

臭氧处理对采后黄瓜贮藏品质的影响

梁芸志¹, 季丽丽¹, 陈存坤², 吴昊¹, 荆琳¹, 潘映鸿¹, 王成荣^{1*}

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 青岛 266109; 2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津市采后生理重点实验室, 天津 300384)

摘要: **目的** 研究不同浓度臭氧处理对采后黄瓜贮藏品质的影响。**方法** 分别用浓度为 1、3 和 5 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理用微孔膜包装的黄瓜 15 min, 每隔 1 d 处理 1 次, 于 7 $^{\circ}\text{C}$ 冷库中贮藏, 并通过测定黄瓜硬度、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C、叶绿素、丙二醛、过氧化物酶活性等指标来确定处理黄瓜的合适臭氧浓度。**结果** 与对照组相比, 采用 5 $\mu\text{g/mL}$ 浓度的臭氧处理可保持黄瓜较好的硬度, 减缓叶绿素、抗坏血酸、可滴定酸和可溶性固形物等营养成分的降低, 有效抑制丙二醛的积累, 抑制过氧化物酶的活性。**结论** 臭氧处理可以保持黄瓜的生理生化指标, 提高黄瓜的贮藏品质, 其中 5 $\mu\text{g/mL}$ 的臭氧处理效果最好。

关键词: 臭氧处理; 黄瓜; 贮藏品质

Effects of ozone treatment on the storage quality of postharvest cucumber

LIANG Yun-Zhi¹, JI Li-Li¹, CHEN Cun-Kun², WU Hao¹, JING Lin¹, PAN Ying-Hong¹,
WANG Cheng-Rong^{1*}

(1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China;
2. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products,
Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of ozone treatment on the storage quality of postharvest cucumber. **Methods** The cucumbers packed in micro-porous film were treated with 1, 3 and 5 $\mu\text{g/mL}$ ozone for 15 min every other day at 7 $^{\circ}\text{C}$. The hardness, total soluble solids (TSS), titratable acid (TA), vitamin C, chlorophyll, malonaldehyde (MDA) and peroxidase (POD) activity were detected to determine the proper concentration of ozone. **Results** Compared with the control group, 5 $\mu\text{g/mL}$ ozone could sustain high hardness, reduce the decline rate of chlorophyll, vitamin C, TA and TSS content, prevent the accumulation of MDA, and inhibit the activity of POD effectively. **Conclusion** Ozone treatment can maintain physiological and biochemical indexes and improve the storage quality of cucumber effectively, and 5 $\mu\text{g/mL}$ ozone has the best effect.

KEY WORDS: ozone treatment; cucumber; storage quality

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目子课题(SDNYCX-2015-ZD06-02)、国家自然科学基金青年基金(31401549)、山东省现代蔬菜产业技术体系(SDAIT-05-21)、山东省高等学校科技计划项目(J14LE11)、青岛市科技计划项目(14-2-4-71-jch)、青岛农业大学高层次人才科研基金(631207)

Fund: Supported by Shandong Province Agricultural Major Technology Innovation Project (SDNYCX-2015-ZD06-02), The Youth Foundation of National Natural Science Foundation of China (31401549), the Modern Vegetable Industry Technology System of Shandong Province (SDAIT-05-21), Project of Shandong Province Higher Educational Science and Technology Program (J14LE11); Qingdao Applied Basic Research Project (14-2-4-71-jch) and Talents of Highlevel Scientific Research Foundation of Qingdao Agriculture University (631207)

*通讯作者: 王成荣, 教授, 主要研究方向农产品加工及贮藏工程。E-mail: qauwcr@126.com

*Corresponding author: WANG Cheng-Rong, Professor, College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109. E-mail: qauwcr@126.com

