

# 1-MCP 结合臭氧处理 对蓝莓低温保鲜效果的影响

吉宁<sup>1</sup>, 龙晓波<sup>2</sup>, 李江阔<sup>3</sup>, 曹森<sup>1</sup>, 张鹏<sup>3</sup>, 马超<sup>1</sup>, 马立志<sup>1</sup>, 王瑞<sup>1,\*</sup>

(1. 贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州省果品加工技术研究中心, 贵州贵阳 550005;

2. 贵州省凯里市麻江县蓝莓办公室, 贵州凯里 556000;

3. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津 300000)

**摘要:**为探索 1-MCP (1  $\mu\text{L/L}$ ) 熏蒸结合臭氧处理 (2 h) 对蓝莓低温下 ( $1 \pm 0.3$ )  $^{\circ}\text{C}$  保鲜 80 d 的效果, 以蓝莓鲜果 (粉蓝) 为研究对象, 将其分为 CK 组、50、100 和 150  $\mu\text{L/L}$  臭氧处理组, 贮藏期间取样对果实的顶空气体、呼吸强度、乙烯释放率、腐烂率、果皮相对电导率、软果率、硬度、可溶性固形物、维生素 C、花色苷和多酚进行测定。结果表明, 1-MCP 结合 100  $\mu\text{L/L}$  浓度臭氧处理在整个贮藏期间效果最好, 贮藏到第 80 d, 其腐烂率、软果率、呼吸强度、乙烯释放率分别比 CK 组低 6.14%、6.87%、21.13% 和 15.77%, 而  $V_c$ 、花色苷、多酚、硬度和可溶性固形物分别比 CK 组高出 18.78%、13.55%、19.98%、9.74% 和 9.02%, 因此, 1-MCP 结合适宜浓度的臭氧处理是一种低成本、高效的蓝莓鲜果保鲜方法。

**关键词:** 1-甲基环丙烯, 蓝莓, 臭氧, 低温贮藏, 保鲜

## Effect of 1-MCP Coupling with Ozone Treatment on Storage of Blueberry at Low Temperature

Ji Ning<sup>1</sup>, LONG Xiao-bo<sup>2</sup>, LI Jiang-kuo<sup>3</sup>, CAO Sen<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>3</sup>, MA Chao<sup>1</sup>, MA Li-zhi<sup>1</sup>, WANG Rui<sup>1,\*</sup>

(1. School of Food and Pharmaceutical Engineering, Guiyang College, Guizhou

Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang 550005, China;

2. Blueberry Office, Majiang County, Kaili City, Guizhou Province, Kaili 556000, China;

3. National Engineering Research Center for Agricultural Products Preservation, Tianjin 300000, China)

**Abstract:** In order to explore the preservation 80 d effect of 1-MCP (1  $\mu\text{L/L}$ ) fumigation combined with ozone treatment (2 h) on blueberry at low temperature ( $1 \pm 0.3$ )  $^{\circ}\text{C}$ , fresh blueberry fruit (powder blue) was divided into CK group, 50, 100 and 150  $\mu\text{L/L}$  ozone treatment group. During storage, the top air volume, respiratory intensity, ethylene release rate, decay rate, relative electrical conductivity of peel, soft fruit rate, hardness, soluble solids, vitamin C, anthocyanin and polyphenols were determined. The results showed that the treatment with 1-MCP coupling with 100  $\mu\text{L/L}$  ozone was the best during the whole storage period compared with other treatment groups, on the 80th day of storage, the rot rate, soft fruit rate, respiratory intensity and ethylene release rate were 6.14%, 6.87%, 21.13% and 15.77% lower than that of the CK group, respectively, while  $V_c$ , anthocyanins, polyphenols, hardness and soluble solids, the contents were 18.78%, 13.55%, 19.98%, 9.74% and 9.02% higher than the CK group, respectively, therefore, 1-MCP coupling with suitable concentration of ozone treatment is a low-cost, high-efficiency blueberry fresh fruit preservation method.

**Key words:** 1-MCP; blueberry; ozone; low temperature storage; preservation

中图分类号: TS262.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)11-0302-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2019.11.050

**引文格式:** 吉宁, 龙晓波, 李江阔, 等. 1-MCP 结合臭氧处理对蓝莓低温保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 302-307.

蓝莓 (*Semen trigonellae*) 又称越橘, 因果实甜酸适宜, 具有防止脑神经老化、抗癌、软化血管、增强机

体免疫及明目等保健功能, 被列入世界第三代水果, 亦是世界粮农组织推荐的五大健康食品之一<sup>[1]</sup>。蓝

收稿日期: 2018-08-09

作者简介: 吉宁 (1984-), 男, 硕士, 副教授, 主要从事农产品贮藏与加工方面的研究, E-mail: jining552100@163.com。

\* 通讯作者: 王瑞 (1979-), 男, 博士, 教授, 主要从事农产品贮藏等研究, E-mail: wangrui060729@126.com。

基金项目: 2017 年贵州省“麻江蓝莓”地理标志产品产业化项目 [黔知地标 [2017] 6 号]; 受贵阳市科技局贵阳学院专项资金资助 [GYU-KYZ (2018) 01-02] 资助; 蓝莓鲜果采收后商品化处理与动态贮藏关键技术转化应用与示范 [黔科合成果 [2019] 4221 号]。

