

精准温度控制对蓝莓的低温保鲜效果

薛友林¹, 袁兴铃¹, 张鹏^{2*}, 贾晓昱², 李春媛², 李江阔²

(1. 辽宁大学轻型产业学院, 辽宁沈阳 110036)

(2. 天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 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: 为研究精准温度控制技术在蓝莓保鲜中的应用效果, 该研究采用了对照组和 3 个精准温控组, 分别是将蓝莓装入泡沫箱(control check, CK)、泡沫箱+蓄冷剂(冰温 1)、精准温控箱(冰温 2)和精准温控箱+蓄冷剂(相温)中, 记录箱内温度, 结合贮藏期间蓝莓的品质变化, 通过主成分分析法对四组蓝莓进行综合评价, 以得到最佳精准温度控制的处理方式。结果表明, 冰温贮藏的箱内温度更低, 相温贮藏箱内温度较 CK 波动更小, 贮藏第 60 d 时, 相温组蓝莓的好果率、软果率、风味指数及果霜覆盖指数分别为 79.54%、17.87%、72.22%、76.00%, 色泽变化低于 2, L 值达 27.03, 此外, 精准温度控制贮藏的蓝莓硬度更高, 可溶性固形物、可滴定酸、Vc、花青素等营养物质消耗速度更慢, 其中 CK 组蓝莓贮藏期间 Vc 含量分别比精准温控组多下降了 5.01、9.18、16.67 mg/100 g, 经主成分分析后得到四组蓝莓的品质排序为相温组>冰温 2 组>冰温 1 组>CK 组, 且精准温度控制贮藏的蓝莓醛类、萜类、酯类等有利香气成分相对含量更高。因此, 精准温度控制技术有利于蓝莓的冷藏保鲜, 其中相温贮藏效果更好。

关键词: 蓝莓; 精准温度控制; 保鲜; 挥发性物质

文章编号: 1673-9078(2021)11-185-194

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.11.0239

Effect of Precise Temperature Control on Low-temperature Preservation of Blueberries

XUE Youlin¹, YUAN Xingling¹, ZHANG Peng^{2*}, JIA Xiaoyu², LI Chunyuan², LI Jiangkuo²

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

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

Abstract: In order to study the application potential of precision temperature control technology in the preservation of blueberries, blueberries were divided into a control group and three precision temperature control groups, which were put into a foam box (CK), a foam box + cool-storage agent (ice temperature 1), a precision temperature control box (ice temperature 2), and a precision temperature control box + cool-storage agent (phase temperature). The temperatures inside the boxes were recorded every day, and the quality changes of blueberries were measured during storage. Then the four groups of blueberries were comprehensively evaluated by the principal component analysis method, to obtain the most accurate temperature control processing method. The results showed that the inner temperature of the icestorage boxes was lower, and the inner temperature of the phase temperature storage boxes fluctuated to a lesser extent than that of the control. On the 60th day of storage, the good fruit rate, soft fruit rate, flavor index and fruit frost coverage index of blueberries of the phase temperature group were 79.54%,

引文格式:

薛友林,袁兴铃,张鹏,等.精准温度控制对蓝莓的低温保鲜效果[J].现代食品科技,2021,37(11):185-194,+150

XUE Youlin, YUAN Xingling, ZHANG Peng, et al. Effect of precise temperature control on low-temperature preservation of blueberries [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(11): 185-194, +150

收稿日期: 2021-03-08

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

作者简介: 薛友林(1980-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: xueyoulin@lnu.edu.cn

通讯作者: 张鹏(1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮运保鲜, E-mail: zhangpeng811202@163.com

17.87%, 72.22%, 76.00%, respectively, with their color changes less than 2, and their L values as 27.03. In addition, blueberries stored by the precision temperature control had higher hardness, and lower consumption rates for nutrients such as soluble solids, titratable acid, Vc and anthocyanins. Among which, the Vc content of blueberries of the CK group decreased by 5.01, 9.18 and 16.67 mg/100 g, respectively, compared with those of the ice temperature group 1, ice temperature group 2 and phase temperature group. After principal component analysis, the quality ranking of the four groups of blueberries was: phase temperature group > ice temperature group 2 > ice temperature group 1 > CK group. Moreover, the relative contents of the desirable aroma components (such as aldehydes, terpenoids and esters) of the blueberries stored by precision temperature control were higher. Therefore, precision temperature control technology is beneficial to the cold preservation of blueberries, with the effect of the phase temperature storage being better.

Key words: blueberry; precision temperature control; preservation; volatile substances

蓝莓 (*Vaccinium corymbosum* L.), 杜鹃花科越橘属, 含丰富的花青素及酚酸类化合物等功能性成分, 对肥胖、糖尿病、心血管疾病、癌症和其他慢性疾病均有预防作用^[1]。新鲜蓝莓因其独特的口感、细腻的风味、较高的营养价值以及对人体健康的多种有益作用, 已成为世界上消费最广泛的水果之一。然而, 在机械损伤、采后生理代谢、微生物侵蚀以及水分和营养流失等因素的影响下, 蓝莓易腐易软化, 贮藏期较短^[2], 因此蓝莓的贮藏保鲜技术是限制其产业发展的重要因素之一。

蓄冷剂是通过相变蓄冷技术采用蓄冷材料生产出来的既能高效储存冷量, 又符合各种物理、化学要求的特种物质^[3], 目前已有研究将蓄冷剂应用于蓝莓的模拟运输中, 实验结果显示蓄冷剂的加入可以减少蓝莓运输期间的营养物质损耗, 抑制生理代谢, 从而达到保鲜的目的^[4]。温度是影响果蔬采后贮藏品质的重要因素之一, 基于此控制果蔬贮藏期间的环境温度可有效延长果蔬的贮藏期^[4]。在不同的控温方式中, 低温贮藏是应用最广泛的一种保鲜方式, 而精准温控技术即为基于低温冷藏提出的一种新型保鲜技术, 其包括了冰温贮藏和相温贮藏。冰温贮藏是指将贮藏温度控制在 0 °C 和果蔬冰点之间, 在此温度段内果蔬组织细胞仍保持活性, 但生理代谢将受到抑制, 从而达到保鲜的目的, 目前已有研究将冰温贮藏应用于蓝莓、鲜切山药、草莓、磨盘柿等果蔬中, 具有显著保鲜效果^[6-9]。冰温贮藏相对于普通冷藏而言温度更低, 且温度波动较少, 仅为 0.3 °C^[10], 相温贮藏则是在冰温贮藏的基础上将温度波动对果蔬引起的外界刺激降到最低, 使果蔬在贮藏期间品质更加稳定^[11], 但相温贮藏在蓝莓中的应用尚未见报道。目前冰温库及相温库的运行成本较高, 较难将冰温库和相温库推广运行, 因此本文设计将蓄冷剂或精准温控箱与普通冷藏库相结合营造出冰温贮藏的环境, 将蓄冷剂与精准温控箱同时使用并结合普通冷藏库营造相温贮藏的环境, 并将此种精准温度控制技术应用于蓝莓的贮藏保鲜中, 探

