

采前喷施二氧化氯处理对蓝莓保鲜效果的影响

谢国芳, 王瑞, 刘晓燕

(贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州省果品加工工程技术研究中心, 贵州贵阳 550005)

摘要: 为了解采前喷施 ClO_2 采后自充气调包装近冰温贮藏下蓝莓果实生理生化的影响及贮藏保鲜机理, 分别采用 0、20、40、60 mg/L ClO_2 对蓝莓果实进行采前喷施, 采后分装于带孔聚乙烯塑料盒内, 再用 PE 保鲜膜封装, 贮藏在 -1 ± 0.1 °C。贮藏期间, 分别测定蓝莓果实表面菌落数、风味指数、腐烂率、失重率、可溶性固形物、软果率、呼吸速率、可滴定酸、花色苷、多酚、pH 等理化特性和与组织损伤和自由基清除相关的多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD)、苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 等酶的活性。研究显示: 适宜浓度 ClO_2 采前喷施可有效清除果实表面微生物, 显著降低可溶性固形物含量、失重率和腐烂率增加、抑制果实软化、降低呼吸速率, 提高果实中 POD 和 PAL 酶活性, 并维持 PPO 酶在较低水平。不同浓度对比分析发现, “粉蓝”蓝莓果实采前喷施 40 mg/L ClO_2 , 能显著增加保鲜效果, 从而有效延长贮藏期。

关键词: 二氧化氯; 采前处理; 蓝莓; 近冰温; 贮藏

文章编号: 1673-9078(2014)6-207-213

Effect of Preharvest Sprayed Treatment with Chlorine Dioxide on Preservation of Blueberry during Storage

XIE Guo-fang, WANG Rui, LIU Xiao-yan

(Food and Pharmaceutical Engineering Institute, Guiyang University, Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang 550005, China)

Abstract: The effects of preharvest treatment with chlorine dioxide on physiological, biochemical and preservation mechanisms of modified atmosphere packaged blueberry during near-freezing point storage were analyzed. ‘Powder blue’ blueberry fruit were sprayed with 0, 20, 40 and 60 mg/L ClO_2 before harvest, respectively. They were packaged in perforated polyethylene plastic box, then moved into a polyethylene film bag with a slackened tie and stored at -1 ± 0.1 °C. The colony clearance rate on fruit surface, flavor index, decay rate, weight loss, total soluble solids, soft fruit rate, respiration rate, anthocyanin, polyphenols, titratable acids and pH value were measured. Meanwhile, the activities of some free radical scavenging and formation-related enzymes such as polyphenol oxidase (PPO), peroxidase (POD) and phenylalanine ammonialyase (PAL) were investigated. The result showed that the appropriate concentration of chlorine dioxide treatment could effectively remove colonies on fruit surface, reduce total soluble solids, decay rate and weight loss, inhibit fruits soften, decrease respiration rate, increase the activities of POD and PAL, and maintained low level PPO activity. By comparative analysis of different concentrations, the best sprayed concentration of chlorine dioxide was determined as 40 mg/L, which can effectively increase preservation and considerably extend the storage period.

Key words: chlorine dioxide; preharvest treatment; blueberry; near-freezing point; storage

据《2012 World Blueberry Acreage & Production Report》数据表明, 中国蓝莓的种植面积在 2011、2012 两年间增长了近 3 倍, 达 18.09 万亩, 产量达 1.1 万 t

收稿日期: 2014-02-16

基金项目: 贵阳市科技局 2012 科技创新人才计划 (筑科合同筑科合同 [2012HK]209-33 号); 贵州省农业工程技术研究中心建设项目 (黔科合农 G 字 [2011]4001 号); 贵州省科技创新人才团队建设项目 (黔科合人才团队 [2013]4028); 贵州省教育厅 “125” 重大科技专项 (黔教合重大专项 [2012]014 号); 贵阳市科技创新平台建设项目 (筑科合同 [2012303]5 号)

作者简介: 谢国芳 (1987-), 男, 讲师, 研究方向: 农产品加工与贮藏

[1]. 蓝莓为呼吸跃变型果实, 一般成熟于高温多雨的 6~8 月, 含水率高, 果实软化和采后灰霉病极大限制了蓝莓的采后贮藏期, 由此决定蓝莓的耐贮性较差^[2]。因此, 蓝莓鲜果的贮运技术对该产业的发展尤为重要。吴欣^[3]等人对贵州 8 个品种蓝莓的贮藏特性进行对比研究发现, “顶峰”最耐贮藏, 装在带孔的聚乙烯塑料盒内置于 4 °C 下, 贮藏至 35 d 时腐烂率大于 40%, PE 包装能有效降低果实的失重率, 减缓果实硬度下降和可溶性固形物含量的上升, 从而较好地保持果实的品质^[4]。

