

乳酸钙处理对采后蓝莓品质的影响

王馨悦, 姜爱丽, 胡文忠, 周福慧, 顾思彤, 高雪晴

(大连民族大学生命科学学院, 生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁大连 116600)

摘要: 为探究乳酸钙处理对采后蓝莓果实生理生化的影响。分别采用 10 g/L 和 20 g/L 的乳酸钙及去离子水(对照)浸泡处理采后蓝莓 10 min, 于 4 °C 下贮藏。分别于 0、14、28、42、56、70 d 对其相关指标进行测定。结果表明, 贮藏期间内, 乳酸钙处理有利于保持采后蓝莓果实品质, 延缓蓝莓果实硬度, 可溶性固形物(TSS)及总酚、类黄酮含量的下降, 第 28 d 时, 20 g/L 乳酸钙处理的果实硬度是对照的 2.1 倍, 贮藏结束时, 20 g/L 乳酸钙处理的 TSS 含量分别是对照组和 10 g/L 处理组的 1.875 和 1.4 倍, 20 g/L 乳酸钙处理的总酚、类黄酮和花青素含量分别较 0 d 增加了 31.25%、22.58% 和 122.78%。降低采后呼吸速率和失重率, 保持一定的花青素含量, 降低纤维素酶(Cs)、多酚氧化酶(PPO)、抗氧化酶(POD)活性, 对照组的 PPO 活性峰值分别是 10 g/L 和 20 g/L 乳酸钙处理组的 1.56 和 2.12 倍, 提升超氧化物歧化酶(SOD)活性及总抗氧化能力。研究结果表明, 乳酸钙处理对采后蓝莓果实具有积极的保鲜效果, 其中以浓度为 20 g/L 的乳酸钙处理效果最佳, 保持了采后蓝莓的品质。

关键词: 乳酸钙; 蓝莓; 品质; 主成分分析

文章篇号: 1673-9078(2019)07-47-54

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.008

Effect of Calcium Lactate Treatment on the Postharvest Quality of Blueberries

WANG Xin-yue, JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, ZHOU Fu-hui, GU Si-tong, GAO Xue-qing

(College of Life Science, Dalian Minzu University, Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization, Ministry of Education, Dalian 116600, China)

Abstract: To investigate the effects of calcium lactate treatment on postharvest physiology and biochemistry of blueberry fruits. The postharvest blueberries were immersed in a calcium lactate aqueous solution (10 g/L or 20 g/L) and deionized water (the control), respectively, for 10 min before being stored at 4 °C. The related indicators were measured at day 0, 14, 28, 42, 56, and 70 over storage. The results showed that the calcium lactate treatment was beneficial to maintain the postharvest quality of blueberry fruits during the storage, through delaying the decrease of fruit firmness, the contents of total soluble solids (TSS), total phenols and flavonoids. on day 28, the firmness of the fruits treated with 20 g/L calcium lactate was 2.1 times as high as that of the control, and at the end of storage, the TSS of the fruits treated with 20 g/L calcium lactate treatment was 1.875 and 1.4 times, respectively, as high as those of the control and the 10 g/L treatment group, with the contents of total phenols, flavonoids and anthocyanins increased by 31.25%, 22.58% and 122.78%, respectively, compared with day 0. In addition, the treatments with 20 g/L calcium lactate led to reduced respiration rate and weight loss rate, constant anthocyanin content, and decreased activities of cellulase (Cs), polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD). The control had a peak PPO activity that was 1.56 and 2.12 times, respectively, as high as those for the 10 g/L and 20 g/L calcium lactate treatments, with increased superoxide dismutase (SOD) activity and total antioxidant capacity. The results showed that a calcium lactate treatment had a positive effect on postharvest preservation of blueberry fruits, with the treatment using calcium lactate at 20 g/L more desirable to maintain the postharvest quality of blueberries.

Key words: calcium lactate; blueberry; quality; principal component analysis

蓝莓(*Vaccinium* Spp), 杜鹃花科(*Ericaceae* Juss.),

收稿日期: 2018-09-23

基金项目: “十三五”国家重点研发计划重点专项(2016YFD0400903)

作者简介: 王馨悦(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与质量安全控制

通讯作者: 姜爱丽(1971-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 采后生物学与技术

越橘属(*Vaccinium*)植物, 源于北美, 多年生灌木小浆果果树^[1], 其果实富含花青素、维生素和矿物质^[2]等营养物质, 具有极强的抗氧化能力^[3], 是实至名归的“浆果之王”。但蓝莓果实柔软多汁, 在采后贮藏、运输过程中极易因软化导致腐烂变质, 严重影响其食用及商业价值^[4,5], 因此, 采后蓝莓果实保鲜技术被迫切需要。

现如今, 国内外蓝莓产业迅速发展, 其采后保鲜

技术主要分为化学保鲜、物理保鲜和其他保鲜技术^[6]。 Ca^{+} 处理技术近期被广泛应用,研究发现,适当浓度的 Ca^{+} 处理具有延长果蔬货架期的作用^[7],韩斯等人用 CaCl_2 处理速冻蓝莓,有效地提高了采后蓝莓品质^[8],然而 CaCl_2 微苦,对采后蓝莓风味具有一定影响^[9]。相对于无机钙(CaCl_2),乳酸钙等有机钙不仅可以增强果实硬度,还可避免苦涩味残留^[10,11]。乳酸钙作为一种新型绿色的化学药剂已被广泛应用于果蔬的采后保鲜技术当中^[12-14],但对于采后蓝莓果实的应用研究还鲜有报道,因此,本实验研究不同浓度乳酸钙处理对采后蓝莓生理生化及保鲜效果的影响,以期乳酸钙在蓝莓保鲜技术方面的应用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