1 引言

臭氧是一种强氧化剂,具有广谱、高效的杀菌作用^[1]。它能氧化许多饱和、非饱和的有机物质破除高分子链及简单烃类物质^[2]。它还能诱导果蔬表皮的气孔缩小、减少水分蒸腾和养分消耗。它可将果蔬产生的乙烯氧化破坏,延缓后熟,并杀死果蔬表面微生物,保持其新鲜品质^[3]。自从美国对臭氧在食品工业中的作用给予“安全可靠”标识后,臭氧气体已被应用于果蔬采后处理^[4]。国内外许多研究^[5-10]表明,臭氧对金橘、芒果、草莓、荔枝和马铃薯等果蔬具有较好的保鲜作用,但用不同浓度的臭氧处理黄瓜却鲜有报道。近年来,徐维微^[11]使用不同浓度的臭氧水处理生长期草莓植株,发现8 mg/L臭氧水处理对草莓果实中多菌灵残留降解效果最好,总抗氧化能力最高,4 mg/L臭氧水处理色素和糖酸含量最高。张丽华等^[12]研究不同浓度臭氧水对鲜切猕猴桃保鲜效果的影响,发现0.7 mg/L的臭氧水处理可使鲜切猕猴桃的货架期由10 d延长至14 d。

本研究选择3种不同浓度的臭氧对黄瓜进行处理,研究其对黄瓜呼吸强度、各种营养成分以及酶活性的影响,以确定保持黄瓜品质的最适臭氧浓度。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

黄瓜采购于天津红旗农贸市场。挑选大小均匀、无病虫害、无机械损伤的黄瓜,分别用浓度为1、3和5 μg/mL的臭氧处理15 min,每隔1 d处理1次,用微孔膜包装,每袋大约5 kg,于7℃冷库中贮藏。

PBI Dansensor 残氧仪(丹麦丹圣公司);TA.XT.Plus 物性仪(英国 SMS 公司);PAL-1 便携式手持折光仪(日本 Atago 公司);GMK-835N 酸度测定仪(韩国 G-WON 公司);3-30K 高速冷冻离心机(德国 Sigma 公司);UV-1780 紫外可见分光光度计(日本岛津公司)。

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠(分析纯,天津科威公司);氢氧化钠(分析纯,天津风船公司);硫代巴比妥酸(分析纯,天津科丰公司);三氯乙酸、聚乙二醇 6000、聚乙烯吡咯烷酮、Triton-100、愈创木酚、过氧化氢、盐酸、丙酮(分析纯,天津光复公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 硬度

利用 P/2 柱头(Φ=2 mm)对黄瓜进行穿刺测试,测前速率为 5.0 mm/s,测试速率为 2.0 mm/s,穿刺深度为 10 mm,重复测定 8 次并取得平均值,单位为 N。

2.2.2 呼吸速率

将黄瓜放置于密闭保鲜盒中,放置 3 h,然后用残氧仪测定氧气以及二氧化碳的百分含量,呼吸强度

$$Q = \frac{V \times (V_1 - m \div \rho) \times 14.29}{m \times t}$$

其中:Q 为呼吸强度,CO₂ mg/kg·h;V%为二氧化碳百分含量;V₁为保鲜盒的体积,mL;ρ为样品密度,g/cm³;m为样品质量,g;t为放置时间,h。

2.2.3 可滴定酸(titratable acid, TA)含量

将黄瓜切碎后打浆,用 6 层纱布对浆液进行过滤,吸取 0.306 mL 滤液,加至盛有 30 mL 蒸馏水的测试瓶中,用 GMK-835N 酸度测定仪进行测定,每个处理重复测定 3 次,并取平均值。

2.2.4 可溶性固形物(total soluble solids, TSS)含量

将黄瓜切碎打浆,并用 6 层纱布对浆液进行过滤,倒入适量的滤液,用 PAL-1 便携式手持折光仪测定可溶性固形物含量,每个处理重复测定 3 次,并取平均值。

2.2.5 叶绿素含量

参考曹健康等^[13]的方法,并稍作修改。称取 5.0 g 样品于研钵中,加入少量石英砂和碳酸钙以及 10 mL 丙酮,研磨成浆,继续加少量丙酮研磨至组织变白,并静置 3~5 min 提取,然后过滤,并用丙酮冲洗残渣和玻璃棒数次,直至滤纸和残渣中无绿色为止,最后用丙酮定容到 25 mL,摇匀。用丙酮为参比调零,测定其在 652 nm 处的吸光度值,重复 3 次。单位为 mg/g。