莓果大多成熟于高温、多雨的夏季,此环境下入库贮藏过程中,往往会代大量的微生物,贮藏期间易受微生物的侵害,腐烂软化,导致耐贮性降低,严重影响其商品和经济价值。

1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)作为一种无毒、无残留、高效的安全果蔬保鲜剂,其能阻断果实贮藏期间乙烯的生物合成,从而达到延缓果实衰老的目的<sup>[2]</sup>。使用 1.0  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP 处理能显著延长蓝莓贮藏期、提高货架品质<sup>[3-4]</sup>; 1.0  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP 结合壳聚糖涂膜能显著提高蓝莓果实相关酶活性<sup>[5]</sup>;而气调结合浓度为 1  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP 处理低温下贮藏,可更好地抑制蓝莓果实品质的下降及呼吸强度和乙烯释放率,还能更好地延长蓝莓贮运后货架期<sup>[6-8]</sup>。

臭氧具有极强的氧化性和杀菌能力,且使用后无污染、无残留,目前已在葡萄、草莓、巴西果、冬枣贮藏保鲜方面有研究报道<sup>[9-12]</sup>;章宁瑛等<sup>[13]</sup>使用臭氧单独对蓝莓进行处理,发现处理后能保持果实的贮藏品质和抗氧化酶活性。但若想要臭氧在短时间内杀灭真菌孢子,则需要高湿、高浓度才能发挥臭氧的效能<sup>[14]</sup>;有研究表明,在葡萄鲜果的贮藏过程中,900  $\mu\text{L/L}$  以上的臭氧浓度在高湿环境下 1 h 才能对绿霉、青霉和灰霉进行杀灭<sup>[15]</sup>,1000  $\mu\text{L/L}$  的臭氧对葡萄进行熏蒸 1 h,才能杀灭真菌分生孢子,在贮藏后期减少灰霉生长,但同时研究也指出,高浓度的臭氧处理,会导致葡萄鲜果的果柄和果皮损伤,加快果实衰老、腐烂<sup>[16]</sup>。综上,1-MCP 处理能有效的延长蓝莓鲜果采后贮藏期,而臭氧处理也能提高蓝莓鲜果采后的贮藏品质,两者结合处理是否能起到更佳的保鲜效果,为此,本实验将通过不同臭氧浓度结合 1-MCP 处理对蓝莓鲜果采后贮藏期品质进行研究,验证两者的叠加性,为蓝莓采后保鲜提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

蓝莓 品种:粉蓝,于 2017 年 7 月 21 日 14:00~18:00 采自贵州省麻江县宣威镇光明村小桥边蓝莓种植基地(26.36°N, 107.73°E);PET 蓝莓专用保鲜盒 潍坊百乐源公司,内尺寸:长 105 mm,宽 100 mm,高 40 mm;塑料镂空周转框 深圳市中超塑胶有限公司,内尺寸:长 585 mm,宽 395 mm,高 240 mm;碳酸氢钠、磷酸钠、氢氧化钠、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、钼蓝胺、乙酸、浓盐酸、偏磷酸、福林酚、乙二醇四乙酸、醋酸钠等试剂 均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

精准控温保鲜库 温度精度  $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 、90%  $\pm$  5% RH,国家农产品保鲜工程技术研究中心监制;FL802A 型臭氧发生器 深圳市飞力电器科技有限公司;Model202 型臭氧检测仪 美国 2B Technologies 公司;6600  $\text{O}_2/\text{CO}_2$  顶空分析仪 美国 ILLINOIS 公司;GC-14 气相色谱仪、UV-2550 型紫外可见分光光度计 日本 Shimadzu 公司;TA.XT.Plus 物性测定仪 英国 Stable Micro Systems 公司;PAL-1 型迷你数显折射计 日本 ATAGO 公司;DDS-11A 雷磁数显

台式数显电导率仪 上海仪电科学仪器股份有限公司;A11 型分析用研磨机 德国 IKA 公司;Delta Trak 11036 型中心电子温度计 美国 DeltaTRAK 公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 处理方法 采摘当天就地选取大小一致、无机械伤、无病虫害、色泽均匀、果形端正且萼片未倒伏、成熟度相对一致(九成熟、底部微红)的果实,使用 PET 蓝莓专用保鲜盒进行分装,每盒(125  $\pm$  5) g 蓝莓,置于 25  $^\circ\text{C}$  空调房内,使用工业风扇处理 1 h 除去田间热(果实中心温度由 30  $^\circ\text{C}$  降到 25  $^\circ\text{C}$ )。然后使用高阻隔 PE 塑料薄膜(厚度:0.08 mm),搭建四个体积相同塑料帐子(体积:1  $\text{m}^3$ /个),将装有蓝莓的 PET 专用保鲜盒分四组放入帐内,根据前人研究<sup>[3-5]</sup>,选用 1  $\mu\text{L/L}$  的 1-MCP 浓度作为处理剂量,将称量好的 1-MCP 倒入装有蒸馏水的烧杯内,迅速置于其中四个帐内,并立即使用封口胶将开口处密封,熏蒸 12 h。