供试蓝莓购于大连金州蓝莓采摘园,品种为“布里吉塔”。选择无机械损伤、大小均一、成熟度相近的蓝莓果实随机分成3组,每组2.5 kg,分别浸泡于10 g/L、20 g/L乳酸钙溶液和去离子水(对照)中10 min,沥干水分后,用10×10 cm的聚乙烯保鲜盒进行分装贮藏,每盒125 g,其中2盒用于测量失重率 and 进行感官评定,所有操作均在4℃冷库中进行。每隔14 d取样立即用液氮冷冻,打磨成粉后,置于-80℃贮藏,用于后期进行各项指标测定,每项指标重复3次。

1.2 药品与试剂

乳酸钙(食品级)、浓盐酸(分析纯)、甲醇、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、聚乙烯吡咯烷酮、愈创木酚、邻苯二酚、30% H_2O_2 、3,5-二硝基水杨酸(化学纯)、氢氧化钠、四水酒石酸钾钠、苯酚、无水硫酸钠、醋酸钠、醋酸、羧甲基纤维素钠等试剂均由天津科密欧化学试剂有限公司提供;总抗氧化能力试剂盒和超氧化物歧化酶试剂盒由苏州科铭提供。

1.3 仪器与设备

PL203 型精密电子天平,上海梅特勒-托利多;GC-2010 气相色谱仪,日本岛津;UV-2600 紫外分光光度计,本岛津;Lamda-25 型紫外可见分光光度计,德国 PE; Multiskan GO 全波长酶标仪,德国 ThermoScientific; DK-S24 恒温水浴锅,海森信; T25 基本型高剪切分散匀浆机,德国 IKA 工业设备公司; BR4i 型台式高速冷冻离心机。

1.4 指标与方法

1.4.1 评定

感官评定参照仇占南等^[15]的方法并加以修改,根据品评人员的感官打分,结果分为五个等级,10分:外观完好,表层蜡质无损,风味浓,与采收时外观和口感相当或更好;8分:外观基本完好,表层蜡质略有脱落,风味正常,接近采收时外观和口感;6分:外观尚可,表层蜡质轻微脱落,风味较正常,比采收时外观和口感稍差;4分:表层蜡质脱落较严重,风味淡,与比采收时外观和口感相差较大,可食性差;2分:表层基本无蜡质,风味很大或有异味,基本不可食用。

1.4.2 失重率、硬度的测定

蓝莓失重率=(贮藏前蓝莓质量-贮藏后蓝莓质量)/贮藏前蓝莓质量×100%;

蓝莓果实硬度用 GY-2 硬度计测定,用力均匀,取10次测定的平均值,单位为 10^5 Pa 。

1.4.3 可溶性固形物、总酚、类黄酮和花青素含量的测定

可溶性固形物测定:使用手持阿贝折光仪直接进行测定。将蓝莓果实匀浆,取浆液滴于折光仪镜面,读取数值,以质量分数(%)表示,重复3次。

总酚、类黄酮和花青素含量的测定参照曹建康等^[16]和 Mendelová 等^[17]的方法稍作修改。称取2 g样品,加入20 mL经预冷的1% HCl-甲醇溶液,于4℃避光以13000 r/min离心20 min,收集上清液。总酚含量以每克果蔬组织在波长280 nm处的吸光度值表示,即 OD_{280}/g ,类黄酮含量用每克果蔬组织在波长325 nm处的吸光度值表示,即 OD_{325}/g 。花青素含量以波长530 nm与600 nm之差表示,即 $\Delta\text{OD}/\text{g}$ 。

1.4.4 呼吸强度的测定

呼吸强度的测定参照孟宪军等^[18]的方法进行测定。

1.4.5 多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)的测定

参照姜爱丽等^[19]的方法进行测定,PPO和POD活性分别以1 min内每克果实在398 nm、460 nm下吸光度增加1为1个酶活力单位,以U表示, $U=\Delta\text{OD}_{398 \text{ nm}}/(\text{min} \cdot \text{g}) \text{ FW}$ 和 $U=\Delta\text{OD}_{460 \text{ nm}}/(\text{min} \cdot \text{g}) \text{ FW}$ 。

1.4.6 纤维素酶活性(CS)的测定

Cs的测定参照王亚楠等^[20]的方法,Cs活性以540 nm下测定每分钟每克蓝莓果实在40℃下分解羧甲基纤维素钠产生1 μg 葡萄糖为一个纤维素酶活性单位,以U表示, $U=\Delta\text{OD}_{540 \text{ nm}}/(\text{min} \cdot \text{g})$ 。

1.4.7 SOD及总抗氧化能力的测定

根据苏州科铭生物技术有限公司提供的SOD、总

抗氧化能力试剂盒方法进行测定。

1.5 统计方法

参照姜爱丽等^[21]的方法使用 SPSS 软件对数据进行主成分分析和相关性分析, 采用 Origin 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 乳酸钙处理对采后蓝莓果实感官评分、失重率、硬度、呼吸强度的影响