究其对蓝莓贮藏品质和挥发性物质的影响, 期为蓝莓产业发展提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 原料

“北陆”蓝莓, 产自天津市蓟州区蓝莓园区, 采收时果实处于完熟期, 选择大小均匀、无病虫害、无机械损伤的果实作为试验用果。泡沫箱 (600 mm×451 mm×230 mm, 壁厚 30 mm), 四川包工坊电子商务有限公司; 精准温控箱 (规格: 595 mm×400 mm×250 mm, 壁厚 30 mm), 上海佳寰实业有限公司; PET 塑料盒 (105 mm×105 mm×40 mm), 蓝莓园区提供。蓄冷剂, 自制, 装入 16.8 cm×8 cm×2 cm 的冰盒 (材质为高密度聚乙烯) 中冻结使用。

1.2 主要仪器设备

温湿度记录仪 (179-UTH), 艾普瑞 (上海) 精密光电有限公司; 硬度计 (FHT-05), 广州兰泰仪器有限公司; 离心机 (3-30K), 德国 SIGMA 公司; 便携式手持折光仪 (PAL-1), 日本爱宕公司; 电位滴定仪 (916 Ti-Touch), 瑞士万通中国有限公司; 电子称 (KF-568), 中国凯丰集团; 色差计 (CM-700d), 日本柯尼卡美能达公司; 多功能微孔板检测仪 (Synergy H1), 美国 Biotek Instrument 公司; 气相色谱-质谱联用仪及 SPME Fiber 萃取手柄, 美国 Thermo 公司; PDMS/CAR/DVB 萃取头, 北京康林科技有限责任公司。

1.3 实验方法

1.3.1 实验处理

将蓝莓分装于小盒中, 每盒 125 g 果实, 置于泡沫箱或精准温控箱中于冷库 (0±1 °C) 贮藏, 同步放入温湿度记录仪进行温度监测, 分为 CK 组、冰温 1 组、冰温 2 组、相温组。CK 组: 蓝莓置于泡沫箱中; 冰温 1 组: 蓝莓置于泡沫箱中, 加入与果实质量比为

3:8 的蓄冷剂;冰温 2 组:蓝莓置于精准温控箱中;相温组:蓝莓置于精准温控箱中,加入与果实质量比为 3:8 的蓄冷剂。

1.3.2 指标测定方法

每个处理随机称取 400 g 左右果实进行感官调查。每个处理随机选取 30 个果实进行风味评测,分为四个等级,0 级:风味淡或有明显异味;1 级:风味较正常,略有异味;2 级:风味正常,接近采收时的口感;3 级:风味浓,与采收时的口感相当或更好。每个处理取 50 个果实进行果霜覆盖观察,参照朱文月^[6]的方法计算果霜覆盖指数 (%)。

$$\text{好果率}(\%) = \frac{\text{总果质量} - \text{腐烂霉变果质量}}{\text{总果质量}} \times 100\%$$

$$\text{软果率}(\%) = \frac{\text{软果质量}}{\text{总果质量}} \times 100\%$$

$$\text{风味指数}(\%) = \frac{\sum(\text{风味级别} \times \text{该级别果数})}{\text{风味最高级别} \times \text{调查总果数}} \times 100\%$$

可溶性固形物含量采用手持折光仪测定;可滴定酸含量采用电位滴定仪进行测定^[12];Vc 含量采用钼蓝比色法^[13]进行测定;花青素含量采用 pH 示差法^[14]进行测定;果皮色泽采用手持式色差计进行测定;硬度采用硬度计进行测定。

挥发性物质采用 HS-SPME-GC-MS 法测定,将蓝莓打浆后离心 10 min (10000 r/min),取 8 mL 上清液于 15 mL 顶空瓶中,向顶空瓶中加入 2.5 g NaCl,采用有孔盖盖上。采用 Thermo Triplus RSH 自动进样装置进行固相微萃取及进样操作,选用 50/30 μm PDMS/CAR/DVB 萃取头。气相色谱条件:HP-INNOWAX 色谱柱(长 30 m,内径 0.25 mm,液膜厚度 0.25 μm);程序升温:40 °C 保留 2 min,然后以 3 °C/min 升至 140 °C,接着以 8 °C/min 升至 210 °C 并保持 5 min;传输线温度 250 °C,载气为 He,流速为 1.0 mL/min,不分流。质谱条件:连接杆 280 °C,采用电子离子源,离子源 200 °C,扫描范围为 35~350 u。

1.4 数据处理

香气成分结果通过 NIST/Wiley 标准谱库检索,结合文献的标准谱图,进行定性分析,并用峰面积归一法测算各化学成分的相对含量;图表制作通过 Excel 2010 进行;差异显著性分析通过 DPS 7.5 软件 LSD 法进行;主成分得分分析通过 SPSS 25 软件进行。

2 结果与讨论

2.1 贮藏期间不同贮藏环境温度的变化

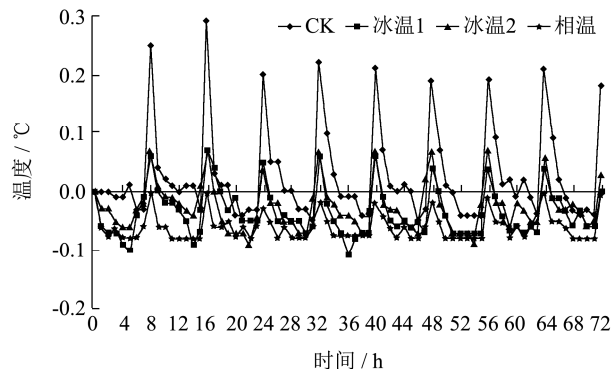


图 1 不同贮藏环境内部温度变化

Fig.1 Change of temperature in different storage environments

图 1 为蓝莓贮藏期间不同贮藏环境的内部温度变化曲线,从曲线中可以看出,冰温组和相温组的温度波动显著弱于 CK 组,且温度更低。在整个贮藏期间 CK 组、冰温 1 组、冰温 2 组和相温组箱内温度分别为 0.10、-0.02、-0.01、-0.04 °C,说明蓄冷剂的加入为箱内引入了冷源,使箱内温度更低,且冷源的存在使外界温度的变化对箱内温度的影响变小;精准温控箱质地紧密,可缓冲外界温度变化对箱内温度的影响,维持箱内低温状态,而精准温控箱中加入蓄冷剂后,双重作用下使得箱内温度控制更加精准。因此,基于冰温贮藏和相温贮藏降低温度及减缓温度波动的理论,蓄冷剂和精准温控箱的使用可有效达到蓝莓贮藏所需的冰温贮藏及相温贮藏环境。