ClO₂ 是目前国际上公认的最新一代的高效、广谱、安全的杀菌、保鲜剂,世界卫生组织(WHO)和世界粮食组织(FAO)也已将 ClO₂ 列为 A1 级安全高效消毒剂^[5], 其对病毒、细菌较强的杀灭性,而在动植物机体不产生毒效,在美国、菲律宾、日本等国达到广泛应用,我国也将稳定性 ClO₂ 列入食品添加剂^[6]。ClO₂ 在食品保鲜中应用研究已成为国内外热点课题,在苹果^[7]、猕猴桃^[8]、莴苣菜^[9]、鲜枣^[10]、草莓^[11]、哈密瓜^[12]、葡萄^[13]等果蔬保鲜中得到较好应用,虽然 Wu^[14]等研究了 ClO₂ 对蓝莓中食源性病菌、酵母和霉菌的影响,但仍未见 ClO₂ 采前预处理在蓝莓鲜果保鲜中应用的报道。鉴于我国果蔬产地采后处理及初加工设备不完善,采后浸泡易产生机械损伤的缺陷,本研究拟采前均匀喷施、采后采用自发气调保鲜膜包装、近冰温贮藏相结合,研究采前 ClO₂ 对蓝莓贮藏保鲜效果和可能机理,以期为我国蓝莓产业发展提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试蓝莓品种为“粉蓝”,种植于贵州省麻江县宣威镇光明村蓝莓示范基地,管理正常。

1.2 试验处理

采用 ClO₂ 对蓝莓果实进行采前喷施处理。采前用手持喷雾器将 0、20、40、60 mg/L ClO₂ 溶液均匀喷布在果面(分别记为 CK、T1、T2 和 T3),使果实均匀着药、滴水为止。每处理 2 行,挂牌标记。当果面干燥后,即刻采摘。采摘大小适中、色泽均匀、无机械伤害和病虫害、果形端正、成熟度一致的果实。果实于 2013 年 7 月 29 日下午 18:30 采摘,采收后立即运回贵州省果品加工工程技术研究中心果蔬贮藏与保鲜研究室,于温度为 4 ℃ 的冷藏室预冷 12 h。每个处理均设 3 组平行,每组平行 2 kg。处理后的果实先分装于带孔的聚乙烯塑料盒内,再用 0.02 mm PE 薄膜塑料袋包装,随后转入 -1±0.1 ℃、相对湿度为 80%~85% 的保鲜柜贮藏。从采后算起每 20 d 取样一次进行各项指标测定。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 菌落清除率和风味指数

菌落总数及去除率 GB/T4789.2-2010 和参考文献^[7]进行;风味指数参照姜爱丽的分级方法进行评价^[15]。

1.3.2 腐烂率、失重率、软果率和可溶性固形

物

贮藏期间,每个处理取 1 kg 果实统计失重率,出库时统计失重率和腐烂率。采用称重法测定果实失重率,计算公式为:果实失重率(%)=(贮藏前果重-贮藏后果重)/贮藏前果重×100%;腐烂率采用分级法进行测定^[16];软果率(%)=(软果数/果实总数)×100%;可溶性固形物含量(SSC)采用数显折射仪测定。

1.3.3 呼吸速率、PPO、POD 和 PAL 酶活性

呼吸速率采用静置法经顶空分析仪测定^[17];多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)酶活性的参照《果蔬采后生理生化实验指导》^[17]中方法进行测定。

1.3.4 花色苷、多酚、可滴定酸、含量和 pH

采用 pH 示差法测定果实中花色苷含量^[18];采用福林-酚比色法测定多酚含量^[19]可滴定酸含量(TA)采用国标 GB/T 12456-2008 进行测定;果肉 pH 值采用 pH 计测定。

1.4 数据处理

实验采用 3 个平行的随机组合设计,试验结果采用 Microsoft Excel 软件进行数据整理,经 SPSS 16.0 统计软件进行 Duncan 新复极差法及 Tukey's 组间差异显著性统计分析, $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同 ClO₂ 处理对蓝莓果实表面菌落清除率和风味指数的影响

表 1 不同浓度 ClO₂ 处理蓝莓果实表面菌落清除率

Table 1 Effects of different ClO₂ treatments on colony clearance rate of blueberry fruit surface

ClO ₂ 浓度/(mg/L)	0	20	40	60
未经处理果面菌落量/(×10 ⁴ cfu/mL)	1.23±0.21			
处理果面菌落量/(×10 ⁴ cfu/mL)	0.50±0.12	0.34±0.18	0.21±0.11	0.12±0.08
菌落清除率/%	59.35 ^d	72.36 ^c	82.93 ^b	90.24 ^a

注:同一列内不同字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)。

由表 1 结果可以看出,各质量浓度 ClO₂ 喷施对蓝莓果实的菌落清除率的影响差异极其显著 ($P < 0.001$)。采前清水喷施蓝莓果实表面菌落清除率为 59.35%,采前 ClO₂ 喷施处理对蓝莓果实表面菌落均有较强的清除力,且果实表面菌落清除率与 ClO₂ 质量浓度成正比关系,60 mg/L ClO₂ 喷施处理蓝莓果