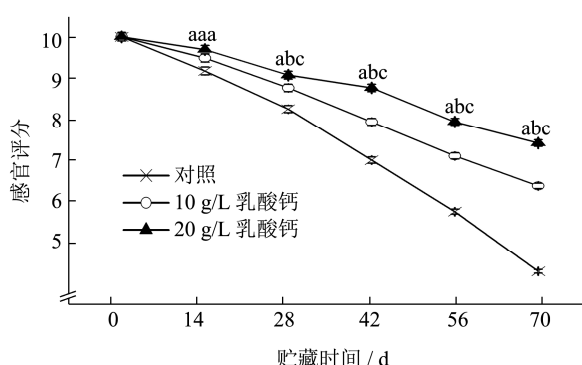


图1 乳酸钙处理对蓝莓感官评定的影响

Fig.1 Effect of calcium lactate treatment on sensory score of blueberry fruit

注: a 代表对照和 10 g/L 乳酸钙处理组间差异显著, b 表示代表对照和 20 g/L 乳酸钙处理组间差异显著, c 代表 10 g/L 和 20 g/L 乳酸钙处理组间差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

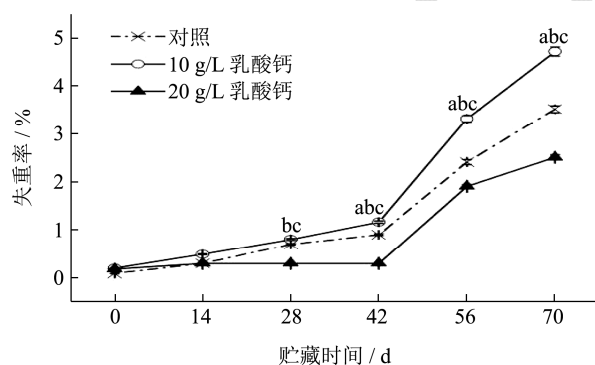


图2 乳酸钙处理对蓝莓失重率的影响

Fig.2 Effect of calcium lactate treatment on weight loss rate of blueberry fruit

乳酸钙处理有效维持了采后蓝莓果实贮藏期间的感官品质 (图 1)。水分含量是蓝莓在贮藏过程中新鲜程度的重要指标, 由图 2 可知, 20 g/L 乳酸钙处理可有效降低蓝莓果实的失重率, 且显著低于对照 ($p < 0.05$), 然而相较于对照, 10 g/L 乳酸钙处理显著增加了蓝莓果实的失重率 ($p < 0.05$)。由图 3 可知, 贮

藏期间, 对照蓝莓果实的硬度呈不断下降趋势, 而处理呈先上升后下降趋势, 第 28 d 时, 20 g/L 乳酸钙处理的果实硬度是对照的 2.1 倍, 差异显著 ($p < 0.05$)。而且钙离子还可通过结合果实内生物膜上的蛋白质和脂肪来维持细胞壁和质膜的稳定, 从而维持果实硬度, 减轻果实贮藏期腐烂^[10,32]。采后果实的呼吸作用消耗果实体内积累的有机养分, 降低果实的食用品质和贮藏性^[21]。整个贮藏期间, 采后蓝莓果实的呼吸强度呈先上升后下降趋势 (图 4), 对照的呼吸强度在 42 d 达到峰值, 而处理在 56 d 达到峰值, 乳酸钙处理有效延迟果实呼吸高峰到达时间, 并且 20 g/L 乳酸钙处理的呼吸强度显著低于同期其他处理 ($p < 0.05$), 综上可得, 20 g/L 乳酸钙处理更有利于延缓采后蓝莓果实衰老, 保持其新鲜的品质。

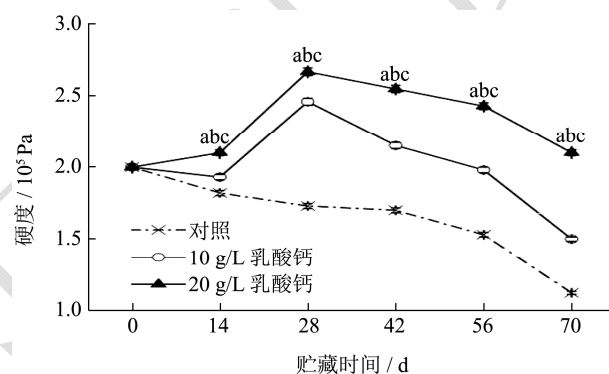


图3 乳酸钙处理对蓝莓硬度的影响

Fig.3 Effect of calcium lactate treatment on firmness of blueberry fruit

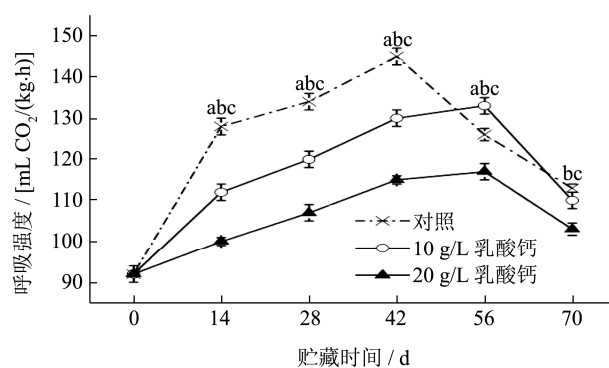


图4 乳酸钙处理对蓝莓呼吸强度的影响

Fig.4 Effect of calcium lactate treatment on respiration rate of blueberry fruit

2.2 乳酸钙处理对采后蓝莓果实 TSS、抗氧化物质含量的影响

果蔬中的 TSS 含量能直接反映果蔬的成熟程度和品质状况^[22]。图 5 显示, 除经 20 g/L 乳酸钙处理的蓝莓果实在贮藏 56 d 时 TSS 含量达到最高后逐渐下降