2.2.6 维生素 C 含量

参考马宏飞等^[14]的方法,并稍微修改。称取 10.0 g 样品于研钵中,加入 10 mL 10% HCL,研磨成浆,用蒸馏水定容到 25 mL,摇匀,移到离心管中离心 15 min,然后取 1 mL 上清液于盛有 2.0 mL 盐酸的刻度试管中,用蒸馏水定容到 25 mL,摇匀,以蒸馏水为参比,测定其在 243.4 nm 处的吸光度。

2.2.7 丙二醛(malonaldehyde, MDA)含量

参考曹健康等^[13]方法,并稍作修改。称取 5.0 g 样品,加入 10 mL 100 g/L TCA 溶液,研磨匀浆后离心。取 2.0 mL 上清液(对照空白管中加入 2.0 mL 100 g/L TCA 溶液代替提取液),加入 2.0 mL TBA 溶液,混合后在沸水浴中煮沸 20 min,取出后冷却至室温后,测定其在 450、532 和 600 nm 处的吸光值,重复测定 3 次,取平均值,单位是 μmol/g·mF。

2.2.8 过氧化物酶(peroxidase, POD)活性

参考曹健康等^[13]方法,并稍作修改。称取 2.0 g 样品,加入 5.0 mL 提取缓冲液,研磨匀浆后离心。在试管中加入 3.0 mL 愈创木酚溶液和 0.5 mL 酶提取液,再加入 200 μL 0.5 mol/L 过氧化氢溶液混合,以蒸馏水为参比,记录其在 15 s 时的吸光度,每隔 1 min 记录 1 次,测定其在 470 nm 处的吸光度。

2.3 数据分析

采用 Excel 和 SPSS 软件进行数据分析。

3 结果与分析

3.1 不同浓度臭氧处理对黄瓜硬度的影响

不同浓度臭氧处理对黄瓜硬度的影响见图 1, 由图 1 可以看出, 整个贮藏期, 4 组处理的硬度总体呈现下降的趋势。对照组的硬度低于臭氧处理, 且在第 4 d, 5 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理与对照组存在显著差异($P<0.05$)。臭氧处理中 5 $\mu\text{g/mL}$ 的硬度较高, 这说明在一定浓度范围内, 随着臭氧浓度的升高, 臭氧对黄瓜硬度的保持效果增强, 可能由于臭氧处理降低了黄瓜营养物质的损耗, 从而保持了黄瓜的硬度。

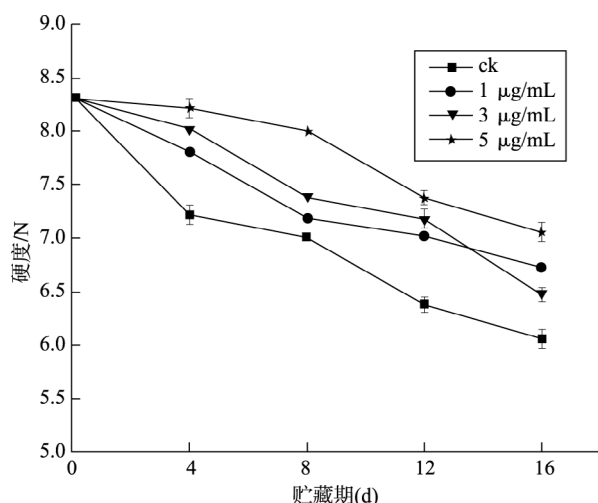


图 1 不同浓度臭氧处理对黄瓜硬度的影响($n=3$)

