

生长期喷施有机钙对蓝莓鲜果的保鲜作用研究

王瑞, 胡旭林, 谢国芳, 吉宁, 马立志, 刘志刚, 岑顺友, 刘晓燕

(贵阳学院食品与制药工程学院, 贵州省果品加工工程技术研究中心, 贵州贵阳 550003)

摘要: 本研究通过对“园蓝”和“粉蓝”两个品种蓝莓果实生长期喷施有机钙, 从而达到提高保鲜效果。研究表明, 生长期内喷施有机钙可有效提高蓝莓果实中钙离子含量, 从而抑制了两个品种蓝莓果实呼吸强度、乙烯释放速率、丙二醛含量和可溶性果胶含量的升高, 降低 PPO、POD 和 PG 酶活性, 从而延缓了果实的衰老, 降低果实软果率和腐烂率 (80 d 时, “粉蓝 (喷钙)”的软果率较“粉蓝 (对照)”低 7.41%, 腐烂率低 5.62%; “园蓝 (喷钙)”的软果率较“园蓝 (对照)”低 11.62%, 腐烂率低 9.57%); 在果实品质方面, 喷钙处理果实的可溶性固形物、总酸、总酚、花色苷含量、失重率、可溶性果胶含量的变化均在不同程度受到抑制。除此之外, 喷钙处理果实表皮色泽和风味指数也较对照组有效保持。总之, 生长期喷钙可有效提高“园蓝”、“粉蓝”两个品种蓝莓果实的保鲜效果。

关键词: 有机钙; 蓝莓; 贮藏; 效果

文章编号: 1673-9078(2015)6-211-218

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.033

Study on the Effect of Organic Calcium Spray on the Preservation of Blueberry Fruit during the Growth Period

WANG Rui, HU Xu-lin, XIE Guo-fang, JI Ning, MA Li-zhi, LIU Zhi-gang, CEN Shun-you, LIU Xiao-yan

(School of Food and Pharmaceutical Engineering, Guiyang College, Guizhou Engineering Research Center for Fruit Processing, Guiyang 550003, China)

Abstract: Organic calcium spray was applied to blueberry fruits of two cultivars, ‘Gardenblue’ and ‘Powderblue’, during the growth period to improve the preservation effect. The results showed that the calcium content of blueberry fruits was effectively increased with the organic calcium spray. The increases through the growth period in respiratory rate, ethylene production rate, malondialdehyde content, and soluble pectin content in the blueberry fruits of two cultivars were inhibited, while the activities of polyphenoloxidase (PPO), peroxidase (POD), and polygalacturonase (PG) were decreased. As a result, fruit senescence was delayed, and the rates of rotting and soft fruit were decreased. Compared with the controls, the rates of rotting and soft fruit of ‘Powderblue’ after treatment with the organic calcium spray were decreased by 7.41% and 5.62%, respectively, and those of ‘Gardenblue’ after treatment with organic calcium spray were decreased by 11.62% and 9.57%, respectively. With regard to fruit quality, the changes in the soluble solid content, total acids, soluble pectin content, total phenols, anthocyanin content, and weight loss rate of the treated fruits were inhibited to varying degrees. Apart from this, the peel color and flavor index of the fruits treated with organic calcium spray were also effectively maintained. In summary, application of the organic calcium spray during the growth period can improve the preservation of blueberry fruits of the two cultivars ‘Gardenblue’ and ‘Powderblue’.