外, 其它两组的 TSS 含量呈显著下降趋势, 以 20 g/L 乳酸钙处理的 TSS 含量显著高于其它两组 ($p<0.05$), 贮藏结束时, 20 g/L 乳酸钙处理的 TSS 含量分别是对照组和 10 g/L 处理组的 1.875 和 1.4 倍。果蔬组织中存在大量的酚类物质、黄酮类和花青素等次生代谢产物, 它们与果蔬的品质、风味形成、成熟衰老、抗病性及抗逆性代谢等作用关系密切, 对果蔬的贮藏、保鲜和营养保健等方面有着关键作用^[23,24]。

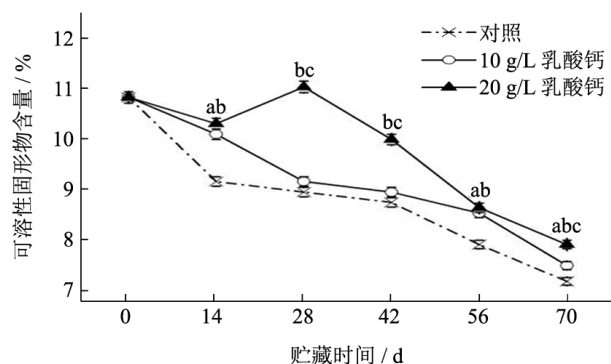


图 5 乳酸钙处理对蓝莓 TSS 含量的影响

Fig.5 Effect of calcium lactate treatment on TSS of blueberry fruit

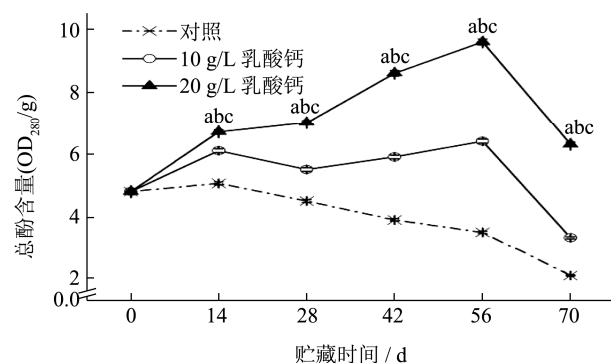


图 6 乳酸钙处理对蓝莓总酚含量的影响

Fig.6 Effect of calcium lactate treatment on total phenols of blueberry fruit

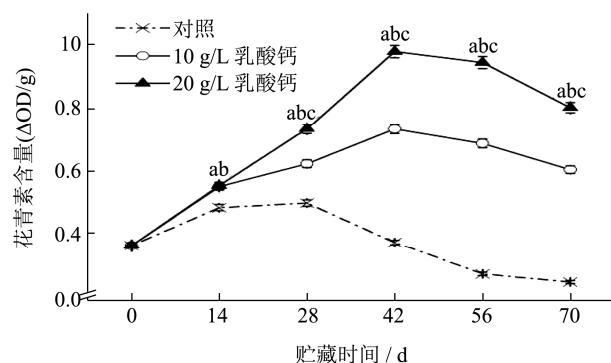


图 7 乳酸钙处理对蓝莓花青素含量的影响

Fig.7 Effect of calcium lactate treatment on anthocyanin of blueberry fruit

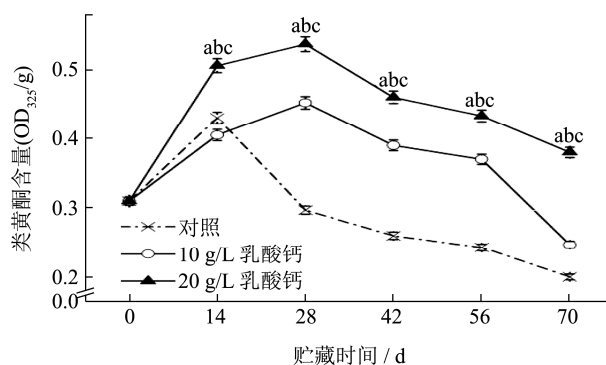


图 8 乳酸钙处理对蓝莓类黄酮含量的影响

Fig.8 Effect of calcium lactate treatment on flavonoids of blueberry fruit

贮藏期间, 各处理的总酚、黄酮和花青素含量均随贮藏时间呈先上升后下降的趋势, 其中对照下降趋势最为明显, 乳酸钙处理的抗氧化物质含量显著高于对照 ($p<0.05$), 70 d 时 20 g/L 乳酸钙处理的总酚、类黄酮和花青素含量分别较 0 d 增加了 31.25%、22.58% 和 122.78%, 说明乳酸钙处理可延缓抗氧化物质含量的下降, 以 20 g/L 乳酸钙处理效果最为明显 (图 6、7、8)。

