

不同处理条件的蓝莓货架品质比较分析

薛友林¹, 于弘弢¹, 张鹏², 李江阔²

(1. 辽宁大学轻工产业学院, 辽宁沈阳 110036) (2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要: 通过对比不同处理蓝莓冰温贮藏后低温货架品质的差异, 探求蓝莓采后保鲜的最佳处理。以‘莱克西’蓝莓为试材, 采用箱式气调(MAP)、1-甲基环丙烯(1-MCP)、箱式气调结合1-甲基环丙烯(MAP+1-MCP)处理, 对蓝莓品质指标、生理指标、硬度、色泽的影响。通过 OPLS-DA 分析得出处理间的差异性指标为花色苷、硬度。在货架期第 12 d 时, MAP+1-MCP 处理的蓝莓果实的可溶性固形物含量为 12.84%、可滴定酸含量为 0.85%、Vc 含量为 35.61 mg/100 g、花色苷含量为 87.51 mg/100 g、硬度为 897.75 g, 与对照组相比, MAP+1-MCP 处理的呼吸强度和乙烯生成速率分别下降了 13.32% 和 28.27%。这表明 MAP+1-MCP 处理可以使果实 Vc、花色苷、可滴定酸含量下降趋势得到延缓, 减缓了蓝莓果实硬度的下降, 延缓果实软化, 同时还能抑制果实呼吸速率及乙烯生成速率的升高, 但各组处理对蓝莓果实的色泽影响不显著。MAP+1-MCP 是蓝莓果实采后的最佳处理, 实验结果可以在蓝莓商品化销售中应用。

关键词: 蓝莓; 货架期; 自发气调; 果实品质; 统计分析

文章编号: 1673-9078(2020)05-113-121

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.5.016

Comparison of Shelf Quality of Different Treatments on the Blueberries

XUE You-lin¹, YU Hong-tao¹, ZHANG Peng², LI Jiang-kuo²

(1. College of Light Industry, Liaoning University, Shenyang 110036, China)

(2. National Engineering Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products; Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

Abstract: By comparing the differences in low-temperature shelf quality after different treatments of blueberry ice storage, the best treatment of blueberry post-harvest preservation was explored. Using 'Legacy' blueberry as test material, the box-type modified atmosphere package (MAP), 1-methylcyclopropene (1-MCP), and the box-type modified atmosphere package combined with 1-methylcyclopropene (MAP+1-MCP) treatments were employed to study the impacts on blueberry quality indicators, physiological indicators, hardness and color. The results showed that the differential indicators among the treatments were anthocyanin and Vc by OPLS-DA analysis. At the 12th day of shelf life, the soluble solids content of blueberry fruits treated with MAP+1-MCP was 12.84%, the titratable acid content was 0.85%, the Vc content was 35.61 mg/100 g, the anthocyanin content was 87.51 mg/100g, and the hardness was 897.75 g. Compared with the control group, the respiration intensity and ethylene production rate for the MAP + 1-MCP treatment decreased by 13.32% and 28.27%, respectively. This showed that the MAP+1-MCP treatment could delay the decline of Vc, anthocyanin, and titratable acid content in fruits, slow down the decrease of blueberry fruit hardness, delay fruit softening, and also inhibit the increase of fruit respiration rate and ethylene production rate. But the effect of each treatment on the color of blueberry fruit was not significant. MAP+1-MCP was the best treatment for postharvest blueberry fruit, and the experimental results could be applied in the commercial sale of blueberries.

Key word: blueberry; shelf life; modified atmosphere; fruit quality; statistical analysis

引文格式:

薛友林, 于弘弢, 张鹏, 等. 不同处理条件的蓝莓货架品质比较分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 113-121

XUE You-lin, YU Hong-tao, ZHANG Peng, et al. Comparison of shelf quality of different treatments on the blueberries [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 113-121

收稿日期: 2019-12-02

基金项目: 天津市农业科学院青年科研人员创新研究与实验项目(2019009); 辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1807270); 国家重点研发计划项目(2018YFD0401303)

作者简介: 薛友林(1980-), 男, 博士后, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工

通讯作者: 张鹏(1981-), 女, 博士后, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮运保鲜

蓝莓 (Blueberry), 又被称为“黄金浆果”^[1], 是指一种杜鹃花科越橘属青液果组的多年生灌木, 高度在 0.1~4.0 m 之间, 一般将其分为“兔眼蓝莓”、“矮丛蓝莓”和“高丛蓝莓”^[2]。蓝莓由于其自身具有良好的口感和营养价值^[3-6], 以及人民生活水平的不断提高, 蓝莓的各种用途被逐渐开发出来, 导致蓝莓的市场需求量也日益扩大。但由于其果实为高含水量浆果, 且多在高温多雨的季节成熟, 使其非常容易受到机械损伤和病害而导致品质下降, 影响蓝莓果实的营养价值和经济效益^[7], 因此蓝莓的贮藏保鲜技术成为限制其产业发展的重要因素之一。正因为如此, 弄清楚蓝莓采后病害和贮藏保鲜技术对蓝莓产业的发展极其重要。

自发气调贮藏 (MA) 是指依靠果蔬自身的呼吸代谢来降低环境中的 O_2 , 提高 CO_2 含量, 从而降低呼吸速率以达到延缓果实的成熟衰老的目的^[8]。2016 年 Giuggioli^[9]等研究发现淀粉薄膜配合 MA 共同使用有助于控制蓝莓果实收获后理化性质的变化, 而且还可以提升食品包装行业的环境可持续性; Schotsmans 等^[10]的研究结果表明: 2.5 kPa O_2 +15 kPa CO_2 的气调条件可使兔眼蓝莓的贮藏寿命延长两周以上, 并可有效保持果实的硬度、可滴定酸含量以及外观品质。1-甲基环丙烯 (1-MCP) 是目前备受关注的一种乙烯受体抑制剂, 其以不可逆的方式与乙烯受体蛋白结合, 阻断乙烯与受体结合, 抑制果实的生理生化反应, 达到保鲜的目的。有大量研究表明^[11-13], 蓝莓在贮藏保鲜时引入 1-MCP, 能延缓果实成熟衰老。主成分分析法 (PCA), 是一种利用降维技术把多元变量简化为少数几个变量的分析方法^[14,15], PCA 操作可将样本区分开来, 并且可识别多变量数据矩阵中最重要的变量, 从而筛选出较优的处理方式, 目前该分析方法已经广泛应用于果蔬、食品研究等方面^[16,17]。层次聚类分析法 (HCA) 就是通过对数据集按照某种方法进行层次分解, 使相近的变量划分为一类, 最小偏二乘回归 (OPLS-DA) 是通过投影预测变量和观测变量到一个新空间来寻找一个线性回归模型, 从而筛选出处理间的差异性物质。现今 HCA 和 OPLS-DA 已经广泛应用于代谢组学等方面的研究^[18,19]。本文运用气调保鲜箱配气调元件 (MAP) 配合 1-MCP 对蓝莓进行货架贮藏, 研究 MAP、1-MCP、MAP+1-MCP 3 种处理对蓝莓 4 °C 货架期间果实生理与品质的影响, 分析 MAP 结合 1-MCP 处理对蓝莓货架品质变化规律, 并运用多元变量统计分析法进行综合评价, 为蓝莓货架保鲜技术提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 材料