2.2 不同贮藏环境对蓝莓感官的影响

表 1 为四种贮藏环境下蓝莓的感官指标(好果率、软果率、风味指数、果霜覆盖指数)在 60 d 贮藏期内的数据。从表中数据可以看出随着贮藏期的延长,四组蓝莓果实的好果率、风味指数、果霜覆盖指数均呈显著 ($p < 0.05$) 下降趋势,软果率呈现显著 ($p < 0.05$) 上升趋势,表明蓝莓贮藏期间感官品质在下降,但冰温贮藏和相温贮藏的蓝莓感官品质下降较为缓慢,在贮藏第 60 d 时 CK 组蓝莓软果率为 30.69%,而冰温 1 组、冰温 2 组及相温组蓝莓软果率分别为 24.74%、22.61%、17.87%,均显著 ($p < 0.05$) 低于 CK 组,且低于朱文月^[6]气调 (29.37%) 和 1-甲基环丙烯 (28.25%) 处理后贮藏 60 d 的蓝莓的软果率。此外,从表 1 还可以看出贮藏前 30 d 内蓝莓感官品质尚好,四组蓝莓的好果率、风味指数、果霜覆盖指数均在 90% 以上,到第 45 d 时均开始下降至 90% 以下,到第 60 d 时 CK 组果实甚至下降到了 70% 以下,其好果率、风味指数、果霜覆盖指数分别为 67.49%、52.22%、69.00%,比相温组蓝莓的三个指标数值均低了一个数量级,说明冰温贮藏和相温贮藏对于蓝莓贮藏期间感官品质的保持均发挥了有效作用。

表 1 不同贮藏环境下蓝莓感官指标数据

Table 1 Sensory index data of blueberries in different storage environments

指标	处理	贮藏时间/d				
		0	15	30	45	60
好果率/%	CK	100.00±0.00 ^{aA}	94.63±0.04 ^{dB}	91.07±0.05 ^{dC}	75.07±0.04 ^{dD}	67.49±0.01 ^{dE}
	冰温 1	100.00±0.00 ^{aA}	95.92±0.09 ^{cB}	94.59±0.03 ^{cC}	82.48±0.09 ^{cD}	72.71±0.05 ^{cE}
	冰温 2	100.00±0.00 ^{aA}	96.25±0.07 ^{bB}	94.75±0.01 ^{bC}	83.66±0.04 ^{bD}	74.74±0.01 ^{bE}
	相温	100.00±0.00 ^{aA}	97.56±0.01 ^{aB}	96.59±0.05 ^{aC}	87.77±0.04 ^{aD}	79.54±0.05 ^{aE}
软果率/%	CK	0.00±0.00 ^{aE}	8.76±0.02 ^{dD}	10.02±0.05 ^{aC}	25.83±0.29 ^{aB}	30.69±0.25 ^{aA}
	冰温 1	0.00±0.00 ^{aE}	6.92±0.34 ^{bD}	7.92±0.13 ^{bC}	19.91±0.64 ^{bB}	24.74±0.64 ^{bA}
	冰温 2	0.00±0.00 ^{aE}	6.10±0.09 ^{cD}	7.41±0.18 ^{cC}	17.54±0.53 ^{bB}	22.61±0.24 ^{cA}
	相温	0.00±0.00 ^{aE}	2.74±0.07 ^{dD}	4.99±0.44 ^{dC}	15.02±0.17 ^{dB}	17.87±0.13 ^{dA}
风味指数/%	CK	98.89±0.00 ^{aA}	95.56±0.75 ^{cB}	90.00±0.27 ^{dC}	72.22±0.68 ^{dD}	52.22±0.14 ^{dE}
	冰温 1	98.89±0.00 ^{aA}	96.67±0.16 ^{bB}	92.22±0.25 ^{cC}	76.67±0.63 ^{cD}	60.00±1.08 ^{cE}
	冰温 2	98.89±0.00 ^{aA}	96.67±0.25 ^{bB}	93.33±0.29 ^{bC}	78.89±0.79 ^{bD}	65.56±0.87 ^{bE}
	相温	98.89±0.00 ^{aA}	97.78±0.47 ^{aB}	94.44±0.98 ^{aC}	80.00±0.14 ^{aD}	72.22±0.25 ^{aE}
果霜覆盖指数/%	CK	99.00±0.00 ^{aA}	93.50±0.58 ^{bB}	90.50±0.00 ^{cC}	84.00±1.00 ^{dD}	69.00±1.00 ^{cE}
	冰温 1	99.00±0.00 ^{aA}	93.50±0.58 ^{bB}	91.50±1.00 ^{bC}	86.00±1.00 ^{bD}	71.00±0.58 ^{bE}
	冰温 2	99.00±0.00 ^{aA}	93.50±0.58 ^{bB}	92.50±0.58 ^{bC}	87.00±0.58 ^{bD}	72.00±0.58 ^{bE}
	相温	99.00±0.00 ^{aA}	95.50±1.15 ^{aB}	94.50±1.00 ^{aB}	89.00±0.58 ^{aC}	76.00±1.00 ^{aD}