2.3 乳酸钙处理对采后蓝莓果实相关酶活力的影响

纤维素是植物细胞壁的主要组成成分, 对细胞起着支撑及保护作用。在果蔬衰老过程中, 纤维素被纤维素酶水解, 加速果蔬衰老^[25]。由图 9 可知, 各处理的 C_s 活性均呈先上升后下降趋势, 经乳酸钙处理的蓝莓果实的 C_s 活性显著低于对照 ($p<0.05$)。较低的 PPO 活性即可延缓果蔬在后熟衰老过程中出现的组织褐变^[26], 整个贮藏期间, 各处理的 PPO 活性均呈先上升后下降趋势, 其中对照于第 28 d 到达峰, 两组乳酸钙处理的 PPO 活性于第 14 d 达到峰值, 经乳酸钙处理的 PPO 活性显著低于对照, 对照组的 PPO 活性峰值分别是 10 g/L 和 20 g/L 乳酸钙处理组的 1.56 和 2.12 倍, 以 20 g/L 乳酸钙对 PPO 活性的抑制效果最为明显 (图 10)。POD 大量存在于植物中, 可清除植物体内过氧化物自由基, 与植物抗氧化能力有着密切的关系^[27]。对照与乳酸钙处理的 POD 活性大致呈先上升后下降趋势, 对照与 10 g/L 乳酸钙处理的 POD 活性于第 14 d 达到峰值, 分别为 0.249 U 和 0.148 U, 而 20 g/L 乳酸钙处理的 POD 活性于第 28 d 达到峰值, 为 0.156 U, 整个贮藏期间, 对照的 POD 活性显著高于其它两组处理 ($p<0.05$) (图 11)。相似的结论在鲜切皇冠梨^[30]

和花椰菜^[31]等果蔬的采后保鲜技术上也得以证实。其原因可能是钙离子作为营养物质可提升果实内的抗氧化物质含量,使果实抗氧化能力增强,进而保持果实风味。SOD 能通过歧化反应清除生物细胞中的超氧阴离子自由基,防御自由基对细胞膜系统的伤害。各处理 SOD 活性均呈先上升后下降趋势,对照的 SOD 活性在第 28 d 时到达峰值,乳酸钙处理的 SOD 活性高峰后延到第 42 d,以 20 g/L 乳酸钙处理的 SOD 活性显著高于其它处理 ($p<0.05$) (图 12)。