1-MCP 熏蒸完毕后,将帐子重新搭建,使用臭氧发生器通气管从缝隙处插入,用封口胶将边缘封闭,并使用臭氧监测仪对帐内臭氧进行实时监测,达到所需浓度后,停止通入。臭氧处理 2 h 后,打开塑料帐,将不同处理组的蓝莓随机分装到 PE20 袋内,每个 PE20 袋放入 20 盒。实验分为 1-MCP + 50  $\mu\text{L/L}$  臭氧处理组、1-MCP + 100  $\mu\text{L/L}$  臭氧处理组、1-MCP + 150  $\mu\text{L/L}$  臭氧处理组及 1-MCP 对照组(分别记为  $\text{M}_1$ 、 $\text{M}_2$ 、 $\text{M}_3$  和 CK),每个处理 12 袋,240 盒。每隔 20 d 每个处理取出 3 袋(3 平行)进行各项指标测定,分配完毕,将各组蓝莓预冷后放置于(1  $\pm$  0.3)  $^\circ\text{C}$  进行贮藏。

#### 1.2.2 指标测定方法

1.2.2.1 自发气调袋内微环境  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  含量测量 从保鲜库取出每个处理的 3 袋蓝莓鲜果放置于 25  $^\circ\text{C}$  房间内,使用顶空分析仪测定袋内  $\text{CO}_2/\text{O}_2$  含量。

1.2.2.2 呼吸强度 先将蓝莓鲜果放于 25  $^\circ\text{C}$  房间内静置 2 h,再采用静置法经顶空分析仪( $\text{O}_2$  测量范围:0.001% ~ 100%;  $\text{CO}_2$  测量范围:0.01% ~ 100%)测定<sup>[17]</sup>。

1.2.2.3 乙烯生成速率 先将蓝莓鲜果在 25  $^\circ\text{C}$  房间内静置 2 h,后采用气相色谱仪程序升温法进行测定<sup>[18]</sup>,每次筛选 8 盒好果放入干燥器内(每盒:125  $\pm$  5 g),密封 2 h,取样 5 mL 进行测定。色谱柱条件:GC-14 气相色谱仪, DB-5 (30 m  $\times$  0.25 mm  $\times$  0.25  $\mu\text{m}$ );检测器:FID,温度 230  $^\circ\text{C}$ ;进样口:温度 120  $^\circ\text{C}$ ;升温程序:80  $^\circ\text{C}$  保持 2 min;6  $^\circ\text{C}/\text{min}$  升温至 230  $^\circ\text{C}$ ,保持 1 min;载气: $\text{N}_2$ ,流速 24 mL/min;尾吹气: $\text{N}_2$ ,流速 30 mL/min,尾吹:30 mL/min。

1.2.2.4 腐烂率 以表面有霉菌、破裂、流水记为腐烂,计算公式如下:

$$\text{腐烂率}(\%) = \text{腐烂果数量} / \text{总果数量} \times 100$$

1.2.2.5 果皮相对电导率 参照曹建康报道的方法,使用 DDS-11A 雷磁台式数显电导仪进行<sup>[19]</sup>测定。

1.2.2.6 软果率 以表面有凹陷记为软果,计算公式如下:

软果率(%) = 软果数量/总果数量 × 100

**1.2.2.7 硬度** 随机取 15 粒蓝莓好果,使果子横向放置在质构仪上,有萼片的一头朝向质构仪左边,采用 P/2N 探头对其进行穿刺测试,测试参数如下:穿刺深度为 6 mm,测前速度 2 mm/s,测中速度 1 mm/s,测后速度 1 mm/s,触发力 5.0 g。

**1.2.2.8 可溶性固形物含量** 采用数显折射计测定,具体为:将出库后的蓝莓果实放于室温 25 ℃ 环境下 2 h,打浆,10000 r/min 离心 15 min,取上清液进行测。

**1.2.2.9 维生素 C 含量** 参照李军报道方法<sup>[20]</sup>,将从保鲜库内取出的蓝莓鲜果,放于 25 ℃ 的环境中 2 h,随机取样使用研磨机进行研磨,取浆液 5 g 进行维生素 C 含量测定。

**1.2.2.10 花色苷、总酚含量** 均参照 Moyer 等的方法测定<sup>[21]</sup>,将从保鲜库内取出的蓝莓鲜果,放于 25 ℃ 的环境中 2 h,随机取样使用研磨机进行研磨,取浆液 5 g 进行花色苷、总酚含量测定。

### 1.3 数据处理

以平均值 ± 标准偏差表示结果;采用 Origin Lab 9.0 对数据进行作图,SPSS 19.0 对数据进行 Duncan 氏新复极差法进行数据差异显著性分析( $p < 0.05$  为差异显著, $p < 0.01$  为差异极显著, $p > 0.05$  为差异不显著)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对蓝莓贮藏微环境的影响