实表面菌落清除率高达 90.24%，说明 ClO_2 是蓝莓果实表面菌群的良好杀菌剂。

由表 2 可知，采前不同浓度 ClO_2 处理均会使蓝莓果实产生一定的异味，随着贮藏时间推移，异味会不同程度的减弱，异味主要取决于 ClO_2 浓度，贮藏初期 ClO_2 处理的蓝莓果实的风味指数均比对照组低，然而贮藏至 20 天时，异味完全消失，风味指数反而高于对照组，主要是由于对照组贮藏期间果实腐烂产生异味导致风味指数降低，而因 ClO_2 处理引起蓝莓果实异味

的 ClO_2 挥发、异味消失。贮藏 20 d 后，20 和 40 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实的风味指数显著高于对照组和 60 mg/L ClO_2 处理 ($P < 0.001$)，主要是由于高浓度 ClO_2 处理杀菌效果虽好，但在一定程度上破坏蓝莓果实细胞壁，引起腐烂，产生异味，导致风味指数降低。说明适宜浓度的 ClO_2 处理在一定程度上可以保留蓝莓果实的风味，但高浓度则会破坏细胞壁而降低风味指数。

表 2 不同浓度 ClO_2 处理蓝莓果实风味指数的影响

Table 2 Effects of different ClO_2 treatment on flavor index of blueberry fruits

ClO_2 浓度 (mg/L)	贮藏时间				
	0 d	20 d	40 d	60 d	80 d
0	100.31±0.11 ^a	83.30±0.14 ^d	68.31±0.08 ^d	61.73±0.06 ^c	48.30±0.14 ^c
20	96.81±0.21 ^b	93.30±0.18 ^b	90.11±0.11 ^b	85.21±0.10 ^b	80.54±0.21 ^b
40	85.32±0.31 ^b	98.32±0.13 ^a	95.05±0.08 ^a	90.67±0.02 ^a	85.38±0.05 ^a
60	72.01±0.08 ^c	88.30±0.13 ^c	75.10±0.30 ^c	53.31±0.08 ^d	41.70±0.14 ^d

注：同一列内不同字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)。

2.2 不同 ClO_2 处理对蓝莓果实腐烂率、失重率、软果率和可溶性固形物的影响

图 1a 为蓝莓果实贮藏 80 d 后的腐烂率，不同质量浓度 ClO_2 处理蓝莓果实的腐烂率间差异极其显著 ($P < 0.001$)。不同浓度 ClO_2 处理蓝莓果实的腐烂率均显著低于对照组，除 60 mg/L 处理蓝莓果实的腐烂率略高于 40 mg/L 处理果实外，蓝莓腐烂率随 ClO_2 浓度增加呈现减少的趋势，40 mg/L 处理蓝莓果实的腐烂率最低仅 6.025%，由此可知采前喷施适宜质量浓度的 ClO_2 在近冰温下贮藏中可有效减少由病原菌引起的蓝莓腐烂。

贮藏期间，果实失重是直接影响其品质和外观的原因，主要是由组织器官的蒸腾失水和干物质损耗引起，一般失重率超过 5% 时，果实出现皱缩萎蔫、失去光泽^[20]。贮藏前 20 d，不同质量浓度 ClO_2 处理果实的失重率间差异不显著 ($P > 0.05$)。贮藏 20~60 d 期间，20 mg/L ClO_2 处理的蓝莓果实失水相对缓慢，显著低于对照组和其他 2 个处理组，贮藏 40 d 后 40、60 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实的失重率显著增加，贮藏 60 至 80 d 之间所有处理蓝莓果实的失重率增加近 50%。

不同浓度 ClO_2 处理对蓝莓果实软果率的影响差异不显著 ($P > 0.05$)。贮藏期间对照组蓝莓果实的软果率均高于处理组，60 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实的软果率最低，20 和 40 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实软果率相

差不多，贮藏末期软果率试验结果与腐烂率基本一致。

贮藏期间，不同浓度 ClO_2 处理蓝莓果实的可溶性固形物含量间差异极其显著 ($P < 0.001$)，40 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实的可溶性固形物含量最高，60 mg/L ClO_2 处理组最低，对照组和 20 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实的可溶性固形物呈现先增后减的变化趋势，贮藏 20 天后对照组的可溶性固形物含量高于 ClO_2 处理样；而 60 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实的可溶性固形物含量一直呈现增长趋势；40 mg/L ClO_2 处理果实的可溶性固形物在贮藏前 20 d 呈现下降趋势，之后上升，贮藏 60 d 时达到最大值随后下降。

2.3 不同 ClO_2 处理对蓝莓果实呼吸速率、

PPO、POD、PAL 酶活性的影响

贮藏期间，不同 ClO_2 处理蓝莓果实的呼吸速率呈现先增后减的变化趋势，20 mg/L ClO_2 处理蓝莓的呼吸速率在 40 d 时达到呼吸高峰，40 和 60 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实的呼吸高峰在贮藏 60 d 时出现，说明 ClO_2 处理能不同程度降低呼吸速率，延缓蓝莓果实的呼吸高峰。60 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实的呼吸速率贮藏前 40 d 呈现下降趋势，随后上升，在 60 d 时到达呼吸高峰。对照组则一直增加，贮藏前 60 d 与 60 mg/L ClO_2 处理蓝莓果实差异不显著 ($P > 0.05$)。贮藏后期出现呼吸速率迅速上升的现象，这除了和衰老有关外，还可能与微生物引起的腐烂率上升密切相关^[15]。