‘莱克西’蓝莓, 采自浙江宁波森田蓝莓采摘园, 采收时挑选大小均匀、无病虫害、无机械损伤的果实装入气调箱相配套的小篮内, 小篮子装满后, 放到固定地点, 保证每篮蓝莓在采收 2 h 内放入到冷库预冷。

气调箱 (规格: 28 cm×22 cm×12 cm, 内置 2 个篮筐, 箱 2 个侧面分别有 3 个气调窗, 其中左右气调窗为在长 2 cm 宽 1.5 cm 的长方形中开横 4 竖 3 的直径为 1 mm 的 12 个圆孔, 中间为长 2 cm 宽 1.5 cm 的长方形气调窗, 气调箱配套气调元件), 宁波国嘉农产品保鲜包装技术有限公司。

1.1.2 仪器与设备

PAL-1 便携式手持折光仪, 日本爱宕公司; 916Ti-Touch 电位滴定仪, 瑞士万通中国有限公司; Synergy H1 多功能微孔板检测仪, 美国 Biotek Instrument 公司; Check Point II 便携式残氧仪, 丹麦 Dansensor 公司; 2010 型气相色谱仪, 日本岛津公司; TA.XT.Plus 质构仪, 英国 SMS 公司; CM-700d 色差仪, 日本柯尼卡美能达; KF-568 电子称, 中国凯丰集团; 3-30K 离心机, 德国 SIGMA 公司; 恒温水浴锅, 金坛市金南仪器制造有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 处理

蓝莓经过阶段预冷 (3.5~4.5 °C 条件下预冷 6~10 h, -1.6~-1.2 °C 温度下驯化 6~8 h) 后直接装入气调箱中做如下处理。A 组: 供试蓝莓果实装于气调箱内 (2.4 kg/箱), 不粘贴气调元件, 记作 CK; B 组: 供试蓝莓果实装于便携式塑料气调箱内 (2.4 kg/箱), 扣盖并粘贴气调元件, 记作 MAP; C 组: 供试蓝莓果实装于便携式塑料气调箱内 (2.4 kg/箱), 放入 1-MCP 药品 (空间 1-MCP 浓度 1.0 $\mu\text{L/L}$), 扣盖并粘贴封闭气调元件, 处理 24 h 后, 打开封闭气调元件, 记作 1-MCP; D 组: 供试蓝莓果实装于便携式塑料气调箱内 (2.4 kg/箱), 放入 1-MCP 药品 (空间 1-MCP 浓度 1.0 $\mu\text{L/L}$), 扣盖并粘贴气调元件, 记作 MAP+1-MCP。然后, 通过顺丰冷链物流车运至实验室并放入冰温库 (-0.5±0.3 °C), 预冷 24 h 后贮藏 30 d。然后将四组处理蓝莓从冰温库取出, 挑选完好成熟的蓝莓装入货架零售盒内置于 4 °C 冰箱内。分别在贮藏的第 0、3、6、9、12 d 时取样, 进行相关指标的测定。

1.2.2 品质指标的测定

可溶性固形物采用便携式手持折光仪测定^[20], 打

浆后取匀浆用4层纱布过滤,取滤液0.2 mL直接测定,每个处理重复6次,取平均值;可滴定酸含量采用自动电位滴定仪测定^[21];Vc含量采用钼蓝比色法测定^[22]。花色苷含量采用pH示差法^[23]测定。

1.2.3 生理指标的测定

呼吸强度采用静置法测定^[24],将3个果实置于固定容器内,密闭2 h后用气体成分测定仪测定积累的CO₂的量,以每千克蓝莓试材鲜质量每小时所累积释放的CO₂的含量计;乙烯生成速率采用气相色谱仪法^[25],每次将3个果实置于固定容器内,室温下密闭2 h后取样20 mL,用岛津2010气相色谱仪程序升温法测定乙烯含量。采用面积外标法计算,标样浓度为50 $\mu\text{L/L}$,每个处理重复3次。

1.2.4 硬度的测定

采用物性测定仪测定。在测定平台上,果蒂朝右侧,用刀片去掉0.5 mm厚果皮,然后测定果肉硬度。测试参数为:穿刺用直径为2 mm的探头,测前速度2 mm/s,测中速度1 mm/s,测试距离2 mm,测后速度2 mm/s,每个处理随机测定10次,结果取平均值。

1.2.5 色泽的测定

采用手持分光测色计测定,L、a、b值,每个处理选取10颗蓝莓果实,每颗蓝莓在阴阳面各测定1次,共测定20次。明度L值由大到小表示亮度从白到黑渐变,色度a、b值由正负分别表示颜色由红向绿、由黄向蓝渐变。用 ΔE 表示果实颜色变化程度($\Delta E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2}$,值越大代表颜色变化程度越大)。

1.3 统计分析

实验中所有数据通过Excel 2010软件作图,DPS 9.5软件进行差异显著性分析、SPSS 22.0进行主成分得分分析以及SIMCA 14.1进行主成分分析(PCA)、聚类分析(HCA)、最小偏二乘分析(OPLS-DA)。