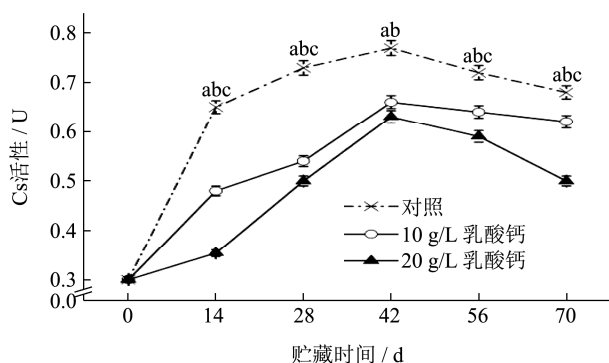


图 9 乳酸钙处理对蓝莓 Cs 活性的影响

Fig.9 Effect of calcium lactate treatment on Cs activity of blueberry fruit

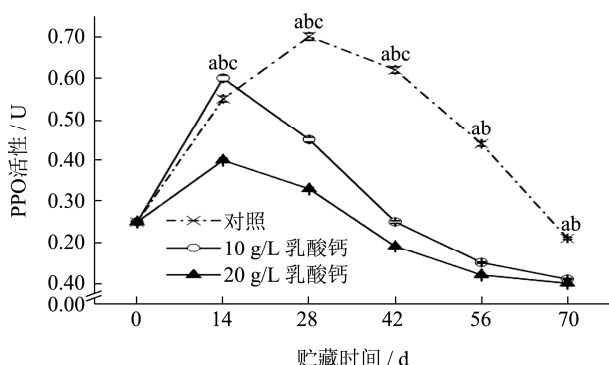


图 10 乳酸钙处理对蓝莓 PPO 活性的影响

Fig.10 Effect of calcium lactate treatment on PPO activity of blueberry fruit

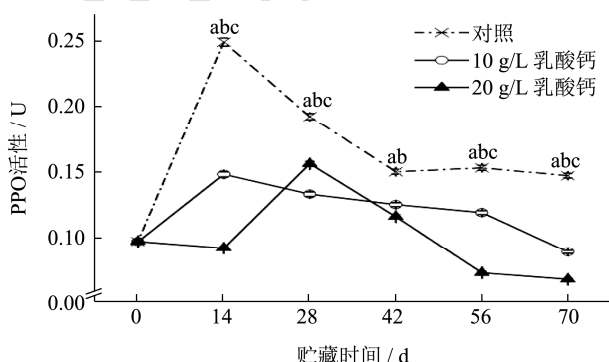


图 11 乳酸钙处理对蓝莓 POD 活性的影响

Fig.11 Effect of calcium lactate treatment on POD activity of blueberry fruit

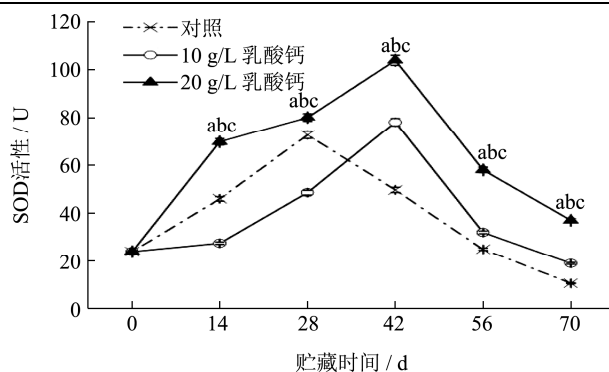


图 12 乳酸钙处理对蓝莓 SOD 活性的影响

Fig.12 Effect of calcium lactate treatment on SOD activity of blueberry fruit

2.4 乳酸钙处理对采后蓝莓果实抗氧化能力的影响

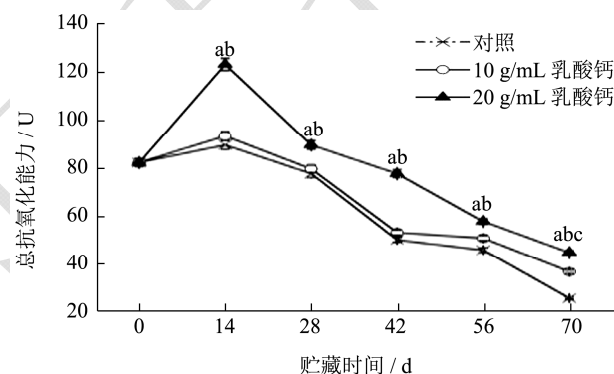


图 13 乳酸钙处理对蓝莓总抗氧化能力的影响

Fig.13 Effect of calcium lactate treatment on total antioxidant capacity of blueberry fruit

如图 13 所示,整个贮藏过程中,各处理蓝莓果实的总抗氧化能力大致呈先上升后下降趋势,并均于第 14 d 时达到最大值,以 20 g/L 乳酸钙处理的总抗氧化能力显著高于其它两处理 ($p<0.05$)。由此可见,20 g/L 乳酸钙处理可提高采后蓝莓的总抗氧化能力,进而延缓果实衰老,达到果实保鲜的目的。

2.5 主成分分析

主成分分析是将多个变量通过线性变换以选出较少个数重要变量的一种多元统计分析方法,是广泛用于化学实验数据的一种统计分析方法^[28,29]。本文对不同浓度乳酸钙处理采后蓝莓后所得各项指标进行主成分分析(所有数据分析前均进行标准化处理)。由分析可得,第一主成分、第二主成分、第三主成分的贡献率分别为:45.148%、23.077%、21.757%,三个主成分总贡献率为 89.982% (表 1),因此原来的 13 个指标可由此三个主成分代替。如表 2 所示,主成分 1 与

硬度、TSS、类黄酮、总酚、总抗氧化能力呈高度正相关、主成分2与花青素含量呈高度正相关、主成分3与Cs、POD、SOD呈高度正相关,因此以上三种主成分可直接反应采后蓝莓的生理变化。通过对这三种主成分进行综合评分可知(图14),三种处理的综合得分均呈先上升后下降的趋势,20 g/L乳酸钙处理的采后蓝莓综合得分显著高于其它两个处理,10 g/L乳酸钙处理的综合得分高于对照,说明乳酸钙处理可保持采后蓝莓品质,以20 g/L乳酸钙处理保鲜效果最好。

表1 主成分的初始特征值

Table 1 Initial eigenvalues of principal components

主成分	特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	5.869	45.148	45.148
2	3.000	23.077	68.225
3	2.828	21.757	89.982

表2 各指标的主成分载荷矩阵

Table 2 Principal component load matrix for each indicator

指标	主成分		
	1	2	3
失重率	-0.807	0.510	-0.039
硬度	0.864	0.382	0.145
呼吸	-0.363	-0.079	0.876
腐烂率	-0.864	0.443	0.004
TSS	0.850	-0.331	-0.297
总酚	0.730	0.562	0.236
类黄酮	0.841	0.251	0.276
花青素	0.456	0.778	0.375
Cs	-0.561	0.083	0.814
PPO	0.082	-0.810	0.479
POD	-0.110	-0.650	0.616
SOD	0.612	0.209	0.633
总抗氧化能力	0.845	-0.410	-0.071

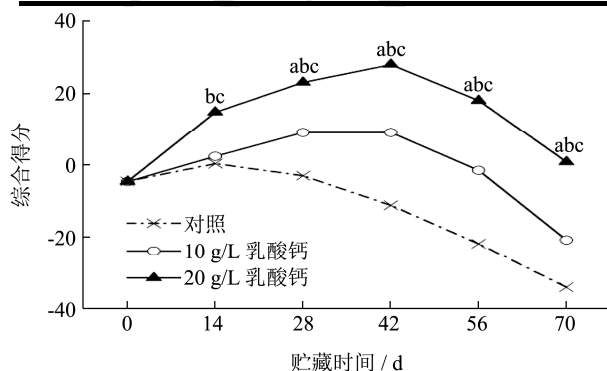


图14 乳酸钙处理对蓝莓各指标主成分综合得分的影响

Fig.14 Effect of calcium lactate treatment of comprehensive score of main components for blueberry indices

3 结论

研究结果显示,随着贮藏时间延长,乳酸钙处理比同期对照保持采后蓝莓感官品质的能力强,可维持果实硬度及总酚、黄酮、花青素的含量,延缓采后失重率和呼吸速率的下降,降低Cs、PPO活性,提高SOD酶活性及总抗氧化能力,以20 g/L的乳酸钙保鲜效果最为明显。