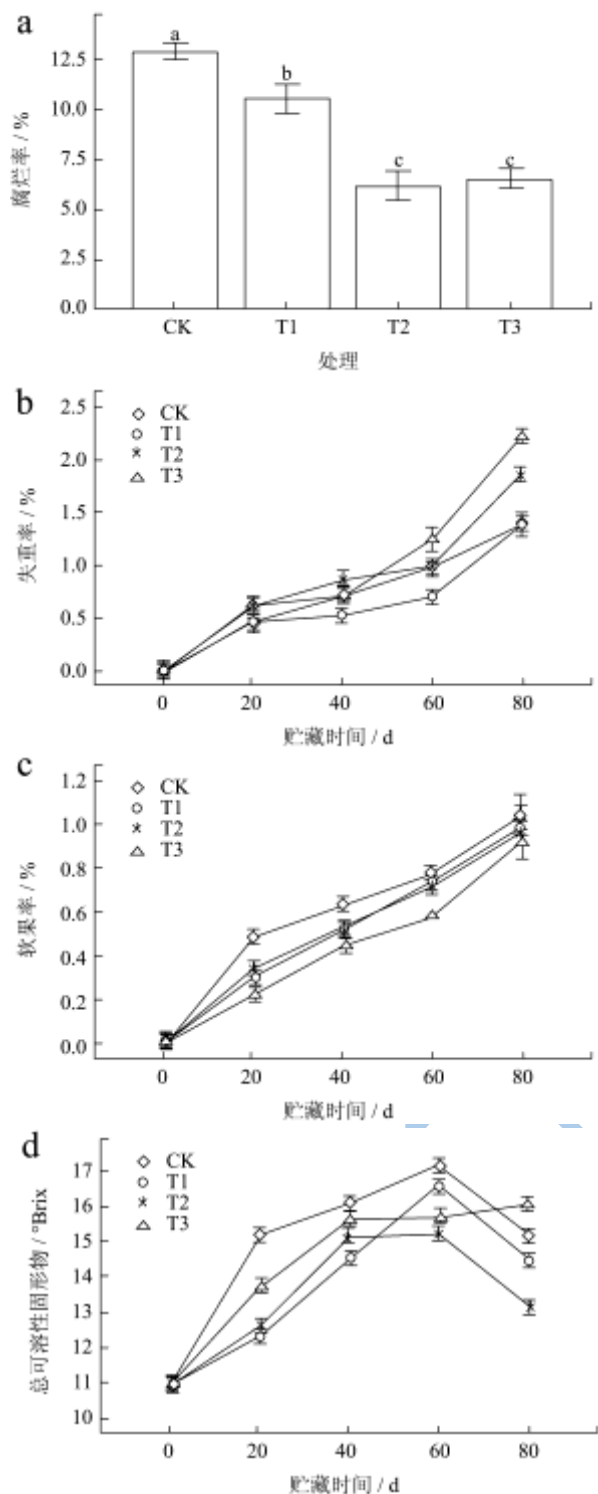


图1 不同ClO₂浓度处理对蓝莓腐烂率、失重率、软果率和可溶性固形物含量的影响

Fig.1 Effect of different ClO₂ treatments on decay, weight loss, and SSC of blueberry fruits during storage

贮藏20 d时, 0、20、60 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中PPO活性达到最大值, 而40 mg/L ClO₂处理蓝莓果实贮藏至40 d时PPO活性达到最大值, 且高于其他3个处理, 60 mg/L ClO₂处理蓝莓中PPO活性贮藏20 d后显著低于其他3个处理 ($P < 0.05$)。20、40 mg/L

ClO₂处理不同程度上提高蓝莓果实中PPO活性, 而60 mg/L ClO₂处理则显著降低蓝莓果实中PPO活性。

贮藏20 d时, 0、20、40 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中POD活性达到最大值。贮藏期间, 60 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中POD活性显著低于其他处理样 ($P < 0.01$), 仅是其他处理果实的一半, 变化速度最慢, 贮藏20 d后各处理蓝莓果实中POD活性差异极其显著 ($P < 0.001$), 40和60 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中POD活性相对稳定, 变化极小, 其POD活性与ClO₂浓度成反比, 说明采前喷施ClO₂处理在一定程度上抑制POD活性的升高。

贮藏期间, 对照组与不同浓度ClO₂处理蓝莓果实中PAL活性变化趋势相似, 均呈现先增加后减少的趋势, 对照组和60 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中PAL活性贮藏至20 d时到达高峰, 20和40 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中PAL活性高峰延缓至40 d时出现, 且40 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中PAL活性显著低于其他处理 ($P < 0.001$)。贮藏前20 d, 60 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中PAL活性增加最快, 且显著高于0、20和40 mg/L ClO₂处理蓝莓果实 ($P < 0.05$), 说明采前选用适宜质量浓度的ClO₂喷施可以有效延缓蓝莓果实中PAL酶活性, 从而降低腐烂。