Fig. 1 Effects of different concentrations of ozone treatment on the hardness of cucumber ($n=3$)

3.2 不同浓度臭氧处理对黄瓜呼吸速率的影响

不同浓度臭氧处理对黄瓜呼吸速率的影响见图 2, 由图 2 可以看出, 整个贮藏期, 4 组处理的呼吸速率呈现逐渐下降的趋势。前 4 d 呼吸速率显著下降, 可能是由于由常温转入低温呼吸作用受到抑制, 之后下降趋势平缓。对照组呼吸速率高于臭氧处理, 5 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理呼吸速率低于其他处理, 随着臭氧浓度的升高, 呼吸速率受到抑制, 可能由于臭氧破坏了高分子链和简单的烯烃类物质, 从而减少乙烯和乙醛等气体的释放^[2], 有利于减少有机物的消耗, 保持果实品质。

3.3 不同浓度臭氧处理对黄瓜维生素 C 含量的影响

不同浓度臭氧处理对黄瓜维生素 C 含量的影响, 由图 3 可以看出, 整个贮藏期, 4 个处理的维生素 C 含量呈现逐渐下降的趋势。其中, 对照组在前期维生素 C 含量下降较快。臭氧处理维生素 C 含量总体高于对照组, 说明臭氧处理可有效减缓维生素 C 含量的下降。且臭氧为 5 $\mu\text{g/mL}$ 浓度时, 维生素 C 含量前期下降趋势较为平缓, 总体上高于其他处理, 在第 8 d, 与对照组存在显著差异($P<0.05$)。

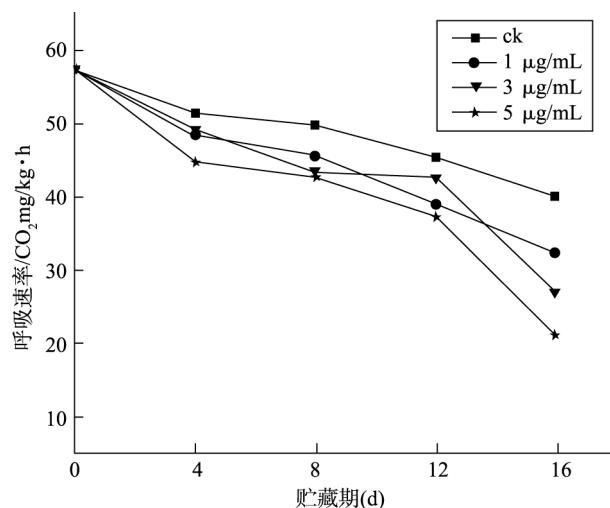


图 2 不同浓度臭氧处理对黄瓜呼吸速率的影响($n=3$)

Fig. 2 Effects of different concentrations of ozone treatment on the respiratory rate of cucumber ($n=3$)

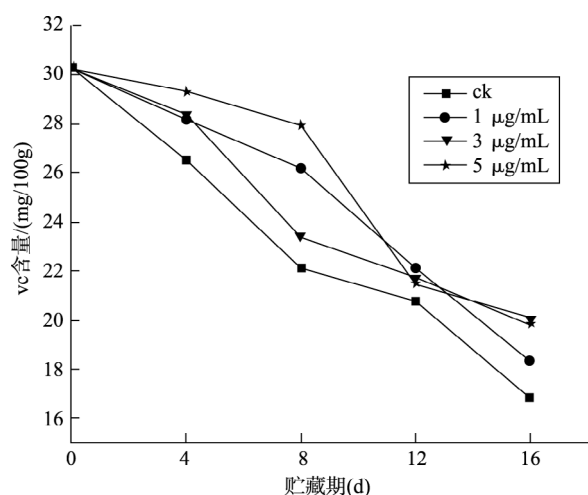


图 3 不同浓度臭氧处理对黄瓜维生素 C 含量的影响($n=3$)