2 结果与分析

2.1 不同处理方式对蓝莓基础指标的影响

由表1可以看出,随着货架时间的延长,可溶性固形物(TSS)含量基本呈下降的趋势,原因可能为可溶性固形物会作为呼吸底物在糖酵解过程导致还原性糖类被分解成丙酮酸而逐渐被消耗^[26],从而使可溶性固形物含量下降。CK组、MAP组、1-MCP组和MAP+1-MCP联合处理在货架0 d至12 d期间的可溶性固形物含量分别下降了2.77%、2.35%、2.53%和1.23%,因此可以看出蓝莓果实经处理后果实TSS含量变化相对较小,可以保持果实TSS含量的稳定,保

持果实成熟衰老期的稳定,且MAP+1-MCP联合处理的效果最佳。果实中可滴定酸含量也呈现了同TSS的变化趋势,货架12 d与0 d相比,CK组下降了52%,MAP组下降了44%,1-MCP组下降了41%,MAP+1-MCP组仅下降34.6%,这表明MAP+1-MCP能够对维持蓝莓果实的酸度具有很好的效果。果实中Vc含量随着货架时间的延长逐渐降低,MAP组、1-MCP组和MAP+1-MCP组分别下降了18.28%、14.32%和13.90%,均低于对照组的20.20%,其中MAP+1-MCP处理组在低于其他三组的下降速率,与另外3组Vc含量变化差异显著($p < 0.05$)。而花色苷的含量变化则与上述指标呈现不同的趋势,随着货架时间的延长,花色苷的含量总体呈先上升后平稳趋势,原因可能为花色苷的合成速度加快且大于分解速度,导致其含量增加;贮藏后期,花色苷的分解速度接近于合成速度,又导致花色苷含量趋于平稳^[27],其中MAP+1-MCP组在货架12 d时与0 d相比上升了13.9%,最终在12 d时达到了87.51 mg/100 g,高于其他三组,且变化差异显著($p < 0.05$),表明MAP+1-MCP联合处理可以增加蓝莓果实中的花色苷含量。

从果实的生理指标来看,在货架12 d时各组的呼吸强度均达到最大值,其中CK组在12 d时呼吸强度达到了120.99 mg CO₂/(kg·h),1-MCP组和MAP+1-MCP组的呼吸强度分别为105.46 mg CO₂/(kg·h)和104.88 mg CO₂/(kg·h),说明1-MCP可以降低蓝莓果实的呼吸强度,且MAP+1-MCP结合处理组要稍好于1-MCP组。蓝莓属于非呼吸跃变型果实,由表1可以看出,随着货架时间的延长,乙烯生成速率逐渐上升。其中CK组在货架12 d时的乙烯生成速率达到了46.44 $\mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$,货架12 d时MAP组、1-MCP组、MAP+1-MCP组的乙烯生成速率均要小于CK组,分别为43.89 $\mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 、33.59 $\mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 、33.31 $\mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$ 。其中1-MCP组和MAP+1-MCP组对乙烯生成速率的影响要优于MAP组,这是由于1-MCP是乙烯受体抑制剂,其以不可逆的方式与乙烯受体蛋白结合,阻断乙烯与受体结合,抑制果实的乙烯生成。其中对于1-MCP组和MAP+1-MCP组两组处理来看,MAP与1-MCP联合处理的效果要比单独使用1-MCP要稍好一些,但效果并不显著($p > 0.05$)。

硬度的高低是评价蓝莓果实品质高低的一个重要指标。由表1可以看出,随着货架时间的延长,不同处理方式的果实硬度均呈下降的趋势。在货架12 d时,MAP组、1-MCP组和MAP+1-MCP组的硬度分别为857.61 g、891.74 g和897.75 g,分别高于对照组7.94%、12.23%和12.99%。其中随着货架时间的延长,

经MAP+1-MCP联合处理的蓝莓果实的硬度较单独使用MAP和1-MCP处理的蓝莓果实硬度更高,说明

MAP+1-MCP联合处理对延缓蓝莓果实硬度的降低有着更好的效果。

表1 货架期间不同处理方式对蓝莓品质指标、生理指标、硬度的影响

Table 1 Effects of different treatments on blueberry quality index, physiological index and hardness during shelf life