2.4 不同ClO₂处理对蓝莓果实中花色苷、多酚、可滴定酸含量和pH的影响

不同浓度ClO₂处理蓝莓果实中花色苷含量间差异不显著 ($P > 0.05$)。蓝莓果实采后贮藏后熟过程中, 蓝莓果实中花色苷含量显著增加, 随着贮藏时间的推移随后又呈现下降趋势, 贮藏期间, 0、20和60 mg/L ClO₂处理蓝莓果实中花色苷含量差异不显著 ($P > 0.05$), 而40 mg/L ClO₂处理蓝莓果实的花色苷含量则明显高于其他处理组, 贮藏80 d时20和40 mg/L ClO₂处理蓝莓果实的花色苷含量差异不显著。

多酚含量变化趋势与花色苷含量变化趋势相反, 呈现先减后增的变化趋势, 其不同浓度ClO₂处理蓝莓果实多酚含量间差异不显著 ($P > 0.05$)。贮藏前期多酚含量显著降低, 随后增加, 说明蓝莓花色苷与多酚间存在相互转化关系。

贮藏期间, 不同浓度ClO₂处理蓝莓果实可滴定酸含量间差异显著 ($P < 0.05$), 所有处理蓝莓果实的可滴定酸含量变化趋势一致, 均呈现倒“N”形式的变化趋势, 贮藏前20 d下降随后上升, 贮藏40 d时达到最高值, 仅20 mg/L ClO₂处理蓝莓果实的可滴定酸含量在60 d时才达到最高, 随后又呈现下降趋势。

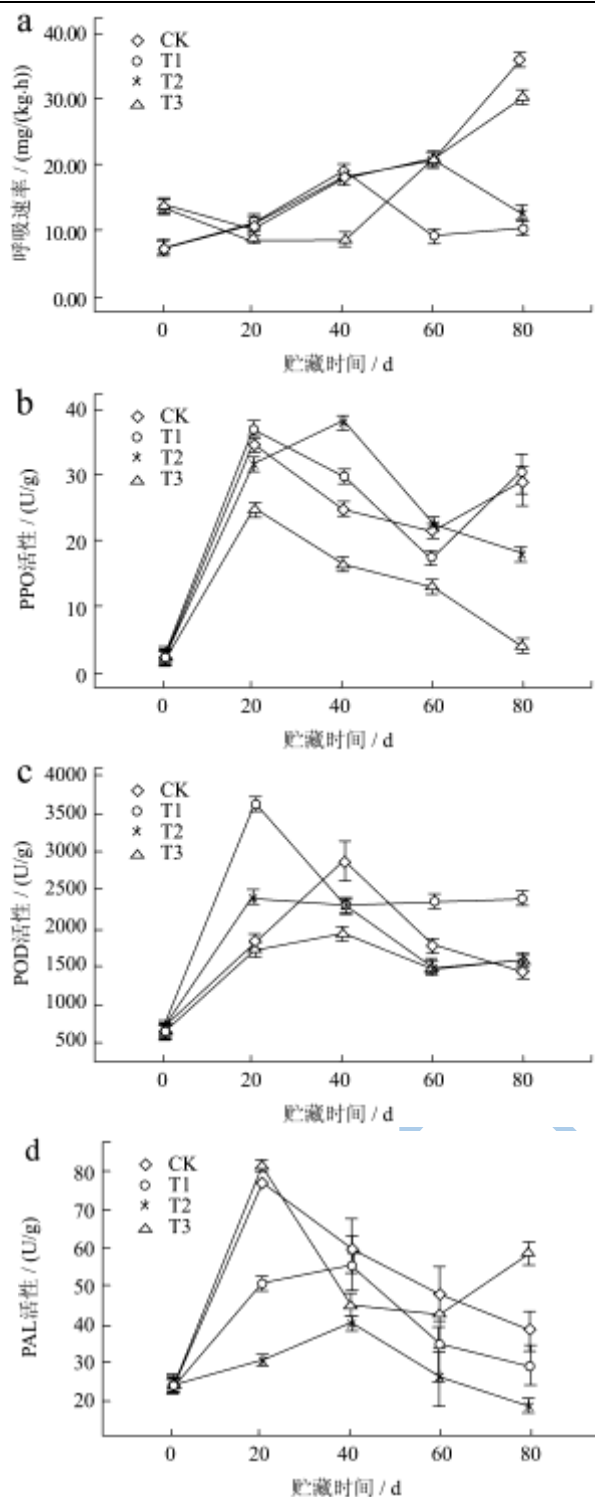


图2 不同ClO₂浓度处理对蓝莓呼吸速率、PPO活性、POD活性和PAL活性的影响

Fig.2 Effect of different ClO₂ treatments on respiration rate, PPO, POD and PAL activity of blueberry fruits during storage

不同浓度 ClO₂ 处理蓝莓果实的 pH 变化趋势一致, 均呈现先增后减的变化趋势, 贮藏期间各处理蓝莓果实 pH 间差异不显著 ($P > 0.05$)。贮藏前期, 蓝莓果实的 pH 呈现微弱的下降趋势, 之后显著上升, 贮藏 40 d 时达到最大值, 然后下降, 贮藏 40 d 后对照

