高 41.95% 和 102.37%。

3 讨论

臭氧水在农产品保鲜方面应用较广,早在 1936 年,Salmon 等^[13]用臭氧水洗涤鱼类及对贝类进行消毒。现在臭氧水也广泛用于果蔬保鲜,如使用臭氧水处理芹菜后,能够有效降低芹菜的失水率、黄化率,抑制呼吸强度^[14];臭氧水处理茄子 5 min 更利于茄子的保鲜^[15]。

已有研究表明,臭氧水处理能够减少草莓的腐



横线代表0 d的数值,竖线代表标准差, $n=3$

图3 不同时间臭氧水处理对草莓果实抗氧化能力的影响

Fig. 3 Effects of ozone water treatments on antioxidant ability of strawberry fruit

烂、延缓草莓硬度和可溶性固形物的下降^[16]。本研究结果表明:用臭氧水处理9 min,草莓中MDA的含量低于对照组,而CAT和POD活性高于对照组。MDA是膜脂氧化的产物,臭氧降低了MDA,说明臭氧处理可以维持细胞膜的功能,与赵晓丹等^[17]的研究结果相同。植物体内的自由基,是引起膜脂氧化的原因。有研究表明,POD活性的升高能有效地清除内源活性氧自由基^[18]。CAT作为生物防御体系的关键酶之一,主要作用是与POD协同作用,催化过氧化氢分解,从而使细胞免遭过氧化氢毒害^[19]。臭氧处理提高了CAT和POD活性,有利于果实内活性氧自由基的清除,从而减少了自由基对膜的氧化,这可能是处理过程中果实MDA减少的原因。

本研究基于DPPH法和FRAP法测定了草莓的抗氧化能力。研究表明:用臭氧水处理草莓9 min,增强了果实的DPPH自由基清除能力及抗氧化能力,并且草莓果实总酚含量和总黄酮含量也都高于对照组,说明臭氧水处理提高了草莓果实总酚与总黄酮含量,这可能是果实抗氧化能力增加的原因。

4 结论

用臭氧水处理草莓9 min,延缓了果实硬度和可溶性固形物的下降,降低了果实呼吸强度,说明用臭

氧水处理草莓9 min,较好地保持了草莓果实的品质,更有利于草莓保鲜。此外,用臭氧水处理9 min的草莓POD和CAT的活性最高,MDA含量最低。用臭氧水处理草莓9 min可以增加草莓总酚和总黄酮的含量,提高了果实的FRAP和DPPH自由基清除能力。

参考文献:

- [1] MOLDAO-MARTINS M, BEIRAO-DA-COSTA S M, BEIRAO-DA-COSTA S M. The effect of edible coatings on postharvest quality of the "Brave de Esmolfe" apple [J]. *European Food Research and Technology*, 2003, 217:325 - 328.
- [2] 沈群,王群. 臭氧的特性及其应用[J]. *食品科技*, 2000 (6):70 - 71.
- [3] KANOFSKY J R, SIMA P. Single oxygen production from the reactions of ozone with biological molecules[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1991, 266:9039 - 9042.
- [4] SKOG L J, CHU C L. Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2001, 81:773 - 778.
- [5] 朱克花,杨震峰,陆胜民,等. 臭氧处理对黄花梨果实贮藏品质和生理的影响[J]. *中国农业科学*, 2009, 42 (12):4315 - 4323.

- [6] 王磊. 西红柿臭氧保鲜实验研究[J]. 包装工程, 2005, 26(1): 14-16.
- [7] 张桂. 果蔬采后呼吸强度的测定方法[J]. 理化检验: 化学分册, 2005, 41(8): 596-597.
- [8] PROCHAZKOVA D, SAIRAM R, SRIVASTAVA G, et al. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves[J]. Plant Science, 2001, 161: 765-771.
- [9] JIANG A L, TIAN S P, XU Y. Effects of controlled atmospheres with high O₂ or high CO₂ concentrations on postharvest physiology and storability of "Napoleon" sweet cherry[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(8): 925-930.
- [10] 王友升, 董银卯, 宋彦, 等. 甘薯叶中清除自由基活性物质的提取保存与定性分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(1): 4-7.
- [11] 王友升, 谷祖臣, 张帆. 不同品种和成熟度树莓和黑莓果实的氧化和抗氧化活性比较[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 81-86.
- [12] 李莉, 王友升, 张帆, 等. 采前钙处理对树莓果实贮藏效果及清除自由基能力的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2009, 31(5): 616-620, 627.
- [13] SALMON J, LE GALL J. Application of ozone for the maintenance of freshness and for the prolongation of conservation time of fish[J]. Ann Hyg Publind Sociable, 1936, 24(2): 84-93.
- [14] 潘磊庆, 屠康, 贾明敏, 等. 臭氧水处理对芹菜保鲜效果的研究[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(3): 348-352.
- [15] 王肱, 谢晶. 臭氧水处理对鲜切茄子保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(15): 324-328.
- [16] 庞斌, 杨中平, 胡志超, 等. 臭氧水处理对草莓腐烂及品质的影响[J]. 中国农机化, 2010(1): 88-92.
- [17] 赵晓丹, 傅达奇, 李莹. 臭氧结合气调冷藏对草莓保鲜品质的影响[J]. 食品科技, 2015(6): 24-28.
- [18] HAMMERSCHMIDT R, NUCKLES E M, KUĆ J. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichum lagenarium*[J]. Physiological and Molecular Plant Pathology, 1982, 20(1): 73-82.
- [19] 蒋爱丽. 蓝莓果实采后生理生化代谢及调控研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011.

Effects of Ozone Water Treatments on Postharvest Quality and Physiology of Strawberry Fruit

LI Jian, REN Peng, LUO Yao, LI Liping, WANG Yousheng*

(School of Food and Chemical Engineering/Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives/Beijing Laboratory for Food Quality and Safety/Beijing Key Laboratory of Food Flavor Chemistry, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

Abstract: Strawberries were treated by ozone water for 3 and 9 min, and effects of ozone water on postharvest quality, antioxidant compounds, and related enzymes of strawberry fruit were investigated. Results showed that 9 min ozone water treatment increased the firmness of strawberry fruit, soluble solid content, and total acid content. The respiration of strawberry was inhibited by 9 min ozone water. In addition, 9 min ozone water treatment increased the catalase (CAT) activity, peroxidase (POD) activity, total antioxidant capacity (FRAP), and DPPH radical scavenging ability of fruit. The shelf life was extended by ozone water treatment.

Key words: ozone water; strawberry; postharvest quality; physiology; preservation

(责任编辑:叶红波)