贮藏微环境是利用果实自身呼吸与薄膜的选择透气性产生一定的气体比例,来调节果实的贮藏环境,达到保鲜和延长其贮藏期的目的<sup>[22]</sup>。本实验使用 PE20 保鲜袋对蓝莓进行封装,从图 1 中可以看出,各处理组微环境中  $O_2$  浓度均呈下降趋势, $CO_2$  浓度均呈上升趋势,其中 CK 组与  $M_3$  组  $O_2$  浓度下降与  $CO_2$  浓度上升最快。而在整个贮藏期, $M_2$  微环境中的  $O_2$  与  $CO_2$  浓度与 CK 组、 $M_3$  组之间差异显著( $p < 0.05$ ),说明  $M_2$  呼吸强度相对较弱,果蔬衰老速度被延缓。贮藏到第 40 d 时, $M_1$  与  $M_2$  微环境中的  $O_2$  与  $CO_2$  浓度无显著差异( $p > 0.05$ ),说明此阶段两者的呼吸导致的衰老进程相似;40 d 后, $M_2$  的  $CO_2$  浓度明显的比  $M_1$  要低( $p < 0.05$ ), $O_2$  浓度比  $M_1$  组要高( $p < 0.05$ ),说明此阶段  $M_2$  比  $M_1$  的气体微环境更加能延缓果实的呼吸。贮藏到第 80 d 时, $M_2$  微环境中的  $O_2$  浓度为 10.4%,CK 组的为 7.3%,含量比 CK 组高出了 29.8%; $CO_2$  浓度为 1.7%,CK 组为 3.7%,含量比 CK 组低了 54.05%;而在整个贮藏期间, $M_3$  与 CK 组的  $O_2$  与  $CO_2$  浓度均无显著差异( $p > 0.05$ )。综上, $M_2$  处理组果实产生的微环境中  $O_2$  和  $CO_2$  浓度比例较适合于蓝莓的采后贮藏。

### 2.2 不同处理对蓝莓呼吸强度的影响

呼吸作用能反映果实在贮藏期间的生命活动状态,其强弱能间接反应果实的衰老进程。从图 2 可以看出,各处理组在 40 d 时出现呼吸高峰,40 d 之前各组的呼吸强度均呈上升趋势, $M_1$ 、 $M_2$  相对较低,两者之间差异不显著( $p > 0.05$ )。40 d 后各组呼吸强度

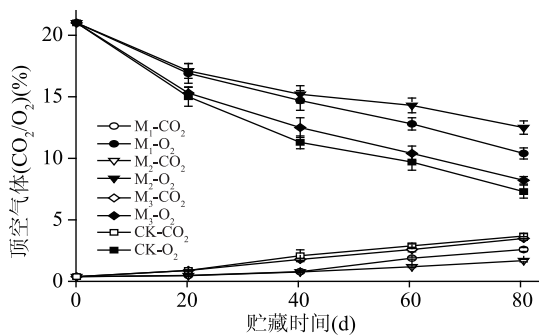


图1 不同处理对蓝莓贮藏微环境的影响

Fig.1 Effect of different treatments on the storage microenvironment of blueberry

开始下降, $M_2$  下降最为明显,且在各个监测期与其他组差异显著( $p < 0.05$ )。80 d 时,CK 组呼吸强度为 7.54 mg/kg·h,而  $M_2$  组的呼吸强度为 5.92 mg/kg·h,仅为 CK 组的 78.51%,由此可见 1-MCP 结合臭氧处理(100  $\mu$ L/L)能降低蓝莓在贮藏期间的呼吸作用,延长蓝莓的贮藏期。

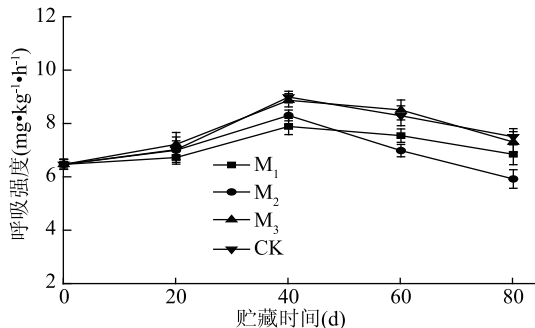


图2 不同处理对蓝莓呼吸强度的影响

Fig.2 Effect of different treatments on the respiratory intensity of blueberry

### 2.3 不同处理对蓝莓乙烯释放率的影响

乙烯是一种重要的植物生长调节剂,其与果蔬采后生理活动过程密切相关,常常用于表征贮藏中果实的后熟衰老过程<sup>[23]</sup>。从图 3 中可以看出,在贮藏到 20、40 d 时,各处理组之间的乙烯释放差异不显著( $p > 0.05$ ),到 60、80 d 时, $M_1$ 、 $M_2$  之间, $M_3$  和 CK 之间乙烯释放率的差异均不显著( $p > 0.05$ ),但  $M_1$ 、 $M_2$  乙烯释放率显著低于  $M_3$  和 CK 组( $p < 0.05$ ),与图 2 比较,各组的呼吸强度与乙烯释放率具有相似的变化趋势,1-MCP 为一种乙烯阻断剂,使用同等浓度的 1-MCP 进行处理,过高的臭氧浓度(150  $\mu$ L/L)可能损伤了果实的果皮,导致贮藏过程中乙烯释放加快,因此,1-MCP 结合较低浓度的臭氧,在贮藏后期能延缓蓝莓的乙烯释放。