组的 pH 高于 ClO₂ 处理蓝莓果实的 pH, 且贮藏期间波动最大, 20 mg/L ClO₂ 处理蓝莓果实的 pH 波动最小。

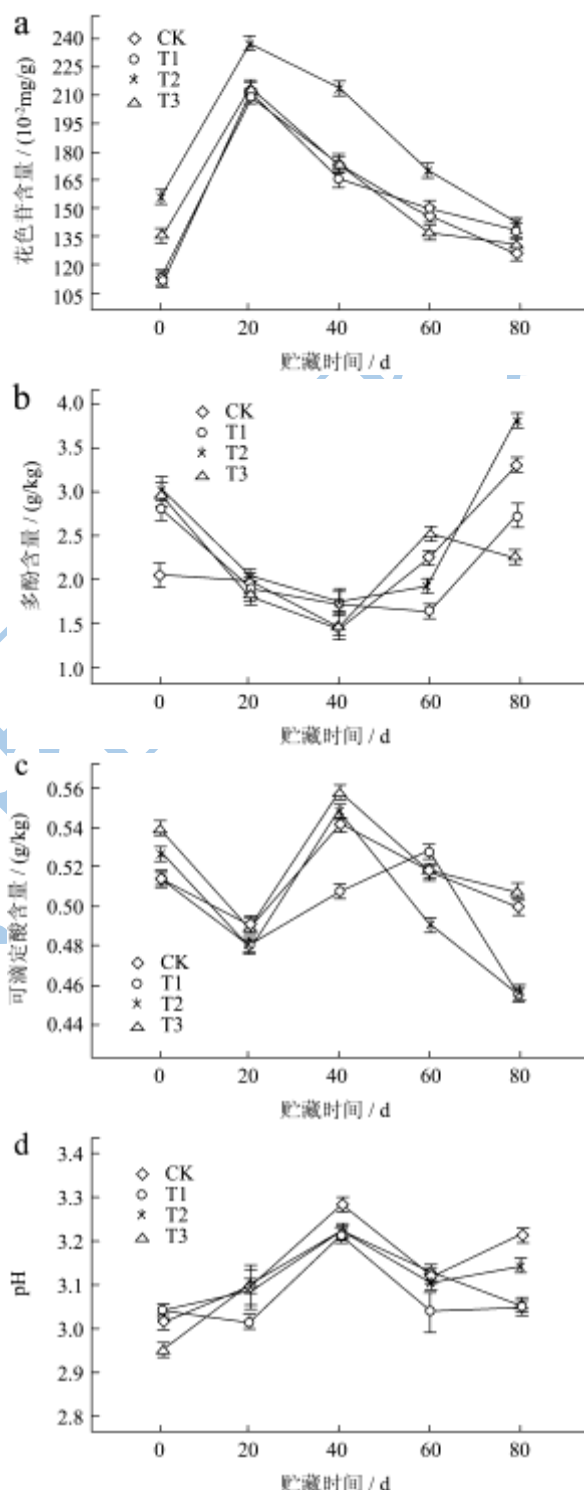
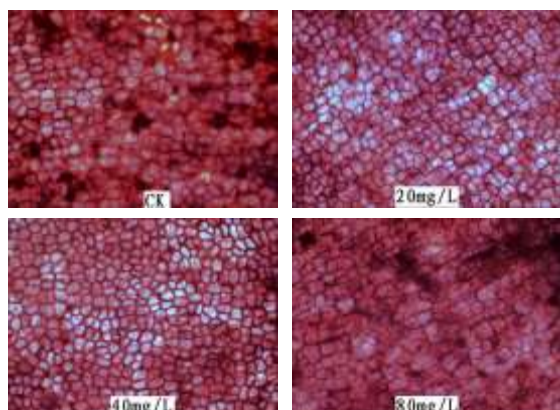


图3 不同ClO₂浓度处理对蓝莓果实花色苷、多酚、可滴定酸含量和pH的影响

Fig.3 Effect of different ClO₂ treatments on anthocyanin, polyphenols, TA and pH of blueberry during storage

2.5 不同 ClO₂ 处理对蓝莓果实细胞壁显微结

构的影响

图4 不同ClO₂浓度处理对蓝莓果实细胞结构的影响Fig.4 Effect of different ClO₂ treatment on cell microstructure of blueberry fruits

贮藏 80 d 后, 取出 4 个不同浓度 ClO₂ 处理的蓝莓果实, 制成薄片, 利用显微镜观察并拍摄其细胞结构, 如图 4 所示。从图中可以看出, 对照组蓝莓果实的细胞组织结构膨胀, 大量细胞壁破裂, 20 和 40 mg/L ClO₂ 处理蓝莓果实细胞形态完整、大小均匀、排列致密, 未出现膨胀和破裂, 40 mg/L ClO₂ 处理蓝莓果实贮藏效果最佳, 60 mg/L ClO₂ 处理蓝莓果实的细胞结构发生膨胀, 引起细胞壁变薄, 细胞排列仍致密。