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、3 同。

表 2 不同贮藏环境下蓝莓色泽及硬度数据

Table 2 Color and hardness data of blueberries in different storage environments

指标	处理	贮藏时间/d				
		0	15	30	45	60
ΔE	CK	0.00±0.00 ^{aC}	1.84±0.64 ^{aB}	3.26±0.93 ^{aA}	3.74±1.07 ^{aA}	3.93±0.94 ^{aA}
	冰温 1	0.00±0.00 ^{aC}	1.30±0.25 ^{abB}	2.79±0.71 ^{aA}	3.05±0.66 ^{aA}	3.38±0.95 ^{aA}
	冰温 2	0.00±0.00 ^{aB}	0.71±0.39 ^{bB}	2.58±0.46 ^{aA}	2.91±0.66 ^{aA}	3.05±0.77 ^{abA}
	相温	0.00±0.00 ^{aD}	0.58±0.38 ^{bCD}	1.01±0.51 ^{bBC}	1.30±0.33 ^{BB}	1.99±0.59 ^{bA}
L	CK	28.88±0.61 ^{aA}	27.08±0.63 ^{cB}	26.06±0.90 ^{bBC}	25.58±0.88 ^{bC}	25.03±0.51 ^{bC}
	冰温 1	28.88±0.61 ^{aA}	27.70±0.25 ^{bcB}	26.21±0.29 ^{bC}	26.01±0.46 ^{bC}	25.72±0.73 ^{bC}
	冰温 2	28.88±0.61 ^{aA}	28.39±0.41 ^{abA}	26.40±0.36 ^{bB}	26.08±0.55 ^{bB}	25.88±0.68 ^{abB}
	相温	28.88±0.61 ^{aA}	28.75±0.33 ^{aA}	28.14±0.50 ^{aA}	27.96±0.42 ^{aA}	27.03±0.61 ^{aB}
硬度/kgf	CK	3.79±0.13 ^{aA}	2.69±0.35 ^{aB}	2.12±0.35 ^{aBC}	2.10±0.46 ^{bBC}	2.02±0.42 ^{bC}
	冰温 1	3.79±0.13 ^{aA}	2.75±0.61 ^{aAB}	3.02±0.65 ^{aAB}	2.62±0.45 ^{abB}	2.62±0.81 ^{abB}
	冰温 2	3.79±0.13 ^{aA}	3.31±0.70 ^{aAB}	3.30±0.79 ^{aAB}	2.87±0.42 ^{abAB}	2.65±0.55 ^{abB}
	相温	3.79±0.13 ^{aA}	3.69±0.81 ^{aA}	3.65±0.68 ^{bA}	3.52±0.45 ^{aA}	3.35±0.43 ^{aA}

在色泽数据中, $\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2}$, 代表颜色变化, 值越大代表颜色变化越大; L 值代表光泽明亮度, L 值越大, 亮度越高^[15]。从表 2 数据中可以看出随着贮藏期的延长, 蓝莓果实的 ΔE 值贮藏前期呈显著 ($p < 0.05$) 上升趋势, 贮藏后期上升趋势较不显著 ($p > 0.05$), 其中相温组蓝莓 ΔE 值在 60 d 贮藏期间均低于 2, 而其余三组果实在 30 d 时 ΔE 值就已升高至 2 以上, 且 CK 组上升幅度最大, 在 30 d 时 ΔE 值达 3.26,

是相温组蓝莓 ΔE 值的三倍。L 值呈下降趋势, 其中相温组蓝莓整个贮藏期间 L 值下降了 1.85, 下降幅度不大; 冰温 1 组、冰温 2 组、相温组的蓝莓 L 值在 30 d 时均有显著 ($p < 0.05$) 降低, 且在整个贮藏期间相温组蓝莓 L 值显著 ($p < 0.05$) 高于冰温 1 组及冰温 2 组。硬度的变化可以反应蓝莓果实贮藏期间的衰老程度^[16], 从表 2 数据可以看出, 蓝莓贮藏期间硬度呈下降趋势, 但相温组蓝莓硬度下降不显著 ($p > 0.05$),

在贮藏期间维持了较高的硬度,且相温组蓝莓在 60 d 时的硬度为 3.35 kgf,高于另外三组果实 15 d 时的硬度,此外,冰温 1 组和冰温 2 组的蓝莓硬度显著高于 CK 组,这与 Mannozi 等^[17]壳聚糖涂膜处理蓝莓后的

结果相似,说明冰温贮藏和相温贮藏均可有效维持蓝莓贮藏期间的硬度。

2.3 不同贮藏环境对蓝莓营养品质的影响

表 3 不同贮藏环境下蓝莓营养成分数据

Table 3 Nutrient composition data of blueberries in different storage environments

指标	处理	贮藏时间/d				
		0	15	30	45	60
可溶性固形物含量/%	CK	10.85±0.13 ^{aA}	10.33±0.25 ^{bB}	10.77±0.04 ^{dA}	10.65±0.15 ^{cA}	9.92±0.05 ^{bC}
	冰温 1	10.85±0.13 ^{aAB}	10.52±0.26 ^{bC}	11.02±0.05 ^{cA}	10.63±0.08 ^{cBC}	9.43±0.04 ^{dD}
	冰温 2	10.85±0.13 ^{aB}	10.62±0.08 ^{bC}	11.37±0.10 ^{bA}	10.98±0.11 ^{bB}	9.63±0.08 ^{cD}
	相温	10.85±0.13 ^{aC}	12.12±0.18 ^{aB}	12.95±0.05 ^{aA}	12.10±0.08 ^{aB}	10.08±0.08 ^{aD}
可滴定酸含量/%	CK	0.60±0.01 ^{aA}	0.52±0.00 ^{dB}	0.45±0.00 ^{cC}	0.54±0.00 ^{dD}	0.67±0.00 ^{eE}
	冰温 1	0.60±0.01 ^{aB}	0.69±0.01 ^{cA}	0.29±0.00 ^{dC}	0.33±0.00 ^{cC}	0.23±0.05 ^{cD}
	冰温 2	0.60±0.01 ^{aB}	0.84±0.01 ^{bA}	0.48±0.01 ^{bC}	0.49±0.01 ^{bC}	0.40±0.00 ^{bD}
	相温	0.60±0.01 ^{aD}	0.87±0.01 ^{aA}	0.60±0.01 ^{aD}	0.70±0.00 ^{aB}	0.62±0.00 ^{aC}
Vc 含量/(mg/100 g)	CK	73.41±2.50 ^{aA}	47.34±1.44 ^{bB}	38.16±1.44 ^{aC}	30.67±0.82 ^{dD}	24.82±1.44 ^{dE}
	冰温 1	73.41±2.50 ^{aA}	53.16±1.44 ^{bB}	41.48±0.00 ^{bC}	36.91±2.50 ^{cD}	29.83±1.44 ^{cE}
	冰温 2	73.41±2.50 ^{aA}	54.84±1.44 ^{bB}	44.00±2.50 ^{cC}	42.35±0.00 ^{bC}	34.00±0.00 ^{bD}
	相温	73.41±2.50 ^{aA}	61.47±2.50 ^{aB}	49.83±1.44 ^{dC}	47.34±2.50 ^{aC}	41.49±0.00 ^{aD}
花青素含量/(mg/100 g)	CK	71.41±0.13 ^{aA}	61.94±1.23 ^{cA}	58.89±2.19 ^{bB}	53.66±0.30 ^{cC}	47.58±1.40 ^{dD}
	冰温 1	71.41±0.13 ^{aB}	67.53±0.63 ^{bA}	64.82±3.06 ^{aA}	54.88±0.46 ^{cC}	51.84±1.67 ^{cD}
	冰温 2	71.41±0.13 ^{aB}	66.42±1.06 ^{bA}	65.90±0.63 ^{aA}	55.54±1.43 ^{bB}	61.09±0.35 ^{bC}
	相温	71.41±0.13 ^{aD}	82.07±0.80 ^{aA}	64.45±1.57 ^{aC}	68.03±0.76 ^{aB}	62.51±1.99 ^{aCD}