### 2.4 不同处理对蓝莓腐烂率的影响

腐烂率能直观的反映贮藏期间果实的品质,通常作为评判贮藏效果的重要指标。从图 4 中可以看出,贮藏到第 40 d 时,各组的腐烂率均处于较低水平,且各组之间差异不显著( $p > 0.05$ )。到第 60 d 时,经过臭氧处理后的蓝莓腐烂率均低于 CK 组( $p < 0.05$ ),而臭氧处理组之间差异不显著( $p > 0.05$ )。贮藏到第 80 d 时,各组腐烂率急剧上升,其中  $M_3$  和 CK



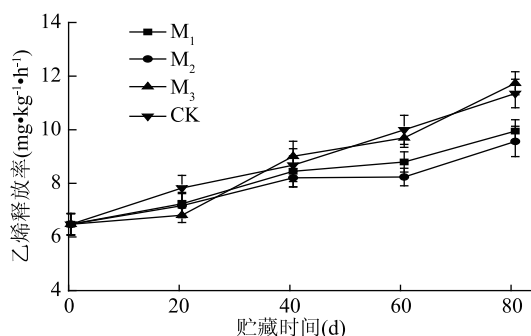


图3 不同处理对蓝莓乙烯释放率的影响

Fig.3 Effect of different treatments on the ethylene release rate of blueberry

上升最快, M<sub>2</sub> 腐烂率为 12.84%, 而 CK 组的为 18.92%, 对比图 2、图 3 发现, 高呼吸强度和高乙烯释放率导致了较高的腐烂率, 说明 1-MCP 结合 100  $\mu$ L/L 臭氧浓度处理能在贮藏后期降低蓝莓鲜果的腐烂率。

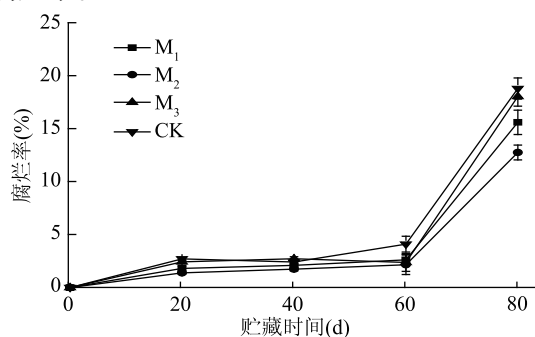


图4 不同处理对蓝莓腐烂率的影响

Fig.4 Effect of different treatments on the rot rate of blueberry

## 2.5 不同处理对蓝莓果皮相对电导率的影响

果皮相对电导率表示细胞膜渗透率以及细胞膜受到伤害的程度。通过测定果蔬组织浸提液或外渗液的电导率, 可以了解果蔬细胞膜通透性的变化, 反映果蔬抗逆性的强弱或受到伤害的程度<sup>[19]</sup>。由图 5 可以看出, 整个贮藏期间, 蓝莓果皮电导率呈上升趋势, 贮藏到 20 d 时, M<sub>3</sub> 果皮电导率最高, 而其余组果皮电导率均比 M<sub>3</sub> 组低, 且差异显著 ( $p < 0.05$ )。到 40 d 时, 各组间的果皮电导率差异不显著 ( $p > 0.05$ )。第 60 d, M<sub>2</sub> 表现出最低的果皮电导率, 且与其余各组差异显著 ( $p < 0.05$ )。第 80 d, M<sub>3</sub> 组果皮电导率又升为最高, 且与其他处理组差异显著 ( $p < 0.05$ ), 由此可见, 较高浓度的臭氧处理损伤了果皮, 导致果皮电导率升高。

## 2.6 不同处理对蓝莓软果率的影响

蓝莓在贮藏期表面会出现凹陷, 整个果实软化, 不仅品质下降, 外观商品性也降低, 因此, 软果率也是评价蓝莓贮藏效果的指标之一。从图 6 可以看出, 各组蓝莓软果率呈上升趋势, 贮藏到第 40 d 时, M<sub>2</sub> 软果率均低于其它组, 且差异显著 ( $p < 0.05$ ), 而 M<sub>1</sub>、M<sub>3</sub>、CK 之间差异不显著 ( $p > 0.05$ )。到 60 d 时, M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub> 软果率均极显著低于 CK 组 ( $p < 0.01$ ), 此