参考文献

- [1] Gallardo R K, Stafne E T, Devetter L W, et al. Blueberry producers' attitudes toward harvest mechanization for fresh market [J]. Horttechnology, 2018, 28(1): 10-16
- [2] 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, 450(2): 69-74
- [3] 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, 450(2): 69-74
- [4] Gong P, Chen F X, Wang L, et al. Protective effects of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) extract against cadmium-induced hepatotoxicity in mice [J]. Environmental Toxicology & Pharmacology, 2014, 37(3): 1015-1027
- [5] Forney C F. Prolonging the market-life of small fruit through atmosphere modification [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2009, 31(5): 637-645
- [6] 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
- [7] JIANG Ai-li, MENG Xian-jun, HU Wen-zhong, et al. Effects of high CO₂ shock treatment on physiological metabolism and quality of postharvest blueberry fruits [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 362-368
- [8] 罗冬兰,巴良杰,杨飒,等. 蓝莓采后品质与综合保鲜技术[J]. 产业与科技论坛, 2018, 17(6): 61-62
- [9] LUO Dong-lan, BA Liang-jie, YANG Sa, et al. Postharvest quality and comprehensive preservation technology of blueberry [J]. Industrial & Science Tribune, 2018, 17(6): 61-62
- [10] Chun H H, Kang J H, Song K B. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment and cold storage on microbial growth and quality of blueberries [J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2013, 56(3): 309-315
- [11] 韩斯,孟宪军,汪艳群,等. 氯化钙处理对速冻蓝莓冻藏期品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 310-314
- [12] HAN Si, MENG Xian-jun, WANG Yan-qun, et al. Effect of

- calcium chloride treatment on quality of quick frozen blueberry during frozen storage [J]. Food Science, 2014, 35(22): 310-314
- [9] Farahi M H, Goodarzi K. Effect of calcium chloride application on firmness and post harvest retention of berry grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Askari [J]. Journal of Science & Technology of Agriculture & Natural Resources, 2008, 12(45): 183-190
- [10] 王馨悦,姜爱丽,张静,等.钙处理对浆果品质影响的研究进展[J].食品与发酵工业,2018,44(3):287-292
WANG Xin-yue, JIANG Ai-li, ZHANG Jing, et al. Advances effects of calcium treatment on the quality of berries [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(3): 287-292
- [11] 金文斌,董姻然,岳溪,等.乳酸钙处理对鲜切菠菜生理生化的影响[J].食品工业科技,2013,34(19):303-307
JIN Wen-bin, DONG Yan-ran, YUE Xi, et al. Effect of calcium lactate treatments on physiological and biochemical changes of fresh-cut spinach [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(19): 303-307
- [12] Wang Y, Xie X, Long L E. The effect of postharvest calcium application in hydro-cooling water on tissue calcium content, biochemical changes, and quality attributes of sweet cherry fruit [J]. Food Chemistry, 2014, 160(11): 22-30
- [13] Chen F, Liu H, Yang H, et al. Quality attributes and cell wall properties of strawberries (*Fragaria annanassa* Duch.) under calcium chloride treatment [J]. Food Chemistry, 2011, 126(2): 450-459
- [14] 宋永令,王若兰,王翠翠.乳酸钙处理对猕猴桃鲜果切片品质和生理效应的影响[J].食品科技,2014,39(2):51-54
SONG Yong-ling, WANG Ruo-lan, WANG Cui-cui. Effect of calcium lactate treatment on physiology and quality of fresh-cut kiwi fruit slices [J]. Food Science and Technology, 2014, 39(2): 51-54
- [15] 仇占南,张茹阳,彭明明,等.北京野生软枣猕猴桃果实品质综合评价体系[J].中国农业大学学报,2017,22(2):45-53
CHOU Zhan-nan, ZHANG Ru-yang, PENG Ming-lang, et al. Comprehensive evaluation system of the fruit quality of wild *Actinidia arguta* in Beijing [J]. Journal of China Agriculture University, 2017, 22(2): 45-53
- [16] 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 Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experiment Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [17] Mendelová A, Mendel L, Fikselová M, et al. Evaluation of anthocyanin changes in blueberries and in blueberry jam after the processing and storage [J]. Potravinárstvo Scientific Journal for Food Industry, 2013, 7(1): 130-135
- [18] 孟宪军,姜爱丽,胡文忠,等.箱式气调贮藏对采后蓝莓生理生化变化的影响[J].食品工业科技,2011,32(9):379-383
MENG Xian-jun, JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, et al. Effects of plastic box modified atmosphere storage on the physiological and biochemical changes of postharvest blueberry fruits [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(9): 379-383
- [19] 姜爱丽.蓝莓果实采后生理生化代谢及调控研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2011
JIANG Ai-li. Study on physio-biochemical metabolism and its regulation of postharvest blueberry fruits [D]. Shenyang: Shenyang Agriculture University, 2011
- [20] 王亚楠,胡花丽,张璇,等.气调贮藏对‘红阳’猕猴桃果胶含量及相关酶活的影响[J].食品与发酵工业,2013,39(8):207-211
WANG Ya-nan, HU Hua-li, ZHANG Xuan, et al. Effects of controlled atmosphere on the pectin content and relevant metabolizing enzyme activities of hongyang kiwifruit [J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(8): 207-211
- [21] 姜爱丽,胡文忠,张维娜,等.异硫氰酸烯丙酯处理对鲜切紫甘蓝生理代谢的影响[J].食品科学,2018,39(3):252-258
JIANG Ai-li, HU Wen-zhong, ZHANG Wei-na, et al. Effect of allyl isothiocyanate treatment on physiological metabolism of fresh-cut purple cabbage [J]. Food Science, 2018, 39(3): 252-258
- [22] Caccavello G, Giaccone M, Scognamiglio P, et al. Influence of intensity of post-veraison defoliation or shoot trimming on vine physiology, yield components, berry and wine composition in aglianico grapevines [J]. Australian Journal of Grape & Wine Research, 2017, 23(2): 226-239
- [23] 周银颖,薛莹,王乾龙,等.UPLC-ESI-Q-TOF/MS 法筛查蓝莓中 77 种功能活性成分[J].食品科技,2018,43(2):286-292
ZHOU Yin-ying, XUE Ying, WANG Qian-long, et al. Analysis of seventy-seven active ingredients in blueberry by UPLC-ESI-Q-TOF/MS [J]. Food Science and Technology, 2018, 43(2): 286-292
- [24] 罗晓玲,徐嘉红,杨武斌,等.蓝莓花色苷抗氧化功能及稳定性研究进展[J].食品工业科技,2018,39(4):312-317
LUO Xiao-ling, XU Jia-hong, YANG Wu-bin, et al. Research progress in antioxidant function and stability of blueberry anthocyanins [J]. Science and Technology of Food Industry,