Key words: organic calcium; blueberry; storage; effect

合理的采前预处理可有效提高鲜果贮藏品质和寿命。众多研究表明, 采前、采后施用钙素可有效控

收稿日期: 2014-09-09

基金项目: 贵阳市科技局科技创新人才计划 (筑科合同筑科合同 [2012HK]209-33 号); 贵州省果品加工、贮藏与安全控制协同创新中心 (黔教协合同中心字 [201306]); 贵州省“食品与科学工程”重点学科建设项目 (黔学位合字 ZDXK [2014]13 号); 贵州省果品加工与贮藏研究科技创新人才团队 (黔科合人才团队 (2013) 4028)

作者简介: 王瑞 (1979-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 农产品贮藏与保鲜、生物质能源

制采后生理失调、真菌病害和抑制果实软化^[1-3]。总水溶性果胶、细胞壁和果实胞间层降解是蓝莓果实成熟过程中软化的主要原因^[4]。而钙离子可通过连接蛋白质和脂肪来维持细胞膜结构的稳定, 降低细胞膜的流动性和通透性, 并通过抑制多聚半乳糖醛酸酶(PG)活性, 抑制果实软化^[3]。1993 年, Hanson 等^[5]报道了通过采后浸渍 CaCl₂, 对“蓝丰”鲜果在 2 °C 条件下的保鲜效果的研究。结果表明, 经 2% CaCl₂ 浸渍的蓝莓鲜果具有较好的保鲜效果和口感。但 Hanson 在后续的研究中使用 0.02%、0.04%、0.08% CaCl₂ 在采前对

高丛蓝莓果实和叶片喷施研究,相对于对照,采前喷施 CaCl_2 对蓝莓果实中 Ca^{2+} 含量没有影响,对保鲜过程中的果实硬度、软化、腐烂率也没有影响^[6]。Stückrath 等^[7]报道了使用含钙叶面肥喷施高丛蓝莓 (Elliot variety) 植株用于改善鲜果保鲜效果的研究。结果表明,钙叶面肥可有效增加蓝莓叶片和果实中 Ca^{2+} 含量,从而达到提高蓝莓保鲜效果目的。2010年,Angeletti 课题组报道了通过向土壤中施加 CaSO_4 (0.06 kg/m^2) 的方式增加实验果实 (“奥尼尔”、“蓝丰”) 中钙离子含量,从而达到改善保鲜效果的研究^[8]。研究表明,相对于对照组,两个品种细胞壁中 Ca^{2+} 含量增加了 10~12%。在保鲜过程 (2°C 、23 d) 中,处理组组织中的软化、失重、果胶降解、腐烂、色泽变化、花色苷降解等指标都受到抑制。综上所述,增加蓝莓果实细胞中 Ca^{2+} 含量是达到提升保鲜效果的根本有效途径。

相对于无机钙制剂 (碳酸钙、氯化钙、硝酸钙等),有机钙制剂易溶于水和可交换,因此是更为有效的生理活性钙,易被植物体吸收,而无机钙制剂还可能会导致植物营养失衡或土壤污染。以刺梨果实为例,醋酸钙处理对刺梨果实发育促进作用好于碳酸钙^[9]。Angeletti 课题组^[8]通过在土壤中施用 CaSO_4 的方式提高了蓝莓鲜果中 Ca^{2+} 含量,从而改善蓝莓鲜果采后贮藏品质。该法虽有效,但存在实施成本高,操作繁琐和有可能造成土壤污染的弊端。课题组在前期研究中发现贵州黔东南州规模种植不同品种蓝莓中,“粉蓝”耐贮性最好;而“园蓝”虽不耐贮藏,但因富含花色苷也具有相当的鲜食市场潜力^[10]。本研究黔东南州规模种植“粉蓝”、“园蓝”鲜果为研究对象,通过在果实生长期喷施糖醇螯合钙,结合冰温、自发气调包装保鲜技术,考察采前喷施有机钙肥对两个品种蓝莓鲜果各项采后品质、生理指标及贮藏寿命的影响,为贵州省蓝莓鲜果动态保鲜、贮运技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

糖醇螯合钙 (美国布兰特股份有限公司, $\text{Ca}^{2+} \geq 140 \text{ g/L}$); 带孔 PE 蓝莓保鲜盒 ($0.11 \times 0.11 \times 0.04 \text{ m}$, 山东潍坊百乐源保鲜包装有限公司)、PE 保鲜膜 ($20 \mu\text{m}$, 山东潍坊百乐源保鲜包装有限公司); 所使用化学试剂均为分析纯; 水为二次蒸馏水。