表 3 数据显示,在 60 d 贮藏期中,蓝莓的可溶性固形物含量整体呈先上升后下降的趋势,与郭丹等^[18]箱式气调贮藏蓝莓的结果一致,贮藏前 30 d 可溶性固形物含量增加,可能是由于果胶酶活性的增加加速了原果胶的分解转化^[19],从 45 d 起可溶性固形物含量逐渐下降,可能是由于果实自身呼吸代谢所消耗,且相温组蓝莓的可溶性固形物消耗量显著 ($p<0.05$) 低于另外三组。可滴定酸含量整体呈下降趋势,但冰温 1 组、冰温 2 组、相温组的蓝莓可滴定酸含量下降幅度均显著 ($p<0.05$) 低于 CK 组,贮藏第 60 d 时四组蓝莓可滴定酸含量分别为 24.82、29.83、34.00、41.49 mg/100 g,差异显著 ($p<0.05$),可能是因为低温及较小的温度波动使果实相关酶活性受到抑制,从而延缓了可滴定酸含量的下降^[20]。Vc 含量呈下降趋势,CK 组、冰温 1 组、冰温 2 组、相温组的蓝莓 Vc 含量 60 d 贮藏期间分别降低了 48.59、43.58、39.41、31.92 mg/100 g,有显著 ($p<0.05$) 差异,与 Xu 等^[21]的研究结果相似,说明冰温贮藏和相温贮藏均可有效维持蓝莓贮藏期间的 Vc 含量。花青素是蓝莓的一种重要活性成分,从表 3 数据可以看出花青素含量整体呈下降趋势,但冰温组和相温组的蓝莓花青素含量降低速度较 CK 组更慢,这与色泽的变化相对应,而花青素作

为一种抗氧化物质,说明冰温贮藏和相温贮藏均可有效延缓蓝莓的抗氧化能力的下降。

2.4 不同贮藏环境下蓝莓品质评分

表 4 主成分的特征值及贡献率

Table 4 Principal component eigenvalue and contribution rate

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	8.52	77.42	77.42
2	0.96	8.76	86.18
3	0.80	7.32	93.49

根据上述数据进行主成分分析,拟合出三个主成分,累积贡献率可达 93.49%,说明此模型可靠。通过主成分分析对不同贮藏环境下的蓝莓进行打分,得到表 4 和表 5 的结果。参照薛友林等^[15]的方法,主成分分析以每个因子得分 FAC1、FAC2、FAC3 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,又根据主成分得分计算相关性综合得分,本文称之为 F,由此计算出 4 种贮藏环境与蓝莓的品质指标综合相关性的相对程度。综合得分越高,说明该种贮藏环境下的果实品质越高,排名越高;反之则越低。由表 5 可以得出,相温组>冰温 2 组>冰温 1 组>CK 组。

表5 主成分得分表

Table 5 Principal component scores

处理组	FC1	FC2	FC3	F1	F2	F3	F	F 平均	排名
CK	1.09	-1.37	0.13	3.18	-1.34	0.12	2.51	-1.226	4
	0.10	-0.32	0.96	0.30	-0.31	0.86	0.29		
	-0.47	0.42	1.96	-1.36	0.41	1.76	-0.95		
	-1.29	0.41	0.79	-3.76	0.40	0.71	-3.02		
	-2.03	-0.37	-0.41	-5.92	-0.36	-0.37	-4.96		
冰温 1	1.09	-1.37	0.13	3.18	-1.34	0.12	2.51	-0.432	3
	0.46	0.01	0.21	1.35	0.01	0.19	1.13		
	-0.09	0.66	1.53	-0.25	0.65	1.37	-0.04		
	-0.81	0.05	0.59	-2.35	0.05	0.53	-1.90		
	-1.54	-0.90	-0.76	-4.50	-0.88	-0.68	-3.86		
冰温 2	1.09	-1.37	0.13	3.18	-1.34	0.12	2.51	0.144	2
	0.75	-0.22	-0.73	2.20	-0.21	-0.65	1.75		
	0.17	1.00	0.87	0.51	0.98	0.78	0.58		
	-0.45	0.68	0.02	-1.33	0.67	0.02	-1.03		
	-1.23	-0.55	-1.06	-3.58	-0.54	-0.95	-3.09		
相温	1.09	-1.37	0.13	3.18	-1.34	0.12	2.51	1.514	1
	1.32	1.85	-1.21	3.87	1.81	-1.09	3.29		
	0.80	1.52	0.14	2.34	1.49	0.13	2.08		
	0.37	1.45	-1.41	1.07	1.42	-1.27	0.92		
	-0.44	-0.22	-2.03	-1.29	-0.21	-1.81	-1.23		