指标	处理	货架时间/d				
		0	3	6	9	12
可溶性固形物/%	CK	12.27±0.15 ^{cA}	12.18±0.13 ^{cAB}	12.10±0.13 ^{cAB}	12.02±0.14 ^{bAB}	11.93±0.08 ^{cB}
	MAP	12.73±0.13 ^{bA}	12.68±0.15 ^{bA}	12.63±0.10 ^{bA}	12.58±0.11 ^{aA}	12.53±0.17 ^{bA}
	1-MCP	13.03±0.08 ^{aA}	12.95±0.05 ^{aAB}	12.87±0.05 ^{aAB}	12.78±0.13 ^{aBC}	12.70±0.11 ^{abC}
	MAP+1-MCP	13.00±0.09 ^{aA}	12.96±0.12 ^{aA}	12.92±0.08 ^{aA}	12.88±0.25 ^{aA}	12.84±0.07 ^{aA}
可滴定酸/%	CK	1.19±0.12 ^{aA}	0.93±0.04 ^{aB}	0.88±0.19 ^{aB}	0.74±0.11 ^{aBC}	0.57±0.12 ^{bC}
	MAP	1.28±0.27 ^{aA}	1.09±0.14 ^{aAB}	1.03±0.14 ^{aAB}	0.87±0.23 ^{aB}	0.72±0.13 ^{abB}
	1-MCP	1.13±0.08 ^{aA}	1.00±0.31 ^{aB}	0.91±0.05 ^{aB}	0.81±0.18 ^{aC}	0.67±0.13 ^{abD}
	MAP+1-MCP	1.30±0.22 ^{aA}	1.11±0.11 ^{aAB}	1.04±0.20 ^{aAB}	0.93±0.11 ^{aD}	0.85±0.03 ^{aE}
Vc/(mg/100 g)	CK	37.67±0.17 ^{cA}	35.52±0.17 ^{cB}	34.37±0.15 ^{dC}	32.22±0.37 ^{dD}	30.06±0.23 ^{dE}
	MAP	39.65±0.11 ^{bA}	37.83±0.57 ^{bAB}	36.02±0.17 ^{cC}	34.21±0.17 ^{cD}	32.40±0.53 ^{cE}
	1-MCP	39.53±0.32 ^{bA}	38.11±0.11 ^{bAB}	36.7±0.14 ^{bC}	35.29±0.01 ^{bD}	33.87±0.74 ^{bE}
	MAP+1-MCP	41.38±0.37 ^{aA}	40.69±0.00 ^{aA}	39.00±0.57 ^{aB}	37.30±0.20 ^{aC}	35.61±0.53 ^{aD}
花色苷/(mg/100 g)	CK	65.22±0.64 ^{bB}	67.64±1.06 ^{cAB}	70.07±0.85 ^{dAB}	71.50±0.64 ^{dA}	72.93±0.21 ^{bA}
	MAP	75.49±0.42 ^{abD}	77.81±2.56 ^{bCD}	80.12±0.21 ^{cBC}	82.44±0.01 ^{cB}	82.75±1.07 ^{aA}
	1-MCP	75.67±1.07 ^{aA}	80.69±0.42 ^{aB}	82.19±0.21 ^{bB}	84.10±0.64 ^{bA}	84.83±2.99 ^{aA}
	MAP+1-MCP	76.77±3.00 ^{aB}	80.22±0.21 ^{aAB}	84.02±0.42 ^{aB}	87.84±1.93 ^{aA}	87.51±2.35 ^{aAB}
呼吸强度/[mg CO ₂ /(kg·h)]	CK	82.18±12.29 ^{aD}	89.70±3.03 ^{aC}	102.09±4.38 ^{aB}	118.15±1.45 ^{aA}	120.99±5.17 ^{aA}
	MAP	80.55±7.78 ^{aB}	85.50±4.37 ^{aB}	98.00±3.44 ^{aA}	114.62±1.47 ^{aA}	119.64±6.27 ^{aA}
	1-MCP	71.64±4.86 ^{abC}	77.33±2.81 ^{bBC}	93.56±18.56 ^{bAB}	99.2±9.78 ^{bA}	105.46±8.96 ^{bA}
	MAP+1-MCP	74.51±1.20 ^{abC}	80.36±5.38 ^{abC}	91.19±2.25 ^{bB}	101.09±2.47 ^{bA}	104.88±2.73 ^{bA}
乙烯生成速率/[μL/(kg·h)]	CK	17.77±1.80 ^{aC}	33.27±6.98 ^{aB}	34.23±5.14 ^{aB}	39.41±0.86 ^{aAB}	46.44±0.97 ^{aA}
	MAP	20.03±3.41 ^{aE}	29.66±2.30 ^{abD}	32.94±0.22 ^{aC}	38.11±1.10 ^{aB}	43.89±1.43 ^{aA}
	1-MCP	18.96±12.91 ^{aA}	21.79±10.85 ^{abA}	23.64±3.66 ^{bA}	26.82±1.07 ^{bA}	33.59±0.29 ^{bA}
	MAP+1-MCP	16.60±6.61 ^{aB}	19.77±3.64 ^{bB}	22.35±8.61 ^{bB}	25.52±0.67 ^{bAB}	33.31±0.99 ^{bA}
硬度/g	CK	804.34±86.37 ^{aA}	801.89±86.98 ^{bA}	799.43±126.86 ^{aA}	796.98±24.79 ^{aA}	794.53±111.29 ^{aA}
	MAP	928.97±44.99 ^{aA}	911.13±62.78 ^{aA}	893.29±56.69 ^{aA}	875.45±95.59 ^{aA}	857.61±132.69 ^{aA}
	1-MCP	907.77±96.28 ^{aA}	903.77±78.05 ^{aA}	899.76±47.14 ^{aA}	895.75±31.36 ^{aA}	891.74±118.13 ^{aA}
	MAP+1-MCP	928.39±65.13 ^{aA}	920.73±75.49 ^{aA}	913.07±40.43 ^{aA}	905.41±21.05 ^{aA}	897.75±82.13 ^{aA}

注: 不同的小写字母表示每一列每个指标的显著性差异 ($p<0.05$); 不同的大写字母表示每一行的显著性差异 ($p<0.05$)。

表2显示的是蓝莓经不同处理后果实在货架期的色泽值。可以看出,随着货架时间的延长,果实L值逐渐降低,但差异不显著($p>0.05$)。果实L值降低可能是因为随着货架时间的延长,果实越发成熟,蓝莓类花色苷含量增高,从而使蓝莓表面明暗发生变化。a、b值由正向负分别表示颜色由红向绿、由黄向蓝渐变,由于蓝莓果实本身颜色较深,因此各处理间a、b值变化不显著($p>0.05$)。ΔE是利用蓝莓果实的L、a、b值计算出的蓝莓果实的总色差,ΔE数值越大,

说明蓝莓果实之间的色差越大。CK组、MAP组和1-MCP组的果实ΔE呈现缓慢上升的趋势,而MAP+1-MCP组则总体呈现下降的趋势,这表明MAP+1-MCP联用可以抑制蓝莓表皮颜色的变化,但由于蓝莓果实本身颜色较深,变化结果不显著($p>0.05$)。ΔE可以代表L、a、b值来从总体上说明不同处理的蓝莓果实在货架期间的颜色变化,故以下用ΔE作为评定指标。

表 2 货架期间不同处理方式对蓝莓色泽的影响

Table 2 Effects of different treatments on the color of blueberry during shelf life