- 2018, 39(4): 312-317
- [25] Angeletti P, Castagnasso H, Miceli E, et al. Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties [J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 58(2): 98-103
- [26] Medina-Meza I G, Boioli P, Barbosa-Cánovas G V. Assessment of the effects of ultrasonics and pulsed electric fields on nutritional and rheological properties of raspberry and blueberry purees [J]. Food & Bioprocess Technology, 2016, 9(3): 520-531
- [27] Yan J, Song Y, Li J, et al. Forced-air precooling treatment enhanced antioxidant capacities of apricots [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2017, 3: e13320
- [28] Kallithraka S, Arvanitoyannis I S, Kefalas P, et al. Instrumental and sensory analysis of greek wines; implementation of principal component analysis (PCA) for classification according to geographical origin [J]. Food Chemistry, 2001, 73(4): 501-514
- [29] 陈军辉, 谢明勇, 王远兴, 等. 主成分分析法用于西洋参样品分类研究[J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(2): 193-197
- CHEN Jun-hui, XIE Ming-yong, WANG Yuan-xing, et al. Classification of *Panax quinquefolium* L. samples by principal component analysis [J]. Natural Products Research and Development, 2006, 18(2): 193-197
- [30] 田密霞, 胡文忠, 朱蓓薇, 等. 不同浓度的乳酸钙处理对鲜切皇冠梨生理变化的影响[J]. 食品科技, 2008, 33(6): 226-230
- TIAN Mi-xia, HU Wen-zhong, ZHU Bei-wei, et al. Physio-biochemical changes of fresh-cut pear treated with different concentrations of calcium lactate [J]. Food Science and Technology, 2008, 33(6): 226-230
- [31] 高姗, 赵晶晶, 俞子萱, 等. 乳酸钙处理对鲜切花椰菜生理生化及保鲜效果影响的研究[J]. 保鲜与加工, 2011, 11(3): 16-20
- GAO Shan, ZHAO Jing-jing, YU Zi-xuan, et al. Effects of calcium lactate treatments on physiological and biochemical changes of fresh-cut cauliflower [J]. Preservation and Processing, 2011, 11(3): 16-20
- [32] Figueroa C R, Opazo M C, Vera P, et al. Effect of postharvest treatment of calcium and auxin on cell wall composition and expression of cell wall-modifying genes in the chilean strawberry (*Fragaria chiloensis*) fruit [J]. Food Chemistry, 2012, 132(4): 2014-2022

(上接第 272 页)

- [2] 包海鹰, 图力古尔, 李玉. 蘑菇的毒性成分及其应用研究现状[J]. 吉林农业大学学报, 1999, 21(4): 107-113
- BAO Hai-ying, Tolgor, LI Yu. Mushroom toxins and its present of utilizational research [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 1999, 21(4): 107-133
- [3] Krizhevsky A, Sutskever I, Hinton G E. Imagenet Classification with Deep Convolutional Neural Networks [C] // Advances in Neural Information Processing Systems. FL, USA: Curran Associates, Inc., 2012: 1097-1105
- [4] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A. Deep Learning [M]. MA, USA: MIT Press, 2016
- [5] Chen C P, Liu Z. Broad learning system: An effective and efficient incremental learning system without the need for deep architecture [J]. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2018, 29(1): 10-24
- [6] Pao Y H, Takefuji Y. Functional-link net computing: Theory, system architecture, and functionalities [J]. Computer, 1992, 25(5): 76-79
- [7] Hoerl A E, Kennard R W. Ridge regression: biased estimation for nonorthogonal problems [J]. Technometrics, 1970, 12(1): 55-67
- [8] Chen C P, Wan J Z. A rapid learning and dynamic stepwise updating algorithm for flat neural networks and the application to time-series prediction [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 1999, 29(1): 62-72
- [9] Dua D, Graff C. UCI Machine Learning Repository [EB/OL]. [2019]. <http://archive.ics.uci.edu/ml>
- [10] Huang G B, Zhou H, Ding X, et al. Extreme learning machine for regression and multiclass classification [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics), 2012, 42(2): 513-529
- [11] Witten I H, Frank E, Hall M A, et al. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques [M]. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2016
- [12] Golub G H, Heath M, Wahba G. Generalized cross-validation as a method for choosing a good ridge parameter [J]. Technometrics, 1979, 21(2): 215-223