2.5 不同贮藏环境下蓝莓香气成分的变化

表 6 为不同贮藏环境下蓝莓香气成分的变化情况。从表中可以看出蓝莓香气成分中醛类和萜类物质占了较大比重,在整个贮藏期内相对含量分别为 29.79%~61.91%、16.40%~49.74%。醛类物质相对含量呈先降低后升高的趋势,其中 CK 组果实中的醛类相对含量基本低于另外三组,说明冰温贮藏和相温贮藏均可促进蓝莓香气成分中醛类物质的释放。萜类物质相对含量呈先升高后降低的趋势,醇类与酯类物质含量则是均呈现了下降趋势,结合醛类物质贮藏期间相对含量先降低后升高,推测醛类物质与萜类醇类、酯类物质在贮藏期间存在一定的代谢转化。酯类物质通常为有利香气成分^[22],而贮藏期间冰温 1 组、冰温 2 组和相温组蓝莓香气成分中酯类含量高于 CK 组,且在 60 d 时仅相温组果实中含 0.94%的酯类物质,其余组别果实中均未检出酯类物质,说明冰温贮藏和相温贮藏可一定程度上延缓蓝莓贮藏期间香气成分中酯类

物质的减少,且相温贮藏的效果最好。

此外,从表 6 可以看出贮藏后的 CK 组与冰温 1 组的蓝莓所检出的香气成分种类数相同,均检出 30 种香气成分,其中醛类 5 种,萜类 9 种,醇类 5 种,酯类 3 种,其他类别 8 种,主要香气成分按相对含量排序为 2-己烯醛、芳樟醇、桉叶油醇等。冰温 2 组的蓝莓共检出 29 种香气成分,其中醛类 4 种,萜类 9 种,醇类 5 种,酯类 3 种,其他类别 8 种,主要香气成分按相对含量排序为 2-己烯醛、芳樟醇、桉叶油醇、 α -松油醇等。相温组的蓝莓共检出 30 种香气成分,其中醛类 4 种,萜类 9 种,醇类 5 种,酯类 4 种,其他类别 8 种,主要香气成分按相对含量排序为 2-己烯醛、芳樟醇、桉叶油醇、 α -松油醇等。以上结果表明,四组蓝莓之间香气成分种类的差异主要体现在醛类和酯类上,冰温 2 组和相温组的蓝莓醛类物质更少,差距在于苯甲醛这种物质,相温贮藏的蓝莓酯类物质更多,说明相温贮藏可以抑制蓝莓苯甲醛的生成,促进酯类物质的释放。

表6 不同贮藏环境下蓝莓的香气成分

Table 6 Aroma composition of blueberries in different storage environments

种类	编号	中文名	0 d 相对含量/%	15 d 相对含量/%				30 d 相对含量/%				45 d 相对含量/%				60 d 相对含量/%			
				CK	冰温 1	冰温 2	相温	CK	冰温 1	冰温 2	相温	CK	冰温 1	冰温 2	相温	CK	冰温 1	冰温 2	相温
醛类	1	己醛	6.95	1.79	2.19	2.45	1.68	0.85	1.06	2.15	2.24	0.71	0.99	2.59	2.53	1.23	1.22	2.43	1.91
	2	2-己烯醛	58.99	31.39	35.58	37.58	34.77	27.93	34.84	35.71	35.16	49.87	41.34	45.36	40.66	55.12	52.68	39.16	59.54
	3	(E,E)-2,4-己二烯醛	0.69	-	-	-	-	-	-	-	-	0.77	-	0.58	0.52	0.85	0.81	0.66	-
	4	2-(4-甲基-3-环己烯基)丙醛	-	1.74	1.46	1.22	0.69	1.01	0.95	0.78	0.83	0.59	1.36	1.20	0.85	-	-	1.19	0.46
	5	苯甲醛	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.68	-	-	-	2.46	0.64	-	-
	小计		66.63	34.92	39.23	41.25	37.14	29.79	36.85	38.64	38.23	42.47	43.69	49.73	44.56	59.66	55.35	43.44	61.91
萜类	1	桉叶油醇	3.72	5.31	5.59	4.95	5.38	3.19	3.69	3.02	3.11	4.00	5.11	3.85	3.91	3.94	4.37	4.57	4.28
	2	罗勒烯	0.45	0.99	0.76	0.87	0.89	1.63	1.36	1.41	1.41	2.37	2.48	2.30	2.44	0.85	0.94	2.50	1.62
	3	萜品油烯	0.35	0.99	0.73	1.00	1.12	1.68	1.16	1.48	1.48	1.06	1.12	1.21	1.45	0.84	0.93	1.54	0.99
	4	芳樟醇	14.86	29.09	25.81	24.92	24.67	27.73	27.70	26.49	26.36	18.66	22.72	21.08	22.88	8.79	9.72	18.96	13.37
	5	橙花醇	0.30	0.75	-	-	-	1.06	0.89	0.72	0.69	0.86	0.85	0.69	0.65	-	-	-	-
	6	香叶醇	1.38	2.94	2.10	1.57	1.25	3.77	3.34	2.48	2.34	1.91	2.44	1.60	1.54	0.69	0.77	0.96	0.76
	7	β -蒎烯	2.02	2.33	2.10	2.04	1.73	3.01	3.10	2.69	2.75	4.23	3.83	3.22	3.23	-	-	3.99	4.06
	8	柠檬醛	0.45	-	-	-	-	0.94	0.77	0.77	0.86	0.79	-	0.84	0.96	0.61	0.71	1.24	0.74
	9	α -松油醇	0.61	2.90	2.43	3.03	3.26	6.73	4.45	5.83	6.28	-	-	-	-	0.68	0.82	2.65	1.29
	小计		24.14	45.30	39.52	38.38	38.30	49.74	46.46	44.89	45.28	33.88	38.55	34.79	37.06	16.40	18.26	36.41	27.11
醇类	1	2-羟基- α,α -4-三甲基-3-环己烯-1-甲醇	1.64	2.08	1.78	1.64	1.37	1.52	1.32	1.27	1.14	1.21	1.29	1.34	1.03	0.67	0.56	0.69	0.56
	2	顺-3-壬烯-1-醇	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	α,α -4-三甲基苯甲醇	0.72	1.64	1.77	1.30	1.39	1.33	1.49	1.11	1.12	0.88	1.13	0.96	0.92	-	0.64	0.68	0.71
	4	顺式-对-薄荷-1(7),8-二烯-2-醇	1.88	1.51	1.54	1.38	1.73	1.52	1.56	1.36	1.48	1.61	1.50	1.39	1.39	0.93	1.00	1.29	1.22
	5	(S)-顺马鞭草烯醇	-	-	-	0.63	0.63	1.08	0.84	0.88	0.99	-	-	-	0.68	-	-	-	-
	6	1-辛烯-3-醇/蘑菇醇	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.03	1.80	1.20	0.72
	小计		4.48	5.23	5.09	4.95	5.12	5.45	5.21	4.62	4.73	3.70	3.92	3.69	4.02	3.63	4.00	3.86	3.21