指标	处理	货架时间/d				
		0	3	6	9	12
L	CK	28.42±3.68 ^{aa}	29.50±4.33 ^{aa}	28.41±3.74 ^{aa}	28.25±3.17 ^{aa}	27.93±2.98 ^{aa}
	MAP	30.7±3.93 ^{aa}	30.38±4.41 ^{aa}	30.44±3.93 ^{aa}	30.04±4.08 ^{aa}	29.34±3.10 ^{aa}
	1-MCP	30.13±3.55 ^{aa}	30.55±3.33 ^{aa}	29.52±3.55 ^{aa}	29.42±3.60 ^{aa}	29.19±3.55 ^{aa}
	MAP+1-MCP	32.82±4.47 ^{aa}	31.09±4.75 ^{aa}	30.35±4.47 ^{aa}	29.07±3.15 ^{aa}	30.56±3.07 ^{aa}
a	CK	-0.32±0.24 ^{aa}	-0.38±0.21 ^{aa}	-0.28±0.17 ^{aa}	-0.29±0.22 ^{aa}	-0.29±0.13 ^{ba}
	MAP	-0.28±0.27 ^{aa}	-0.34±0.16 ^{aa}	-0.38±0.45 ^{aa}	-0.37±0.14 ^{aa}	-0.33±0.15 ^{aa}
	1-MCP	-0.28±0.20 ^{aa}	-0.47±0.24 ^{aa}	-0.23±0.28 ^{aa}	-0.36±0.17 ^{aa}	-0.33±0.20 ^{aa}
	MAP+1-MCP	-0.41±0.14 ^{aa}	-0.31±0.25 ^{aaB}	-0.24±0.21 ^{aa}	-0.33±0.15 ^{aa}	-0.35±0.23 ^{aa}
b	CK	-4.84±1.53 ^{aa}	-5.22±1.49 ^{aa}	-5.45±1.76 ^{aa}	-5.04±1.39 ^{aa}	-6.29±1.14 ^{aa}
	MAP	-6.09±1.58 ^{aa}	-5.73±1.62 ^{aa}	-6.1±1.65 ^{aa}	-5.65±1.44 ^{aa}	-6.24±1.25 ^{aa}
	1-MCP	-5.43±2.13 ^{abA}	-5.62±1.07 ^{aa}	-5.47±1.92 ^{aa}	-5.71±1.43 ^{aa}	-5.95±1.48 ^{aa}
	MAP+1-MCP	-6.82±1.52 ^{aa}	-5.46±2.09 ^{aa}	-5.78±2.00 ^{aa}	-5.17±1.26 ^{aa}	-6.21±1.13 ^{aa}
ΔE	CK	28.83±3.99 ^{aa}	29.96±4.03 ^{aa}	28.93±4.67 ^{aa}	28.69±3.46 ^{aa}	31.57±3.19 ^{aa}
	MAP	31.30±3.98 ^{aa}	30.92±4.25 ^{aa}	31.05±4.71 ^{aa}	30.56±4.32 ^{aa}	31.96±3.34 ^{aa}
	1-MCP	30.62±5.17 ^{aa}	31.07±3.72 ^{aa}	30.02±3.57 ^{aa}	29.97±3.87 ^{aa}	30.78±3.85 ^{aa}
	MAP+1-MCP	33.52±3.69 ^{aa}	31.57±4.94 ^{aa}	30.89±3.39 ^{aa}	29.53±3.09 ^{aa}	30.19±3.28 ^{aa}

注：不同的小写字母表示每一列每个指标的显著性差异 ($p<0.05$)；不同的大写字母表示每一行的显著性差异 ($p<0.05$)。

以上数据分析表明，随着货架时间的延长，本文中蓝莓果实中的可溶性固形物含量基本呈降低的趋势，且 Vc 含量和可滴定酸含量也呈现该趋势。蓝莓果实的呼吸强度和乙烯生成速率在使用 1-MCP 处理与未使用 1-MCP 处理的处理组之间差异显著 ($p<0.05$)。在货架期蓝莓果实色泽变化较小，因为实验果实本身颜色较深，色泽差别较小。花色苷的含量总体呈先上升后平稳趋势。从硬度指标看，经过处理的蓝莓硬度高于未经过处理的蓝莓果实，而在经过处理的 3 组处理看，MAP+1-MCP 结合处理后果实硬度要高于单独使用 MAP 和单独使用 1-MCP 处理果实的处理组，结果表明二者联合使用对蓝莓硬度的影响更大。有学者^[28]利用 1-MCP 和 UV-C 辐射两种方法在 4 °C 条件下对蓝莓进行处理，研究表明这两种方法均可以在 8 d 的货架期内使蓝莓的花色苷含量与对照组相比有明显的上升，且变化显著 ($p<0.05$)，1-MCP 对蓝莓硬度有维持效果，但不显著 ($p>0.05$)，UV-C 辐射则对蓝莓硬度无影响。曹森等^[29]经研究发现利用 1-MCP+乙烯吸附剂能够显著延缓了果实的硬度的下降，降低了果实的呼吸强度和乙烯生成速率，保持了更好的营养品质，且 0.8 $\mu\text{L/L}$ 浓度的 1-MCP+乙烯吸附剂为最佳处理。刘萌^[27]研究表明，在 (0.5±0.5) °C 下，MAP 处理能够保持较高的 Vc 含量、可滴定酸含量，使果实具有较高的硬度，延缓果实衰老，延长蓝

莓果实的货架期。郭丹等^[30]利用 MAP 对‘北陆’、‘伯克利’两种蓝莓进行果实贮藏期及贮藏后货架 5 d 后果实品质生理变化规律分析，研究发现 MAP 处理能有效延缓果实腐烂，维持果实货架及贮藏品质。以上均证实了 1-MCP 及 MAP 对蓝莓的贮藏保鲜有积极的作用。本试验采用 MAP+1-MCP 联合处理技术，证实了两种技术联用的效果要优于单独使用其中一种处理的效果，提高了蓝莓果实的货架品质，为果蔬的保鲜贮藏提供了生产和理论指导。

2.2 PCA 法综合评价蓝莓品质

利用测得的可溶性固形物含量、可滴定酸、Vc 含量、花色苷含量、呼吸强度、乙烯生成速率、硬度、 ΔE 作为不同维度做 PCA 分析，自动拟合出 2 个主成分，如表 3 所示。

表 3 主成分的特征值及贡献率

Table 3 Principal component eigenvalue and contribution rate

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	4.84	60.5	60.5
2	1.99	24.9	85.4

由表 3 可以看出，用主成分分析法可以提取出 2 个主成分，包含的信息量占总信息量的 85.4%，且可以充分反映原始数据的主要信息。以每个因子得分 FAC1、FAC2 所对应的特征值为权数，与该因子得分

相乘可得主成分得分, 计算公式为 $F1 = FAC1 \times \sqrt{4.84}$ 、 $F2 = FAC2 \times \sqrt{1.99}$, 又根据主成分得分计算相关性综合得分, 本文称之为 F, 计算公式为 $F = (F1 \times 60.5 + F2 \times 24.9) / 85.4$, 由此计算出货架期间 3 种处理方式与蓝莓的理化指标综合相关性的相对程度。综合得分越高, 说明该种处理方式所得的果实品

质越高, 排名越高; 反之则越低。由表 4 可以得出, MAP+1-MCP 处理方式的平均综合得分最高, 1-MCP 组和 MAP 组次之, CK 组最差, 说明 1-MCP 和 MAP 处理对蓝莓货架贮藏均有一定的效果, 且二者联合使用效果最佳。