Fig. 3 Effects of different concentrations of ozone treatment on the content of vitamin C in cucumber ($n=3$)

3.4 不同浓度臭氧处理对黄瓜可滴定酸含量的影响

不同浓度臭氧处理对黄瓜可滴定酸含量的影响见图 4, 由图 4 可以看出, 4 个处理的 TA 含量总体呈现下降的趋势。在前 4 d, TA 含量下降比较快, 后期下降速度减小, 可能由于前期呼吸作用较强消耗酸所致, 后期呼吸作用减弱使酸消耗速率减小。对照组的可滴定酸含量低于臭氧处理, 说明臭氧处理有利于保持黄瓜的可滴定酸含量。5 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理可滴定酸含量高于其他处理, 但在第 8、12、16 d, 与 3 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理之间不存在显著差异($P>0.05$)。

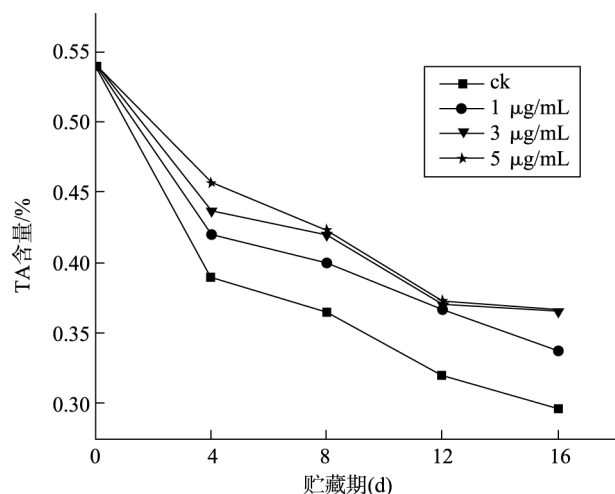


图4 不同浓度臭氧处理对黄瓜可滴定酸含量的影响($n=3$)

Fig. 4 Effects of different concentrations of ozone treatment on the content of TA in cucumber ($n=3$)

3.5 不同浓度臭氧处理对黄瓜可溶性固形物含量的影响

不同浓度臭氧处理对黄瓜可溶性固形物含量的影响见图5,由图5可看出,整个贮藏期,4个处理的可溶性固形物含量呈现逐渐下降的趋势。在贮藏前期,可溶性固形物含量下降较快,后期下降速度减小,可能由于贮藏前期呼吸作用较强而后期呼吸作用减弱导致可溶性固形物消耗减少。对照组的可溶性固形物含量低于臭氧处理,在第4 d,与臭氧处理存在显著差异($P<0.05$)。5 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理可溶性固形物含量高于其他处理,说明一定浓度范围内,臭氧浓度升高有利于黄瓜 TSS 含量的保持。

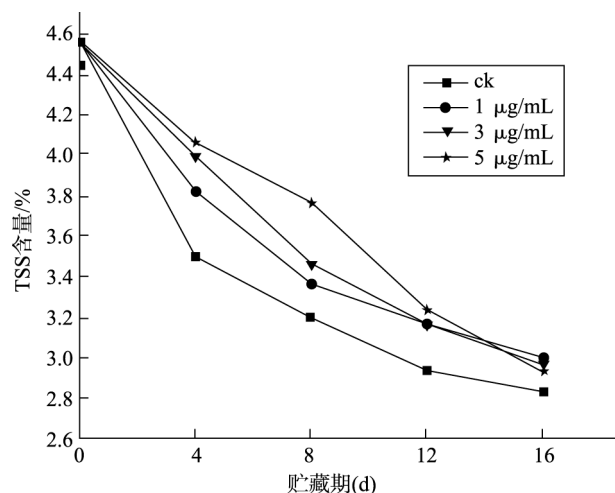


图5 不同浓度臭氧处理对黄瓜可溶性固形物含量的影响($n=3$)

Fig. 5 Effects of different concentrations of ozone treatment on the content of TSS in cucumber ($n=3$)