续表 6

种类	编号	中文名	0 d 相对含量/%	15 d 相对含量/%				30 d 相对含量/%				45 d 相对含量/%				60 d 相对含量/%			
				CK	冰温 1	冰温 2	相温	CK	冰温 1	冰温 2	相温	CK	冰温 1	冰温 2	相温	CK	冰温 1	冰温 2	相温
酯类	1	邻苯二甲酸二丁酯	0.79	2.51	2.81	2.54	2.12	3.78	4.54	2.95	2.98	1.55	3.38	2.34	2.94	-	-	-	-
	2	2,2,4-三甲基-1,3-戊二醇二异丁酸酯	-	3.10	3.76	4.06	1.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3	邻苯二甲酸-4-庚基异丁酯	-	0.80	0.95	1.07	6.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	2-羟基-3-甲基丁酸乙酯	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.94
		小计	0.79	6.41	7.52	7.67	9.73	3.78	4.54	2.95	2.98	1.55	3.38	2.34	2.94	0.00	0.00	0.00	0.94
	1	甲基庚烯酮	0.47	0.69	0.54	-	2.15	-	-	-	-	0.63	0.52	-	-	1.14	1.29	0.57	0.88
	2	2,4-二甲基苯乙烯	1.26	2.56	2.38	2.24	2.53	2.92	2.50	2.63	2.79	2.90	2.92	3.15	3.06	1.90	2.19	2.96	2.38
	3	(E)-2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)环己酮	0.47	1.46	1.50	1.42	1.38	2.02	1.85	1.66	1.57	1.23	1.45	1.35	1.40	0.66	0.79	1.05	0.83
其他	4	香叶基丙酮	0.38	0.92	0.93	0.77	0.87	-	-	-	-	-	-	0.51	0.50	-	-	-	-
	5	2,4-二叔丁基苯酚	-	1.14	1.24	1.06	1.15	0.81	0.78	0.64	0.93	0.57	1.00	0.84	0.91	-	-	-	-
	6	对-薄荷-1,5,8-三烯	-	-	0.55	-	-	0.87	0.76	0.71	0.71	1.10	0.89	0.88	0.74	0.61	0.68	0.85	0.75
	7	大马士酮	-	-	-	-	0.63	0.95	0.64	0.88	0.99	0.70	-	0.79	1.15	-	-	0.66	-
	8	甲氧基苯基胍	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.76	-	-	-	2.27	1.99	0.90	0.84
		小计	2.58	6.77	7.14	5.49	8.71	7.57	6.53	6.52	6.99	8.89	6.78	7.52	7.76	6.58	6.94	6.99	5.68
		总计	98.62	98.63	98.50	97.74	99.00	96.33	99.59	97.62	98.21	90.49	96.32	98.07	96.34	86.27	84.55	90.70	98.85

注：“-”代表未检测到。

对香气成分进行具体分析,从表 6 可以看出,2-己烯醛(27.93%~59.54%)是蓝莓最主要的香气成分,其有浓郁的绿叶清香和果香^[23]。苯甲醛有苦杏仁味^[24],其仅在 CK 组蓝莓贮藏第 45 d 及 60 d 和冰温 1 组蓝莓贮藏第 60 d 时出现,推测苯甲醛是蓝莓成熟衰老时出现的香气成分。萜类物质也是蓝莓重要的呈香物质,贮藏期间萜类物质呈先升高后降低的趋势,所检测出的萜类物质包括芳樟醇(8.79%~29.09%,浓青带甜的木青气息^[25])、桉叶油醇(3.02%~5.38%,樟脑气息和清凉的草药味道)、 β -蒎烯(1.73%~4.23%,树脂和松脂香气)、香叶醇(0.69%~3.77%,玫瑰花香^[26])、罗勒烯(0.45%~2.50%,草香和花香)、萜品油烯(0.35%~1.68%,柠檬香味)、橙花醇(0.30%~1.06%,玫瑰花香^[26])、柠檬醛(0.45%~1.24%,浓郁柠檬香味^[23])、 α -松油醇(0.61%~6.73%,紫丁香花香)。总体来说,除了具有有利香气的酯类以外,有新鲜植物和水果香气的醛类物质^[27],具有芬芳香味的各种萜类物质等构成了蓝莓的香气成分,且综合前述香气成分分析结果来看,冰温贮藏和相温贮藏均有利于蓝莓贮藏期间香气成分的释放。

3 结论

3.1 蓝莓是目前广受消费者喜爱的一种浆果,市场需求量不断扩大。通过控制温度来对果蔬进行保鲜是目前常用的一种处理方式,精准温度控制技术是基于传统低温冷藏提出的新型保鲜技术,其所包括的冰温贮藏和相温贮藏环境温度更低,温度波动更小,且其中相温贮藏技术对温度的控制更为精准,而通过使用蓄冷剂和精准温控箱来模拟冰温贮藏和相温贮藏的环境,则可大大降低保鲜成本,更利于推广使用。

3.2 本实验分别采用冰温贮藏和相温贮藏对蓝莓进行保鲜,通过对上述图表数据的分析可以看出,不同贮藏环境对蓝莓的贮藏品质有不同的影响,精准温度控制后箱体内部温度低于 0 °C 以下,温度波动保持在 0.1 °C 以内,冰温贮藏和相温贮藏均具有显著延长蓝莓果实贮藏期(有效延长至 45 d)及提高果实贮藏品质的作用,能延缓蓝莓色泽的变化及果实软化。贮藏 60 d 后,相温组蓝莓的好果率为 79.54%,软果率仅为 17.87%,风味指数和果霜覆盖指数均在 70%以上, ΔE 低于 2, L 值达 27.03,硬度为 3.35 kgf,可溶性固形物含量、可滴定酸含量、Vc 含量、花青素含量分别为 10.08%、0.62%、41.49 mg/100 g、62.51 mg/100 g。此外,从挥发性物质的检测结果中可以得到,蓝莓的主要香气成分由 2-己烯醛(浓郁的绿叶清香和果香)、芳樟醇(浓青带甜的木青气息)、桉叶油醇(樟脑气息