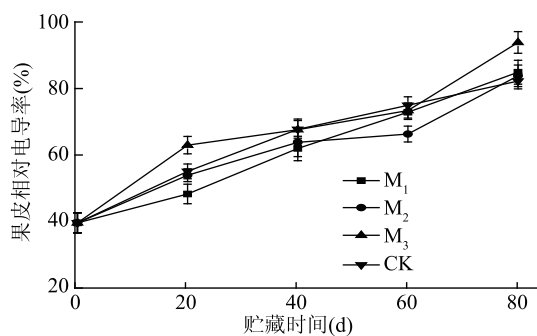


图5 不同处理对蓝莓果皮相对电导率的影响

Fig.5 Effect of different treatments on the relative electrical conductivity of blueberry peel

时 CK 组的软果率达到了 18.67%, 而 M<sub>2</sub> 的最低, 仅为 10.31%, 比 CK 组低了 8.36%。第 80 d, M<sub>1</sub>、M<sub>3</sub> 和 CK 之间的软果率差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 而 M<sub>2</sub> 与其余各组之间差异显著 ( $p < 0.05$ ), 由此可以看出, M<sub>2</sub> 处理能在整个贮藏期保持较低的软果率。

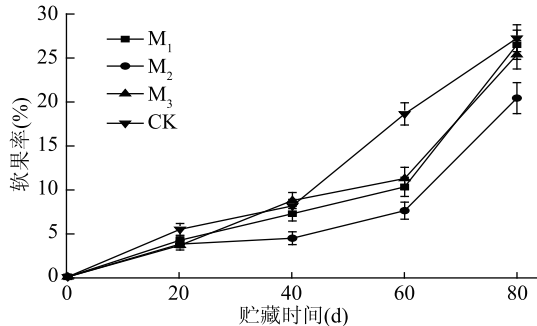


图6 不同处理对蓝莓软果率的影响

Fig.6 Effect of different treatments on the soft fruit ratio of blueberry

## 2.7 不同处理对蓝莓硬度的影响

蓝莓果实贮藏过程中会逐渐衰老, 果实硬度也会逐渐降低, 因此硬度变化可以反应果实的衰老程度。如图 7 所示, 各处理蓝莓的硬度均呈下降趋势, 在 40 d 之前, 各组之间硬度变化差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 在 60、80 d 时, M<sub>1</sub>、M<sub>3</sub>、CK 之间差异均不显著 ( $p > 0.05$ ), 而 M<sub>2</sub> 与其余各组之间差异显著 ( $p < 0.05$ ), 对比图 6 发现, 软果率与硬度具有相关性, 不同处理的软果率越高, 硬度也越低, 说明过高或过低浓度的臭氧结合 1-MCP 处理, 在贮藏后期均不利于延缓蓝莓硬度的下降, 相比于其他组, 使用 100  $\mu$ L/L 臭氧处理效果最好。

## 2.8 不同处理对蓝莓可溶性固形物含量的影响

从图 8 可以看出, 可溶性固形物呈先下降后上升再下降的趋势, 贮藏到 20 d 时, M<sub>2</sub> 的可溶性固形物含量最高, 且与其他组差异显著 ( $p < 0.05$ )。贮藏到第 40 d 时, 各组间的可溶性固形物差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 且各组均达到检测点的最大值。第 60 d, M<sub>1</sub> 与 M<sub>2</sub> 之间, M<sub>3</sub> 与 CK 之间差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 但 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub> 的可溶性固形物含量均显著高于 M<sub>3</sub> 与 CK 组 ( $p < 0.05$ )。贮藏到第 80 d, 各组可溶性固形物均下降到贮藏期最低, 但 M<sub>2</sub> 在各组之间仍保持含量最高, 且与各组之间差异显著 ( $p < 0.05$ )。