3 结论

3.1 采前 ClO₂ 处理是对蓝莓果实及其果园侵害微生物进行杀灭, 可显著清除蓝莓果实表面的微生物, 从而避免由果园微生物侵入微生物引起蓝莓果实贮藏期间的腐烂, 与其在猕猴桃、草莓应用中的结果一致^[8, 11]。ClO₂ 主要通过控制微生物蛋白质合成, 同时与微生物中氨基酸进行反应, 消耗蛋白质, 从而对微生物起到杀灭作用; 齐翔等还报道 ClO₂ 对增加细胞壁的吸附和透过性能, 对细胞内的巯基酶有较好的氧化作用, 因此, 对真菌、病毒、芽孢等均能进行有效的杀灭^[8]。ClO₂ 采前处理对蓝莓产生异味, 从而导致风味指数下降, 随着贮藏时间增加, 异味消失, 而对对照组腐烂产生不良气味, 适宜浓度 ClO₂ 处理蓝莓果实的风味指数高于对照组, 然而浓度 ClO₂ 过高会引起腐烂导致风味指数下降。

3.2 适宜浓度 ClO₂ 采前处理, 降低了蓝莓果实的腐烂率和失重率。失重率是贮藏期间呼吸和水分蒸腾引起。由于蓝莓采后失去了能量和水分补充, 仅通过呼吸提供, 从而消耗果实营养物质和水分, 引起失重率增加。采前 ClO₂ 处理有效降低了呼吸速率, 减少自身营养物质消耗, 从而降低蓝莓果实的失重率。ClO₂ 处

理显著降低蓝莓果实表面病原菌, 从而减少果实的腐烂, 延长货架期。同时, ClO₂ 处理可较好延缓蓝莓果实可溶性固形物含量升高, 从而有效保持蓝莓果实的硬度降低其软果率, 这与在苹果、葡萄、草莓上研究结果一致^[7, 10, 21], 主要是由于 ClO₂ 有效抑制果实中果胶酶 (PG 和 PE) 活性, 从而减缓果实软化。可溶性固形物含量和软果率是蓝莓果实评价的重要因素。果蔬后熟期间, 果实中的原果胶酶解为果胶和果胶酸, 从而引起组织软化, 随着果实软化, 可溶性固形物含量增加。

3.3 适宜浓度的 ClO₂ 处理抑制果实中 PPO 酶活性, 维持 POD 和 PAL 活性, 这与 ClO₂ 在猕猴桃、莴苣上的应用相似^[8, 22]。PPO、POD 和 PAL 是与植物体损伤、抗性密切相关的酶。当细胞受到损伤, PPO 就会与果实中的多酚发生反应形成醌类物质; 研究显示, 病原菌侵害植物组织时, 组织中的 POD 和 PAL 活性就会增加, 次生代谢增强、木质素合成、抗氧化性得到加强, 以此抵御病原菌侵害^[23]。贮藏初期, 所有处理蓝莓果实的 POD 活性均显著增加, 主要是由于蓝莓采摘后产生了自由基, 组织为自我调节提高清除能力, 从而引起 POD 活性增加, 然而在贮藏末期, 果实衰老, 自身清除能力下降, 引起 POD 活性降低。

3.4 在果园进行 ClO₂ 采前喷施, 可有效清除表面微生物, 延缓果实软化, 抑制可溶性固形物含量增加, 降低了呼吸速率、腐烂率和失重率。但高浓度 ClO₂ 会使细胞膜透性增加, 胞内营养外渗, 降低果实的贮藏性。研究显示: 高浓度 ClO₂ 处理虽然杀菌效果较好, 但营养和生理指标不佳, 因此, 采用自发气调进行包装在近冰温条件下贮藏, 用于“粉蓝”蓝莓保鲜的适宜浓度为 40 mg/L。

参考文献

- [1] Brazelton C. 2012 World blueberry acreage & production report [R]. United States Highbush Blueberry Council-Industry Relations Committee. Folsom, California. 2013: 1-51
 - [2] Angeletti P, H Castagnassob, E Miceli, et al. Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58: 98-103
 - [3] 吴欣, 徐俐, 李莉莉, 等. 贵州 8 个引种蓝莓果实贮藏性比较 [J]. 食品科学. 2013, 34(10): 308-312
- WU Xin, XU Li, LI Li-li, et al. Comparative studies on storage capacity of 8 blueberry cultivars in Guizhou [J]. Food