表 4 主成分得分表

Table 4 Principal component scores

处理	货架时间	FAC1	FAC2	F1	F2	F	F 平均	排名
CK	0 d	-0.307	-2.701	-0.676	-3.810	-1.590	-1.817	4
	3 d	-0.889	-1.376	-1.956	-1.941	-1.951		
	6 d	-1.298	-1.117	-2.856	-1.576	-2.483		
	9 d	-1.792	-0.404	-3.943	-0.570	-2.960		
	12 d	-1.826	0.435	-4.017	0.613	-2.667		
MAP	0 d	0.972	-0.781	2.137	-1.102	1.193	0.484	3
	3 d	0.437	-0.218	0.961	-0.308	0.591		
	6 d	-0.007	0.516	-0.016	0.728	0.201		
	9 d	-0.467	0.905	-1.028	1.276	-0.356		
	12 d	-0.681	1.503	-1.498	2.121	-0.443		
1-MCP	0 d	1.049	-0.531	2.308	-0.749	1.416	0.699	2
	3 d	0.715	-0.225	1.573	-0.317	1.022		
	6 d	0.259	0.103	0.569	0.146	0.446		
	9 d	-0.090	0.721	-0.197	1.017	0.157		
	12 d	-0.285	1.091	-0.627	1.539	0.005		
MAP+1-MCP	0 d	1.972	-0.215	4.338	-0.304	2.985	1.755	1
	3 d	1.371	-0.051	3.015	-0.072	2.115		
	6 d	0.691	0.499	1.520	0.704	1.282		
	9 d	0.228	0.646	0.501	0.911	0.621		
	12 d	-0.050	1.202	-0.110	1.695	0.416		

2.3 PCA、HCA 和 OPLS-DA 法对货架蓝莓理化指标相似性分析

本文尝试使用主成分分析 (PCA)、层次聚类分析 (HCA) 和正交偏最小二乘判别分析 (OPLS-DA), 以更全面的方式分析蓝莓理化指标与处理方式间的关系, 以探索其间的相对变异性。

对实验数据进行主成分分析 (PCA) 能够提高对蓝莓品质评价的准确性和方便性。图 1-a 显示了四种处理方式的得分图, 得到主成分总贡献率为 85.4%, 由图 1a 可见 MAP、1-MCP、MAP+1-MCP 三组处理和 CK 组有着明显的区分, 且 MAP+1-MCP 组还与其他组沿着 PC2 明显区分, MAP+1-MCP 组较其他组在第一贡献率上大, 说明 MAP+1-MCP 组的理化指标与其他组别区分较为明显。图 1b 为蓝莓理化指标的载荷

图, 与得分图结合来看, 在相同位置, 则该种处理与蓝莓理化指标相关性越强, 反之, 则越低。由图可以看出, CK 组与呼吸强度、乙烯生成速率相关性较高, MAP+1-MCP 组与花色苷、硬度、Vc、可滴定酸、可溶性固形物和 ΔE 相关性较高。

与 PCA 相比, HCA 允许以直观的图形方式解释结果。根据理化指标的分布, 可以判定不同处理的聚类分析之间的特异性, HCA 显示 2 个明显的分组, 1 组 (CK 组) 和 2 组 (MAP 组、1-MCP 组、MAP+1-MCP 组), 同时 MAP 组处理与 1-MCP 组、MAP+1-MCP 组处理之间也有一个区分。形成该区分方式可以解释为 MAP 组、1-MCP 组、MAP+1-MCP 组三种处理方式处理果实后, 从蓝莓的质地、营养角度或保鲜期来看, 都要比 CK 组要好, 且三种处理中 MAP+1-MCP 组处理要优于 MAP、1-MCP 两组。

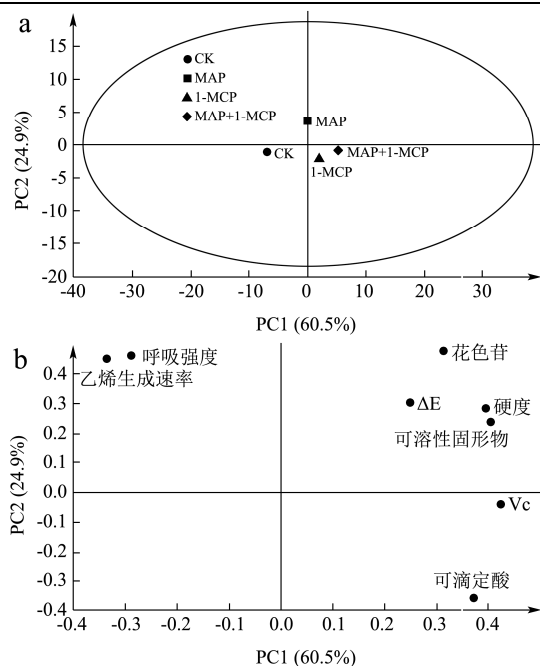


图1 不同处理方式的PCA得分图(a)和载荷图(b)

Fig.1 PCA (a) score diagram and (b) load diagram of different treatment methods

接下来以MAP+1-MCP组与其他三组处理对比进行OPLS-DA分析,根据VIP值大于1,可将4组处理方式的差异指标确定为花色苷和硬度,与表1结果相同。花色苷成为特征指标的主要原因可能是,经过MAP+1-MCP联合处理能够抑制蓝莓果实对花色苷的分解,导致花色苷的产生速度要大于分解速度,因此花色苷的含量稍有上升;硬度成为特征指标的主要原因可能是,经过MAP+1-MCP联合处理能够使蓝莓中的抗氧化物质较好的维持,抑制了细胞内相关软化酶的活性,有效地延缓了蓝莓果实软化的状态,因此其硬度下降速度较其他三组相比缓慢,使MAP+1-MCP处理组与其他3组处理分开,进而说明MAP+1-MCP联合处理具有更佳的维持果实品质的作用(图3)。马超等^[31]通过对4个不同处理蓝莓鲜果的9个生理及营养指标进行主成分分析,拟合出两个主成分,综合贡献率达到89.69%,说明这2个主成分能够准确、客观地表明样品的相似关系。并且筛选出决定蓝莓果实品质的主要指标为硬度、花色苷。刘丙花等^[32]采用主成分分析和相关性分析相结合的方法对22个蓝莓品种的10个质地参数进行了综合评价,筛选出综合评价蓝莓质地品质的3个核心参数为:果实硬度、果皮脆性和果实回复性。本文对蓝莓的基础指标进行主成分分析,有效的提取出两个主成分,累计方差贡献率为