1.2 供试植株与处理

试验在贵州省麻江县宣威镇陡坡坪蓝莓果园进

行,供试品种为“园蓝 (Garden blue)”、“粉蓝 (Powder blue)”。选择树势一致、健康 5 年生植株共计 160 株 (“园蓝”、“粉蓝”各 80 株)。每个品种设置两种处理,对照组:喷施蒸馏水 (每品种 40 株); 钙肥处理组:幼果期 (2013 年 7 月 17 日起) 每隔 7 d 喷施一次果蔬钙肥 (1000 倍),连续喷 3 次 (每品种 40 株)。喷施的主要对象是叶片和果实,以叶片和果面滴水为限。

1.3 样品采集及采后处理

选择 8~9 成熟,萼片未倒伏的健康果实于 2013 年 8 月 4 日 15:00~19:00 采收,3 h 运回贵州省果品加工工程技术研究中心果蔬贮藏与保鲜研究室,挑选大小、成熟度相对一致,无病虫害、无机械伤果实分装于带孔聚乙烯塑料盒内 ($125 \pm 3 \text{ g/盒}$),吹去田间热,然后经 $20 \mu\text{m}$ PE 保鲜膜分装 (6 盒/袋),每组设 3 个重复,分装后的蓝莓放置于 -1°C 的环境中预冷 24 h 后扎袋贮藏,每隔 20 d 取样测定相应指标。

1.4 主要仪器设备

精准控温保鲜库 ($\pm 0.3^\circ\text{C}$ 、 $90 \pm 5\% \text{ RH}$); GC-2010 岛津气相色谱仪,日本 Shimadzu 公司; UV-2550 紫外分光光度计,日本 Shimadzu 公司; AUW120D 电子分析天平,日本 Shimadzu 公司; TGL-16A 台式高速冷冻离心机,长沙平凡仪器仪表有限公司; JJ-2 型组织捣碎机,金坛市易晨仪器制造有限公司; PAL-1 型迷你数显折射计,日本 ATAGO; pHs-25 型数显酸度计,上海虹益仪器仪表有限公司; 6600 O_2/CO_2 顶空分析仪,美国 ILLINOIS 公司; CR-400 色差计,日本 KONICA 公司。

1.5 采后蓝莓鲜果生理生化指标测定及方法

按 d'Amour 等^[11]报道方法制备鲜果细胞壁分离物,然后根据 GB/T 5009.92-2003 法 (原子吸收分光光度法) 测定蓝莓细胞分离物中钙离子含量; 每袋取出 2 盒,针对所有果实以表面软化,流水、长霉和为标准判定软化和腐烂,从而计算软化率和腐烂率; 取 750 g 鲜果密封于干燥器内 30 min 后,分别经顶空分析仪和气相色谱仪测定果实呼吸强度、乙烯释放速率^[12]; 采用称重法测定果实失重率,计算公式为:果实失重率 (%) = (贮藏前果重 - 贮藏后果重) / 贮藏前果重 $\times 100\%$; 丙二醛含量采用硫代巴比妥酸比色法测定^[12]; 可溶性固形物含量测定方法为:每处理随机取 50 个蓝莓好果实,高速组织捣碎后经 10000 r/min 离心 10 min,取上清液使用 PAL-1 迷你数显折射仪测定; 总

酸含量按 GB/T 12456-2008 测定；果实中花色苷含量采用 pH 示差法测定^[13]；总酚含量采用福林-酚比色法测定^[13]；色差采用色差仪测定，每处理组随机选择 30 粒好果进行的定。其中 L 表示亮度，a 正值表示偏红，负值表示偏绿。b 正值表示偏黄，负值表示偏蓝；风味指数按文献报道方法测定^[14]；果实中多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)和多聚半乳糖醛酸酶(PG)均按曹健康报道方法测定^[12]。

1.6 数据处理

各指标均重复测定 3 次，结果以平均值±标准偏差表示；使用 SPSS 13.0 和 Origin 8.5 软件对数据进行分析并作图。样本进行非配对两样本均数差异显著性 t 检验分析 (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 生长期喷钙对蓝莓细胞壁分离物中钙离子含量的影响