- Science, 2013, 34(10): 308-312
- [4] 陈杭君,王翠红,郗海燕,等.不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J].中国农业科学, 2013, 46(6): 1230-1236
CHEN Hang-jun, WANG Cui-hong, GAO Hai-yan, et al. Effect of packaging on the postharvest quality and the antioxidant activity of blueberry [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(6): 1230-1236
- [5] Du J, Han Y, LINTON R H. Efficacy of chlorine dioxide gas in reducing *Escherichia coli* O157: H7 on apple surfaces [J]. Food Microbiology, 2003, 20(5): 583-591
- [6] 傅茂润,杜金华.二氧化氯在食品保鲜中的应用[J].食品与发酵工业,2004,30(8):113-116
FU Mao-run DU Jin-hua. The application of chlorine dioxide in food fresh-keeping [J]. Food and Fermentation Industries, 2004, 30(8): 113-116
- [7] 赵明慧,饶景萍,辛付存,等.二氧化氯采前处理对红富士苹果的保鲜[J].食品科学,2011,32(16):352-356
ZHAO Ming-hui, RAO Jing-ping, Xin Fu-cun, et al. Fresh-keeping effect of pre-harvest chlorine dioxide treatment of "red fuji" apple [J]. Food Science. 2011, 32(16): 352-356
- [8] 田红炎,祝庆刚,饶景萍.采前二氧化氯处理对“海沃德”猕猴桃的防腐保鲜效果[J].植物生理学报, 2011, 47(12): 1167-1172
TIAN Hong-yan, ZHU Qing-gang, RAO Jing-ping. Effects of preharvest treatment with chlorine dioxide on fresh-keeping of 'Hayward' kiwi fruit [J]. Plant Physiology Journal, 2011, 47(12): 1167-1172
- [9] Kim Y J, Lee S H, Song K B. Effect of aqueous chlorine dioxide treatment on the microbial growth and qualities of iceberg lettuce during storage [J]. J Appl Biol Chem, 2007, 50: 239-243
- [10] 钟梅,吴斌,武建明,等.二氧化氯对草莓营养成分及果实品质的影响[J].食品科技,2009,5:46-49
ZHONG Mei, WU Bing, WU Jian-ming, et al. Effect of chlorine dioxide treatment on the nutrient component and quality of strawberry [J]. Food Science and Technology, 2009 5: 46-49
- [11] Jin Y, Kim Y J, Chung K, et al. Effect of aqueous chlorine dioxide treatment on the microbial growth and qualities of strawberries during storage [J]. Food Science and Biotechnology, 2007, 16(6): 1018
- [12] Mahmoud B S M, Vaidya N A, Corvalan C M, et al. Inactivation kinetics of inoculated *Escherichia coli* O157: H7, *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* Poona on whole cantaloupe by chlorine dioxide gas [J]. Food Microbiology, 2008, 25(7): 857-865
- [13] DU Jin-Hua, FU Mao-Run, LI Miao-Miao, et al. Effects of chlorine dioxide gas on postharvest physiology and storage quality of green bell pepper (*Capsicum frutescens* L. var. Longrum) [J]. Agricultural Sciences in China, 2007, 6(2): 214-219
- [14] Wu V.C.H., B. Kim. Effect of a simple chlorine dioxide method for controlling five foodborne pathogens, yeasts and molds on blueberries [J]. Food Microbiology, 2007, 24(7): 794-800
- [15] 姜爱丽,孟宪军,胡文忠,等.高 CO₂ 冲击处理对采后蓝莓生理代谢及品质的影响[J].农业工程学报, 2011, 27(3): 362-368
JIANG Ai-li, MENG Xian-jun, HU Wen-zhong et al. Effects of high CO₂ shock treatments on physiological metabolism and quality of postharvest blueberry fruits [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 362-368
- [16] Li W., Y. Z. Shao, W. X. Chen. The effects of harvest maturity on storage quality and sucrose-metabolizing enzymes during banana ripening [J]. Food Bioprocess Technol. 2011, 4: 1273-1280
- [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,2007:69-71
- [18] Moyer R A, K E Hummer, C E Finn, et al. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes* [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2002: 50(3): 519-525
- [19] Y Cai, Q Luo, M Sun, et al. Antioxidant activity and phenolic compounds of 112 traditional Chinese medicinal plants associated with anticancer [J]. Life sciences. 2004, 74(17): 2157-2184
- [20] 陈杭君,王翠红,郗海燕,等.不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J].中国农业科学, 2013, 46(6): 1230-1236
CHEN Hang-jun, WANG Cui-hong, GAO Hai-yan, et al. Effect of packaging on the postharvest quality and the antioxidant activity of blueberry [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(6): 1230-1236
- [21] 赵瑞平,李育峰,李大元,等.二氧化氯处理及气调贮藏对宣化牛奶葡萄品质的影响[J].北方园艺,2010,5:170-172
ZHAO Rui-ping, LI Yu-feng, LI Da-yuan, et al. Effect of chlorine dioxide treatment and controlled atmosphere storage on the quality of grape [J]. Northern Horticulture, 2010, (5):

- 170-172
- [22] Chen Z, Zhu C, Zhang Y, Niu D, Du J. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. *Postharvest Biol Technol*, 2010, 4(6): 10-16
- [23] 刘凤权,王金生.水杨酸对水稻防卫反应酶系的系统诱导[J]. *植物生理学通讯*,2002,38(2):121-123
- LIU Feng-quan, WANG Jin-sheng. Systemic induction of several defense response enzymes in rice seedlings by salicylic acid [J]. *Plant Physiology Journal*, 2002, 38(2): 121-123

现代食品科技