和清凉的草药味道)、 β -蒎烯(树脂和松脂香气)、香叶醇(玫瑰花香)、罗勒烯(草香和花香)、萜品油烯(柠檬香味)、橙花醇(玫瑰花香)、柠檬醛(浓郁柠檬香味)、 α -松油醇(紫丁香花香)等物质所构成,而相温贮藏更有利于蓝莓香气成分的释放。经主成分分析后可得出,对于维持蓝莓贮藏品质的效果排序为:相温组>冰温 2 组>冰温 1 组>CK 组,说明相温贮藏对蓝莓的保鲜效果最好,其可使蓝莓贮藏 45 d 后好果率保持在 85%以上,且精准温控箱模拟的冰温贮藏环境优于蓄冷剂所模拟的冰温贮藏环境,而本实验所使用的蓄冷剂的量与果实的质量比为 3:8,可能是因为蓄冷剂的添加量较少,引入冷源的量不充足,若能考虑加大蓄冷剂的使用量或许能带来更好的保鲜效果,因此在采用添加蓄冷剂的方式模拟冰温贮藏环境时,蓄冷剂的使用量与果实的质量比将是一个研究方向。

参考文献

- [1] Wang S Y, Zhou Q, Zhou X, et al. The effect of ethylene absorbent treatment on the softening of blueberry fruit [J]. Food Chemistry, 2018, 246: 286-294
- [2] Chea S, Yu D J, Park J, et al. Preharvest β -aminobutyric acid treatment alleviates postharvest deterioration of 'Bluecrop' highbush blueberry fruit during refrigerated storage [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 246: 95-103
- [3] 戚晓丽.复合相变蓄冷剂开发及在果蔬保鲜上的应用研究[D].杭州:浙江大学,2015
QI Xiaoli. Development of phase-changing coolant and its application on preservation of fruit and vegetable [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015
- [4] 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. "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
- [5] 贾晓昱,邹国文,唐先谱,等.四川仔姜精准控温保鲜技术研究[J].中国调味品,2020,45(1):9-12
JIA Xiaoyu, ZOU Guowen, TANG Xianpu, et al. Research on precise temperature control and preservation technology of Sichuan gingers [J]. Chinese Condiment, 2020, 45(1): 9-12
- [6] 朱文月.贮运微环境气体调控对蓝莓采后品质和软化的调控[D].沈阳:辽宁大学,2020
ZHU Wenyue, Regulation of post-harvest quality and softening of blueberries by microenvironmental modified

- atmosphere packaging during storage and transportation [D]. Shenyang: Liaoning University, 2020
- [7] 马卓云,于潇潇,杨舒乔,等.冰温贮藏对鲜切山药品质的影响及货架期的预测[J].农产品加工,2021,2:4-9
MA Zhuoyun, YU Xiaoxiao, YANG Shuqiao, et al. Effect of ice temperature storage technology on quality of fresh-cut yam and shelf life prediction [J]. Farm Products Processing, 2021, 2: 4-9
- [8] Atsushi I, Seiji O, Teruko N, et al. Practical long-term storage of strawberries in refrigerated containers at ice temperature [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(9): 5138-5148
- [9] 颜碧,张鹏,贾晓昱,等.微环境气体调控对磨盘柿冰温贮藏期品质的影响[J/OL].食品与发酵工业:1-10[2021-03-06].
<https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.026075>
YAN Bi, ZHANG Peng, JIA Xiaoyu, et al. Effect of microenvironment gas regulation on quality of mopan persimmon during controlled freezing point storage [J/OL]. Food and Fermentation Industry: 1-10[2021-03-06].
<https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.026075>
- [10] 杨瑞丽,邸倩倩,刘斌,等.冰温贮藏库构造关键技术[J].制冷技术,2012,32(4):5-7
YANG Ruili, DI Qianqian, LIU Bin, et al. Key technologies about construction of ice-temperature cold store [J]. Chinese Journal of Refrigeration Technology, 2012, 32(4): 5-7
- [11] 康丹丹.微环境气调结合相温对兰州百合采后品质的调控效应[D].沈阳:沈阳农业大学,2020
KANG Dandan. Effects of micro-environmental modified atmosphere combined with phase temperature on the postharvest quality of Lanzhou lily [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020
- [12] 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 Wensheng, FENG Xiaoyuan, WANG Baogang, et al. Determination of titratable acids in fruits with automatic potentiometric titrator [J]. Food Science, 2009, 30(4): 247-249
- [13] Pu H L, Shan S S, Wang Z Q, et al. Dynamic changes of DNA methylation induced by heat treatment were involved in ethylene signal transmission and delayed the postharvest ripening of tomato fruit [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(33): 8976-8986
- [14] 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
CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables [M]. China Light Industry Press, 2007
- [15] 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):113-121,309
XUE Youlin, YU Hongtao, 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, 309
- [16] 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
JI Ning, LONG Xiaobo, LI Jiangkuo, et al. Effect of 1-MCP coupling with ozone treatment on storage of blueberry at low temperature [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 302-307
- [17] Mannozi C, Tylewicz U, Chinnici F, et al. Effects of chitosan based coatings enriched with procyanidin by-product on quality of fresh blueberries during storage [J]. Food Chemistry, 2018, 251: 18-24
- [18] 郭丹,韩英群,郝义.箱式气调保鲜对蓝莓果实贮藏期及货架期品质生理影响[J].西北农业学报,2016,25(12):1829-1836
GUO Dan, HAN Yingqun, HAO Yi, et al. Effect of box-type modified atmosphere preservation on the quality and physiology of blueberry during storage and shelf life [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2016, 25(12): 1829-1836
- [19] Wang C, Meng X J. Effect of ^{60}Co γ -irradiation on storage quality and cell wall ultra-structure of blueberry fruit during cold storage [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 38: 91-97
- [20] 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,2017,42(7):32-37
ZHANG Peng, LIU Hongli, LI Jiangkuo, et al. Effect of micro-environment box-type atmosphere modified on preservation of blueberries during cold storage after logistics [J]. Food Science and Technology, 2017, 42(7): 32-37
- [21] Xu F X, Liu S Y. Control of postharvest quality in blueberry fruit by combined 1-methylcyclopropene (1-MCP) and UV-C irradiation [J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 10(9): 1695-1703
- [22] 杨旭,陈亮,辛秀兰,等.果汁发酵和带渣发酵蓝靛果酒香气成分分析[J].食品科学,2014,35(12):115-119
YANG Xu, CHEN Liang, XIN Xiulan, et al. Analysis of volatile aroma components of blue honeysuckle (*Lonicera caerulea*) wines fermented from mashed fruit and the corresponding juice [J]. Food Science, 2014, 35(12): 115-119