3.6 不同浓度臭氧处理对黄瓜叶绿素含量的影响

果蔬表面颜色的变化与叶绿素含量有关系^[15]。由图6可以看出,整个贮藏期,4个处理的叶绿素含量呈现逐渐下降的趋势。在第4 d,臭氧处理叶绿素含量显著高于对照组($P<0.05$),但不同臭氧处理之间不存在显著差异($P>0.05$)。在贮藏期间,对照组的叶绿素含量明显低于臭氧处理,说明臭氧处理可以保持黄瓜的叶绿素含量;臭氧处理之间,5 $\mu\text{g/mL}$ 处理的叶绿素含量较高。

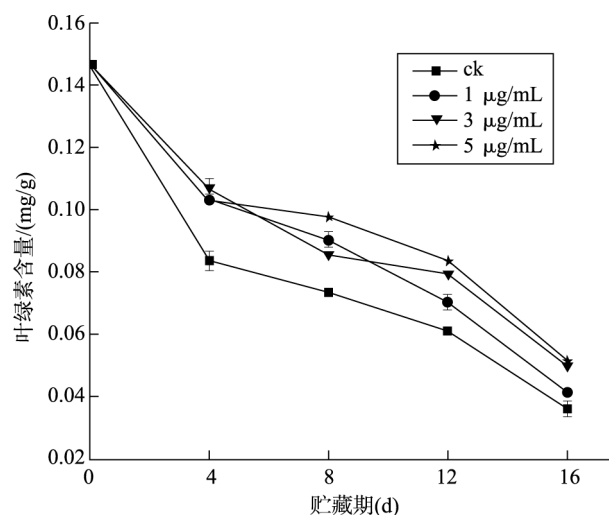


图6 不同浓度臭氧处理对黄瓜叶绿素含量的影响($n=3$)

Fig. 6 Effects of different concentrations of ozone treatment on the content of chlorophyll in cucumber ($n=3$)

3.7 不同浓度臭氧处理对黄瓜丙二醛含量的影响

MDA 是膜脂过氧化的产物,因此可以用来衡量膜脂过氧化程度。由图7可以看出,整个贮藏期,4个处理的丙二醛含量呈现逐渐上升的趋势。对照组的丙二醛含量高于臭氧处理,说明臭氧处理可以减少黄瓜丙二醛的积累,降低细胞膜的损伤。不同臭氧处理之间,5 $\mu\text{g/mL}$ 的丙二醛含量积累速度较慢。在贮藏第16 d,对照组的丙二醛含量分别是1、3和5 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理的1.37、1.88和2.26倍。

3.8 不同浓度臭氧处理对黄瓜过氧化物酶活性的影响

POD 可以分解 SOD 参与歧化反应产生的过氧化氢^[16],减少活性氧的过量积累^[17]。由图8可以看出,整个贮藏期,4个处理的 POD 活性总体呈现逐渐上升的趋势。在第16 d,对照组的酶活性分别是1、3和5 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理的1.38、1.21和1.78倍。在贮藏期间,对照组酶活性高于臭氧处理,说明臭氧处理可以抑制黄瓜的 POD 活性。不同臭氧处理之间,5 $\mu\text{g/mL}$ 臭氧处理酶活性低于其他处理,说明高浓度臭氧有利于抑制黄瓜的 POD 活性。

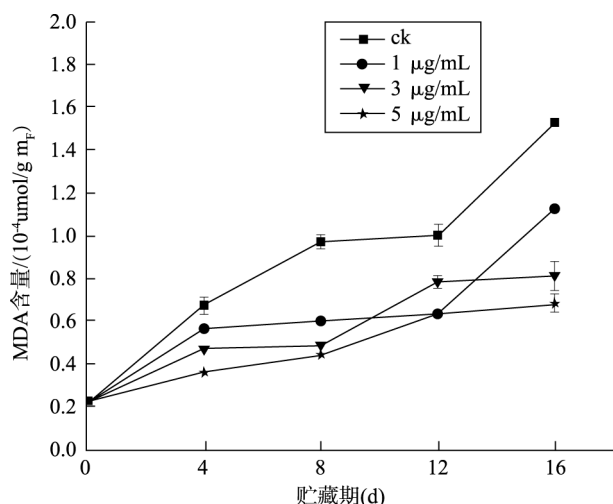


图7 不同浓度臭氧处理对黄瓜MDA含量的影响(n=3)