经原子吸收分光光度法测定两个品种蓝莓鲜果细胞壁分离物中 Ca²⁺含量。如表 1 所示，经糖醇螯合钙处理的“粉蓝（喷钙）”、“园蓝（喷钙）”鲜果细胞壁分离物中 Ca²⁺含量均高于各自对照。以粉蓝鲜果组为例，刚采摘下来时，“粉蓝（对照）”细胞壁分离物中 Ca²⁺含量为 239.22±5.63 mg/100 g，而“粉蓝（喷钙）”为 277.59±3.51 mg/100 g，较对照提高了 16.04%，且差异极显著 (P<0.01)，贮藏至 80 d，二者细胞壁分离物中 Ca²⁺含量仍存在显著差异 (P<0.05)。同样的趋势也存在于“园蓝（对照）”与“园蓝（喷钙）”之间。

表 1 贮藏期内蓝莓鲜果细胞壁分离物中 Ca²⁺含量动态变化

Table 1 Dynamic changes in the calcium content in the cell wall isolates of blueberry fruits during storage

品种/处理	时间	
	0 d	80 d
粉蓝 (对照)	239.22±5.63 ^B	247.71±3.51 ^b
粉蓝 (喷钙)	277.59±4.21 ^A	269.49±6.17 ^a
园蓝 (对照)	258.36±5.94 ^B	242.23±3.94 ^B
园蓝 (喷钙)	307.32±7.91 ^A	287.29±4.29 ^A

注：不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著 (P<0.01)。

2.2 生长期喷钙对贮藏期内蓝莓果实品质的影响

影响

2.2.1 生长期喷钙处理对蓝莓果实软果率、腐烂率的影响

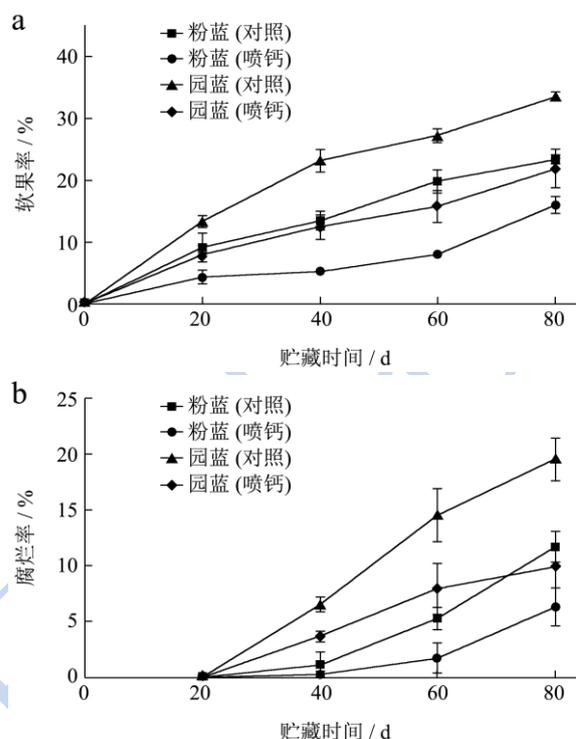


图 1 贮藏期内蓝莓果实动态变化:

Fig.1 Dynamic changes in the rates of soft fruit and rotting of blueberry fruits during storage

注：a: 软果率, b: 腐烂率。

软果率是判断果实贮藏期间外观品质和商品性的直观指标，而腐烂率则直接反映保鲜效果，二者直接影响鲜果果实的商品价值。由图 1 可见，贮藏 20 d 时，“粉蓝（喷钙）”、“园蓝（喷钙）”的软果率就显著低于各自对照处理 (P<0.05)。两个品种蓝莓果实在贮藏期 20 d 以后出现腐烂。至 80 d 时，“粉蓝（喷钙）”的软果率较“粉蓝（对照）”低 7.41%，腐烂率低 5.62%；“园蓝（喷钙）”的软果率较“园蓝（对照）”低 11.62%，腐烂率低 9.57%。由此可见，果实中 Ca²⁺含量的增加对两个品种蓝莓鲜果的软果率和腐烂率都有明显的抑制作用。