85.4%,能够代表蓝莓8个理化指标的大部分信息。然后用2个主成分对蓝莓理化指标进行综合评价,建立综合评价函数,由因子得分计算出主成分得分及综合得分,根据评价模型得出4种处理方式中MAP+1-MCP组的理化指标综合得分最高。又将货架的3种处理方式进行主成分分析及偏最小二乘法判别分析,得出处理间的差异性指标花色苷和硬度。因此可以看出用PCA、HCA、OPLS-DA分析法处理数据,可以较快得出数据间的关系。

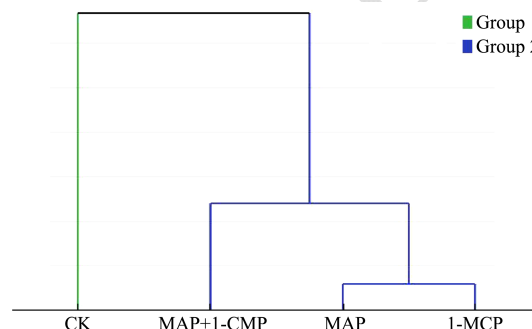


图2 不同处理方式的HCA树状图

Fig.2 Dendrogram of different processing methods by HCA

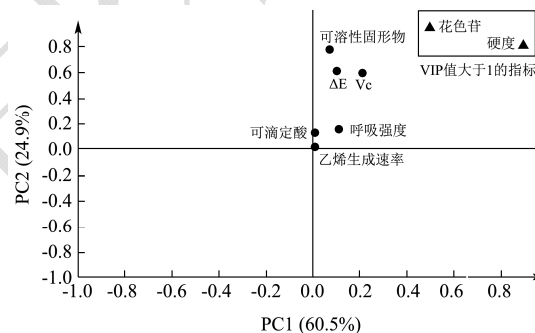


图3 MAP+1-MCP组处理与其他三组处理相比的OPLS-DA的S-Plot

Fig.3 The MAP+1-MCP group processes the S-Plot map of OPLS-DA compared to the other three sets of processing

2.4 不同处理的保鲜效果图

图4为货架12d时4组处理的感官图片,从图4中可以看出,未经过处理的CK组蓝莓果实表面果霜已经严重脱落,并且开始出现腐烂的现象,MAP组和1-MCP组处理的表面果霜覆盖率与货架0d时相比也有了很大程度的下降,并且表面均出现皱缩,而MAP+1-MCP组则保持了较好的果霜覆盖率,并且在硬度上也要优于其他三组。保鲜效果图片呈现出的结果与以上分析结果相佐证。

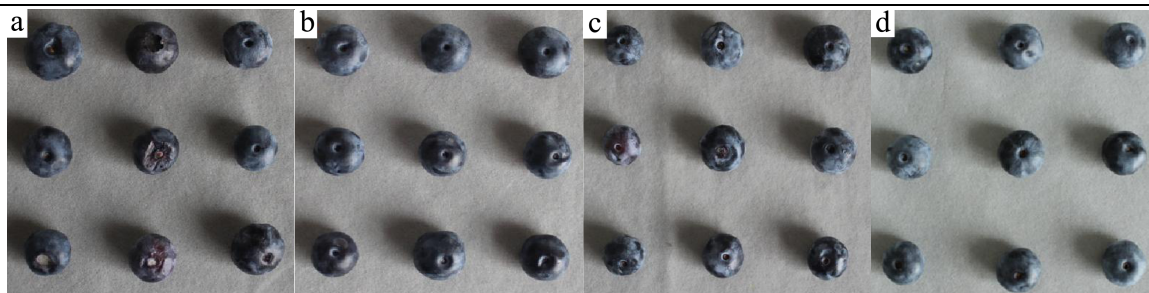


图4 不同处理蓝莓货架12 d时保鲜效果图

Fig.4 Fresh-keeping effect of blueberry shelf at 12 d with different treatments

注: a 代表 CK 处理, b 代表 MAP 处理, c 代表 1-MCP 处理, d 代表 MAP+1-MCP 处理。

3 结论

本文对蓝莓实的品质指标、生理指标、硬度、色泽进行综合评价可以判断出 MAP+1-MCP 处理蓝莓果实的综合指标评分最高, 根据评价模型得出蓝莓果实的 4 个处理组的综合品质得分从高到低排列顺序为 MAP+1-MCP>1-MCP>MAP>CK。若从品质和生理角度分析, 根据货架的指标进行主成分分析得出三个处理组与对照组明显区分, 且 MAP+1-MCP 处理组与其他两个处理组也有明显的区分, 3 种处理方式的差异指标为花色苷和硬度。各组处理对蓝莓果实的色泽影响则不显著。综上所述, 利用 MAP 和 1-MCP 对蓝莓果实进行处理均能够延缓蓝莓果实在货架期的品质下降, 且将二者联合使用效果更佳。