Fig. 7 Effects of different concentrations of ozone treatment on the content of MDA in cucumber (n=3)

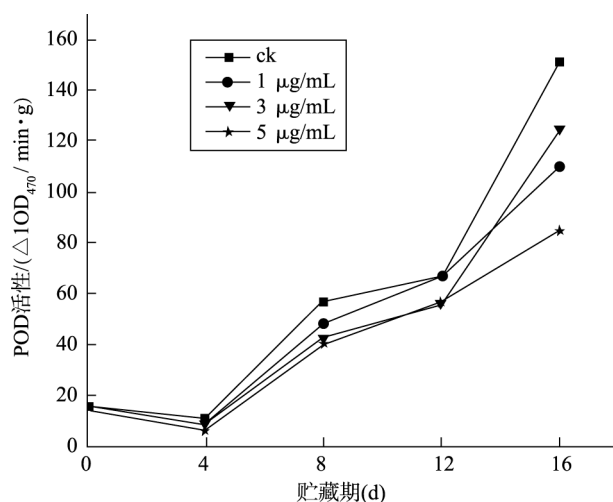


图8 不同浓度臭氧处理对黄瓜POD活性的影响(n=3)

Fig. 8 Effects of different concentrations of ozone treatment on the activity of POD in cucumber (n=3)

4 结 论

该研究选择3种不同浓度的臭氧处理黄瓜,研究其对黄瓜呼吸强度、各种营养成分以及酶活性的影响,以确定保持黄瓜品质的最适臭氧浓度。5 μg/mL 臭氧处理的硬度与对照组在第4 d存在显著差异($P<0.05$);呼吸速率低于其他处理;维生素C含量高于其他处理,且在第8 d与对照组存在显著差异($P<0.05$);TA和TSS含量高于其他处理;叶绿素含量高于其他处理,且与对照组在第4 d存在显著差异($P<0.05$);丙二醛含量和POD活性低于其他处理。表明5 μg/mL 臭氧处理可以有效抑制黄瓜呼吸作用,保持黄瓜的硬度,维持可溶性固形物、可滴定酸、维生素C、叶绿