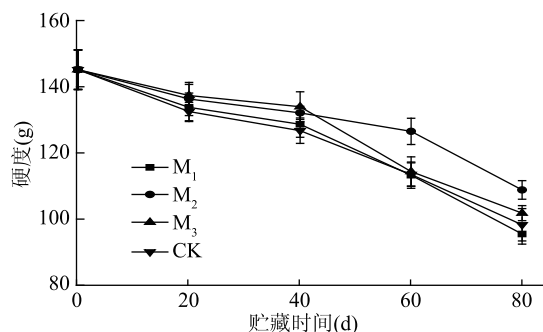


图7 不同处理对蓝莓硬度的影响

Fig.7 Effect of different treatments on the hardness of blueberry

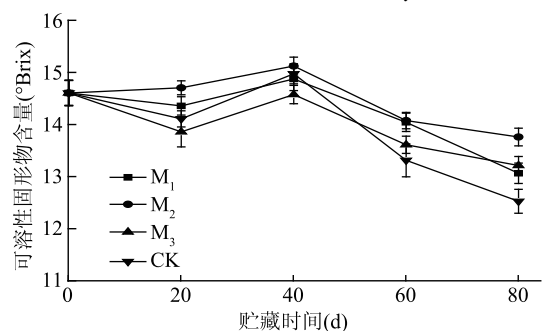


图8 不同处理对蓝莓可溶性固形物含量的影响

Fig.8 Effect of different treatments on the soluble solid content of blueberry

## 2.9 不同处理对蓝莓维生素C含量的影响

果实维生素C是衡量果实的营养品质和贮藏效果的指标之一。如图9所示,贮藏期间维生素C含量呈下降趋势。贮藏到第20 d时,经过臭氧处理的蓝莓果实维生素C含量均比对照组高,且差异显著( $p < 0.05$ )。随着贮藏时间的增加,在40、60 d时, $M_1$ 和 $M_3$ 的维生素C含量与CK组差异不显著( $p > 0.05$ ),而 $M_2$ 的维生素C含量比其余各组都高,且差异极其显著( $p < 0.01$ ),贮藏到第80 d, $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 的维生素C含量分别为15.82、16.83和15.86 mg/100 g,而CK组的仅为13.67 mg/100 g, $M_2$ 比CK组高出18.78%,说明 $M_2$ 处理的蓝莓在贮藏期维持了较高的维生素C含量。

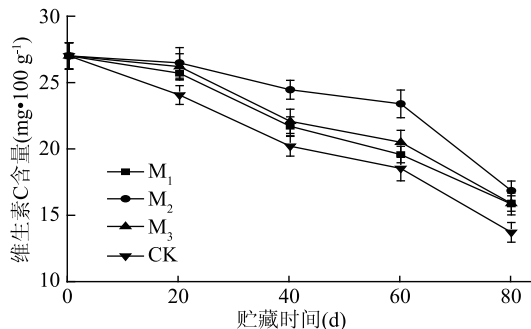


图9 不同处理对蓝莓维生素C含量的影响

Fig.9 Effect of different treatments on the  $V_c$  content of blueberry

## 2.10 不同处理对蓝莓花色苷含量的影响

蓝莓果实的营养价值在于其较高的花色苷含

量,因此,贮藏期间花色苷含量的变化,直接反映了贮藏效果。由图10可以看出,贮藏到20、40 d时,各组间的花色苷含量均不显著( $p > 0.05$ )。到第60 d时,臭氧处理的各组之间花色苷含量仍不显著( $p > 0.05$ ),但CK组比其余各组花色苷含量低,且差异显著( $p < 0.05$ )。到第80 d时, $M_2$ 保持了最高的花色苷含量,由此说明,臭氧处理后,能保持贮藏期间蓝莓果的花色苷含量,其中,以 $M_2$ 效果最佳,对比图9发现, $V_c$ 含量与花色苷含量有相似的变化趋势,说明此类抗氧化物质在贮藏过程中均不断地消耗、降解。

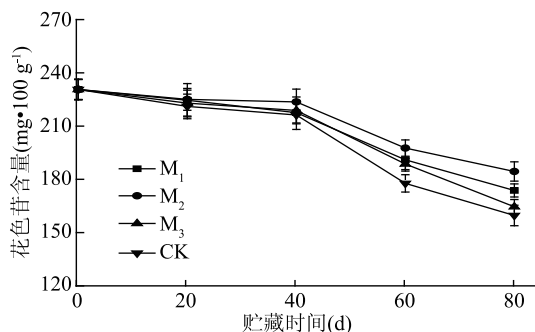


图10 不同处理对蓝莓花色苷含量的影响

Fig.10 Effect of different treatments on the anthocyanins content of blueberry

## 2.11 不同处理对蓝莓多酚含量的影响

由图11可以看出,贮藏期间,各组蓝莓多酚含量呈下降趋势,到第40 d时,经臭氧处理的蓝莓多酚含量差异不显著( $p > 0.05$ ),但其含量均比CK组高。第60 d, $M_1$ 与 $M_2$ 差异不显著( $p > 0.05$ ), $M_3$ 与CK差异不显著( $p > 0.05$ ),但与 $M_1$ 、 $M_2$ 均差异显著( $p < 0.05$ )。贮藏到80 d, $M_2$ 多酚含量为11.57 mg/100 g,而CK组为9.26 mg/100 g,说明 $M_2$ 处理在贮藏期间能维持蓝莓较高的多酚含量。较高的多酚含量,可能是由于臭氧处理后延缓了果实的衰老进程,降低了多酚在抗衰老过程中的消耗,而多酚含量的变化趋势与 $V_c$ 、花色苷的变化趋势相似,整个贮藏期均逐渐下降,可能是由于果实内的抗氧化物质随着贮藏时间的增加,均不断地消耗和降解,以维持果实的正常生命活动。