参考文献

- [1] Dong X Y, Yang Y L. A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure [J]. Food and Bioprocess Technology, 2019, 12(8): 1409-1421
- [2] 段宇, 张萌萌, 曲文颖, 等. 不同采收期对蓝莓抗氧化物质的影响[J]. 中国林副特产, 2013, 2: 7-9
DUAN Yu, ZHANG Meng-meng, QU Wen-ying, et al. The influence of the antioxidant substances in blueberry during different harvest time [J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2013, 2: 7-9
- [3] 李斌, 谢旭, 孙希云, 等. 国内外蓝莓加工技术与功能性成分研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(5): 16-22
LI Bin, XIE Xu, SUN Xi-yun, et al. Research progress on blueberry processing technology and functional components in domestic and abroad [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(5): 16-22
- [4] 李殿鑫, 戴远威, 陈伟, 等. 蓝莓的营养价值及保健功能研究进展[J]. 农产品加工, 2018, 4: 69-70, 74
LI Dian-xin, DAI Yuan-wei, CHEN Wei, et al. Research progress on nutritional value and health function of blueberry [J]. Farm Products Processing, 2018, 4: 69-70, 74
- [5] Norberto S, Silva S, Meireles M, et al. Blueberry anthocyanins in health promotion: A metabolic overview [J]. Journal of Functional Foods, 2013, 5(4): 1518-1528
- [6] 李斌, 雷月, 孟宪军, 等. 蓝莓营养保健功能及其活性成分提取技术研究进展[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 251-254
LI Bin, LEI Yue, MENG Xian-jun, et al. Progress on functionality of blueberry and extracting technology for its active ingredient [J]. Food & Machinery, 2015, 31(6): 251-254
- [7] 姬亚茹, 胡文忠, 廖嘉, 等. 蓝莓采后生理病理与保鲜技术的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 263-269
JI Ya-ru, HU Wen-zhong, LIAO Jia. Research progress on postharvest physiology and pathology of blueberry and preservation technology [J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(18): 263-269
- [8] 张鹏, 朱文月, 李江阔, 等. 微环境气体调控在果蔬保鲜中的研究进展[J]. 包装工程, 2020, 41(1): 1-10
ZHANG Peng, ZHU Wen-yue, LI Jiang-kuo, et al. Research progress of microenvironment gas regulation in preservation of fruits and vegetables [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(1): 1-10
- [9] Giuggioli N, Girgenti V, Baudino C, et al. Prediction models for the softening of new commercial *Actinidia* cultivars [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(6): 129-136
- [10] Schotsmans W, MacKay A. Controlled atmosphere storage of rabbiteye blueberries enhances postharvest quality aspects [J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 44(3): 277-285
- [11] 王玉玲, 高继鑫, 张新富, 等. 1-MCP 处理对蓝莓冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(10): 132-136
WANG Yu-ling, GAO Ji-xin, ZHANG Xin-fu, et al. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on the blueberry fruit quality during cold storage [J]. Food Research and

- Development, 2015, 36(10): 132-136
- [12] 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, 321
- JI Ning, WANG Rui, CAO Sen, et al. The effect of “1-MCP treatment + cold storage agent + insulation package” to simulated transportation of the fresh blueberry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(8): 311-315, 321
- [13] 曹森,马超,龙晓波,等.1-MCP 结合乙烯吸附剂对蓝莓贮藏品质及生理的影响[J].食品工业科技,2017,38(19):265-271
- CAO Sen, MA Chao, LONG Xiao-bo, et al. Effect of 1-MCP coupling with ethylene adsorbent treatment on storage quality and physiological of blueberry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(19): 265-271
- [14] Vanesa G, Noelia R, Maria E, et al. Principal component analysis (PCA) and multiple linear regression (MLR) statistical tools to evaluate the effect of E-beam irradiation on ready-to-eat food [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2011, 24(3): 456-464
- [15] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,等.基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J].农业工程学报,2014,30(13):276-285
- GONG Li-yan, MENG Xian-jun, LIU Nai-qiao, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2014, 30(13): 276-285
- [16] 姜太玲,刘光华,周迎春,等.不同品种木薯的主要品质特征与综合评价[J].食品工业科技,2019,40(20):251-255,261
- JIANG Tai-ling, LIU Guang-hua, ZHOU Ying-chun, et al. Main quality characteristics and comprehensive evaluation of different varieties of cassava [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(20): 251-255, 261
- [17] Chen Lin, Wu Ji-en, Li Zhan-ming, et al. Metabolomic analysis of energy regulated germination and sprouting of organic mung bean (*Vigna radiata*) using NMR spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2019, 286: 87-89
- [18] Uarrota V, Moresco R, Bianca Coelho, et al. Metabolomics combined with chemometric tools (PCA, HCA, PLS-DA and SVM) for screening cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots during postharvest physiological deterioration [J]. Food Chemistry, 2014, 161: 67-78
- [19] Cebi N, Dogan C, Develioglu A, et al. Detection of l-cysteine in wheat flour by Raman microspectroscopy combined chemometrics of HCA and PCA [J]. Food Chemistry, 2017, 228: 116-124
- [20] 颜廷才,刘振通,李江阔,等.箱式气调结合 1-MCP 对软枣猕猴桃冷藏期品质及风味物质的影响[J].食品科学,2016, 37(20):253-260
- YAN Ting-cai, LIU Zhen-tong, LI Jiang-kuo, et al. Effect of box-type modified atmosphere packaging combined with 1-mcp on quality and flavor compounds of *Actinidia arguta* during cold storage [J]. Food Science, 2016, 37(20): 253-260
- [21] 李文生,冯晓元,王宝刚,等.应用自动电位滴定仪测定水果中的可滴定酸[J].食品科学,2009,30(4):247-249
- LI Wen-sheng, FENG Xiao-yuan, WANG Bao-gang, et al. Study on determination of titratable acidity in fruits using automatic potentiometric titrator [J]. Food Science, 2009, 30(4): 247-249
- [22] 李玉红.钼蓝比色法测定水果中还原型维生素 C[J].天津化工,2002,1:31-32
- LI Yu-hong. Determination of reduced vitamin C in fruits by molybdenum blue colorimetry [J]. Tianjin Chemical Industry, 2002, 1: 31-32
- [23] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化试验指导[M].中国轻工业出版社,2007,44-46
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guide of post-harvest physiology and biochemistry test of fruits and vegetables [M]. China Light Industry Press, 2007, 44-46
- [24] 朱志强,张平,任朝晖,等.不同包装箱对绿芦笋贮藏效果的影响[J].食品科技,2009,34(9):48-52
- ZHU Zhi-qiang, ZHANG Ping, REN Zhao-hui, et al. Effects of different packing modes on the storage quality of green asparagus [J]. Food Science and Technology, 2009, 34(9): 48-52
- [25] 董长林,李江阔,张鹏,等.磨盘柿果实处理方式与衰老褐变关系探讨[J].食品与发酵工业,2010,36(12):203-208
- DONG Chang-lin, LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, et al. Research on the relationship of the treatment methods and browning of ‘MOPAN’ persimmonin [J]. Food and Fermentation Industries, 2010, 36(12): 203-208
- [26] 刘虹丽,张鹏,李春媛,等.贮运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,2017,17(2):45-53
- LIU Hong-li, ZHANG Peng, LI Chun-yuan, et al. Effects of storage and transportation microenvironment on the shelf quality and aroma components of blueberry [J]. Storage and Process, 2017, 17(2): 45-53