素的含量,并抑制MDA含量的积累和抑制POD活性,维持果蔬较好的贮藏品质。

参考文献

- [1] 李勤,张萌萌,蒋国玲,等. 臭氧在果蔬贮藏保鲜中的应用研究综述[J]. 中国南方果树, 2011, 40(5): 29-32.
Li Q, Zhang MM, Jiang GL, et al. Research and application of ozone in post-harvest storage of fruits and vegetables [J]. South China Fruits, 2011, 40(5): 29-32.
- [2] 杨虎清,王文生. 臭氧在食品生产中的应用[J]. 食品研究与开发, 2001, 22(2): 61-62.
Yang HQ, Wang WS. The applications of ozone in food production [J]. Food Res Dev, 2001, 22(2): 61-62.
- [3] 邢淑婕,刘开华. 臭氧保鲜技术在刺芹侧耳低温贮藏中的应用[J]. 食用菌学报, 2011, 18(1): 53-58.
Xing SJ, Liu KH. Effect of ozone treatment on the quality of *Pleurotus eryngii* fruit bodies stored at 4 [J]. Acta Edulis Fungi, 2011, 18(1): 53-58.
- [4] 武杰,朱飞. 臭氧处理对不同成熟度葡萄保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2012, 33(11): 359-362.
Wu J, Zhu F. Effect of ozone treatment on the fresh-keeping of the grapes with different maturities [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(11): 359-362.
- [5] Skog LJ, Chu CL. Effect of ozone on qualities of fruits and vegetables in cold storage [J]. Canada J Plant Sci, 2001, 81(4): 773-778.
- [6] 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 J, Ren P, Luo Y, et al. Effects of ozone water treatments on postharvest quality and physiology of strawberry fruit [J]. J Food Sci Technol, 2016, 34(4): 61-65.
- [7] Whangchai K, Uthairutra J, Phiyanalim S, et al. Effect of ozone treatment on the reduction of chlorpyrifos residues in fresh lychee fruits [J]. Ozone: Sci Eng, 2011, 33(3): 232-235.
- [8] Calder BL, Skonberg DI, Davis-Dentici K, et al. The effectiveness of ozone and acidulant treatment in extending the refrigerated shelf life of fresh-cut potatoes [J]. J Food Sci, 2001, 76(8): 492-498.
- [9] 黎继烈,彭湘莲,钟海雁,等. 臭氧保鲜处理对金橘采后生理的影响[J]. 中国食品学报, 2007, 7(3): 112-115.
Li JL, Peng XL, Zhong HY, et al. Effect of ozone on postharvest physiology of kumquat [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2007, 7(3): 112-115.
- [10] 滕建文,曾文谨,姬晨,等. 芒果的臭氧保鲜研究[J]. 食品科技, 2008, 33(8): 233-235.
Teng JW, Zeng WJ, Ji C, et al. The preservation of fresh mango by the ozone water treatment [J]. Food Sci Technol, 2008, 33(8): 233-235.
- [11] 徐维微. 臭氧处理对草莓果实中多菌灵、百菌清的降解及品质的影响[D]. 天津: 天津农学院, 2016.
Xu WW. Effects of ozonated water treatment on the degradation of cabendazim and chlorothalonil from strawberries and on their quality [D]. Tianjin: Tianjin Agricultural University, 2016.
- [12] 张丽华,纵伟,李青,等. 臭氧水处理对鲜切猕猴桃品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(8): 315-319.
Zhang LH, Zong W, Li Q, et al. Effect of ozonated water on quality of

- fresh-cut kiwifruit [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(8): 315-319.
- [13] 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.
- Cao JK, Jiang WB, Zhao YM. Fruits and vegetables postharvest physiological biochemical experiment instruction [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [14] 马宏飞, 卢生有, 韩秋菊, 等. 紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素 C 的含量[J]. *化学与生物工程*, 2012, 29(8): 92-94.
- Ma HF, Lu SY, Han QJ, *et al*. Determination of vitamin C content in five kinds of fruits and vegetables by UV spectrophotometry [J]. *Chem Bioeng*, 2012, 29(8): 92-94.
- [15] Schouten RE, Tijskens LMM, Van Kooten O. Predicting keeping quality of batches of cucumber fruit based on a physiological mechanism [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2002, 26(2): 209-220.
- [16] 张俊环, 黄卫东. 葡萄幼苗在温度逆境交叉适应过程中活性氧及抗氧化酶的变化[J]. *园艺学报*, 2007, 34(5): 1073-1080.
- Zhang JH, Huang WD. Changes of active oxygen and antioxidant enzymes in leaves of young grape plants during cross adaptation to temperature stress [J]. *Acta Horticult Sin*, 2007, 34(5): 1073-1080.
- [17] Liu YY, Ge YH, Bi Y, *et al*. Effect of postharvest acibenzolar-S-methyl dipping on phenylpropanoid pathway metabolism in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits [J]. *Sci Horticult*, 2014, 168: 113-119.

(责任编辑: 姚 菲)

作者简介



梁芸志, 硕士, 主要研究方向为农产品加工及贮藏工程。

E-mail: 1648210240@qq.com



王成荣, 教授, 主要研究方向农产品加工及贮藏工程。

E-mail: qauwcr@126.com