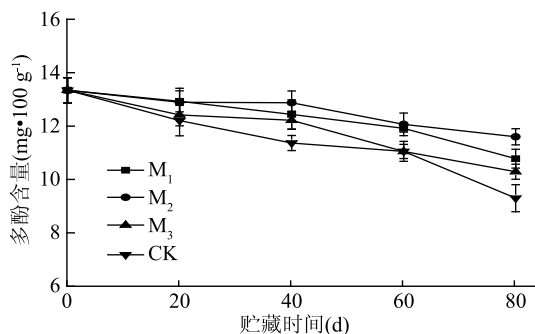


图11 不同处理对蓝莓多酚含量的影响

Fig.11 Effect of different treatments on the polyphenol content of blueberry

## 3 结论

本研究中,相对较低或较高浓度处理均不利于

蓝莓贮藏,整个贮藏期间  $M_1$  与 CK 变化相近,说明较低浓度可能是由于杀菌效果不佳,  $M_3$  处理始终保持较高的果皮电导率,说明较高浓度可能损伤了果皮导致衰老加快。此外,由于臭氧处理浓度不同,贮藏期间果实呼吸强度和乙烯释放不同,果实的衰老进程也不经相同,导致贮藏微环境出现差异,所以,微环境的改变可能也是导致贮藏效果差异的原因之一。1-MCP 结合臭氧处理相比于单独使用 1-MCP 处理,更能减少蓝莓贮藏期间的腐烂率,降低呼吸强度和乙烯释放率,延缓软化,维持较高的维生素 C、花色苷、多酚含量,而以臭氧浓度为 100  $\mu\text{L/L}$  的处理效果最好。

### 参考文献

- [1] Shen X, Sun X, Xie Q, et al. Antimicrobial effect of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) extracts against the growth of *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella*, *Enteritidis* [J]. Food Control, 2014, 35(1): 159-165.
- [2] 关夏玉, 陈清西. 1-MCP 采后处理在果实贮藏保鲜上应用的研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(4): 46-49.
- [3] 纪淑娟, 周倩, 马超, 等. 1-MCP 处理对蓝莓常温货架品质变化的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 322-327.
- [4] 孔硕, 刘娥, 郭军. 1-甲基环丙烯在‘兔眼’蓝莓果实贮藏保鲜上的应用效果[J]. 北方果树, 2013(1): 7-9.
- [5] 吴欣, 徐俐, 李莉莉, 等. 保鲜剂对蓝莓贮藏效果及相关酶活性的影响[J]. 食品科技, 2013(2): 26-31.
- [6] 刘虹丽, 张鹏, 李春媛, 等. 贮藏微环境气调对蓝莓货架品质及香气成分的影响[J]. 保鲜与加工, 2017(2): 38-46.
- [7] 张鹏, 刘虹丽, 李江阔, 等. 微环境箱式气调对物流后蓝莓冷藏期间保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2017(7): 32-37.
- [8] 吉宁, 王瑞, 曹森, 等. “1-甲基环丙烯+蓄冷剂+保温包装”模拟运输蓝莓鲜果研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(8): 311-315.
- [9] Feliziani E, Romanazzi G, Smilanick J L. Application of low concentrations of ozone during the cold storage of table grapes [J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 93(2): 38-48.
- [10] M S, Caner C. Individual and combined effects of ultrasound, ozone and chlorine dioxide on strawberry storage life [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(1): 344-351.
- [11] Giordano B N E, Nones J, Scussel V M. Susceptibility of the in-shell Brazil Nut mycoflora and aflatoxin contamination to ozone gas treatment during storage [J]. Journal of Agricultural Science, 2012, 4(8): 1-10.
- [12] 刘路, 张谦, 赵晓梅. 臭氧对赛买提杏贮藏保鲜的影响 [J]. 新疆农业科学, 2010, 47(4): 756-760.
- [13] 章宁瑛, 郜海燕, 陈杭君. 臭氧处理对蓝莓贮藏品质及抗氧化酶活性的影响 [J]. 中国食品学报, 2017, 17(8): 170-176.
- [14] K K Foarde, D W Vanosdell, R S Steiber. Investigation of Ggas - phase ozone as a potential biocide [J]. Applied Occupational & Environmental Hygiene, 1997, 12(8): 535-542.
- [15] Ozkan R, Smilanick J L, Karabulut O A. Toxicity of ozone gas to conidia of *Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum*, and *Botrytis cinerea* and control of gray mold on table grapes [J]. Postharvest Biology & Technology, 2011, 60(1): 47-51.
- [16] Gabler F M, Smilanick J L, Mansour M F, et al. Influence of fumigation with high concentrations of ozone gas on postharvest gray mold and fungicide residues on table grapes [J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 55(2): 85-90.
- [17] Sivakumar D, Korsten L. Fruit quality and physiological responses of litchi cultivar McLean's Red to 1-methylcyclopropene pre-treatment and controlled atmosphere storage conditions [J]. Lebensmittel - Wissenschaft und -Technologie, 2010, 43(6): 942-948.
- [18] 王鸿飞, 邵兴锋. 果品蔬菜贮藏与加工实验指导 [M]. 科学出版社, 2012.
- [19] 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: 152-153.
- [20] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C [J]. 食品科学, 2000, 21(8): 42-45.
- [21] Moyer R A, Hummer K E, Finn C E, et al. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vaccinium*, *rubus*, and *ribes*. [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(3): 519-25.
- [22] 吴齐. 气调保鲜技术在我国的应用及前景展望 [J]. 农业展望, 2009, 5(4): 40-43.
- [23] 潘永贵, 谢江辉. 现代果蔬采后生理 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 50-51.

全国中文核心期刊  
轻工行业优秀期刊