2.2.2 生长期喷钙处理对蓝莓果实失重率的影响

蓝莓鲜果具有易失水皱缩等特点，对果实的外观和风味指数均有所影响。低温条件下，生理代谢和蒸腾作用为果实失水的主要原因^[15]。采摘当天，粉蓝、粉蓝（喷钙）、园蓝、园蓝（喷钙）的含水率分别为 84.21%、83.10%、80.27%、78.83%。由图 5 可见，各

处理蓝莓的失重率随着贮藏时间的延长而不断升高。整个贮藏期内,“粉蓝”组失重率高于“园蓝”组。20 d、40 d 和 80 d 时“粉蓝”对照的失重率显著高于“粉蓝”喷钙 ($P<0.05$); 而“园蓝”组在 40 d 和 80 d 时也表现出显著差异 ($P<0.05$)。贮藏 80 d 时,粉蓝、粉蓝(喷钙)、园蓝、园蓝(喷钙)的失重率分别为 4.09%、3.29%、2.10%、1.42%。可见,采前喷钙处理对两个蓝莓品种的失重有抑制作用,这与 Ca^{2+} 改善果实细胞结构、抑制细胞衰老(图 3)和降低腐烂率(图 1)密切相关。

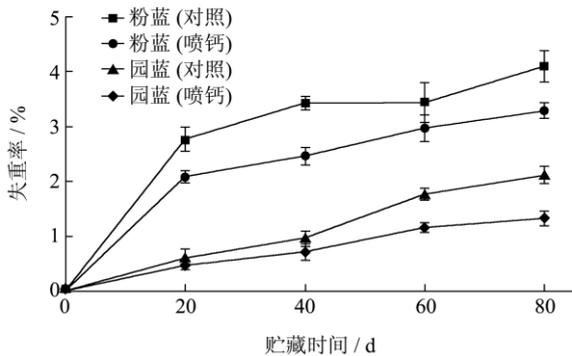


图 2 贮藏期内蓝莓果实失重率的动态变化

Fig.2 Dynamic changes in the weight loss rate of blueberry fruits during storage

2.2.3 生长期喷钙处理对蓝莓果实果皮色泽的影响

果实的色泽直接影响其商品价值,在贮藏期间果实果皮色泽的转变也可反映果实采后的后熟和衰老。

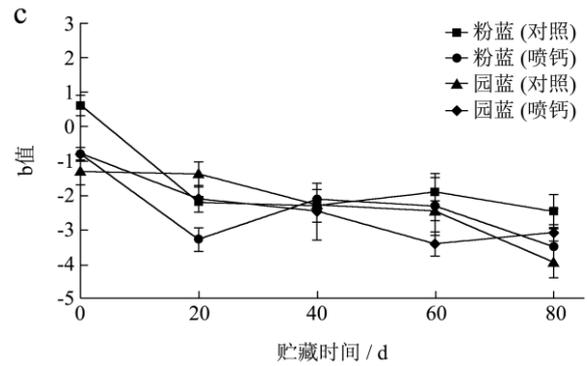
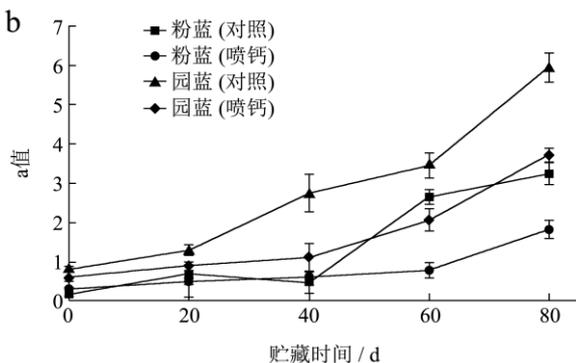
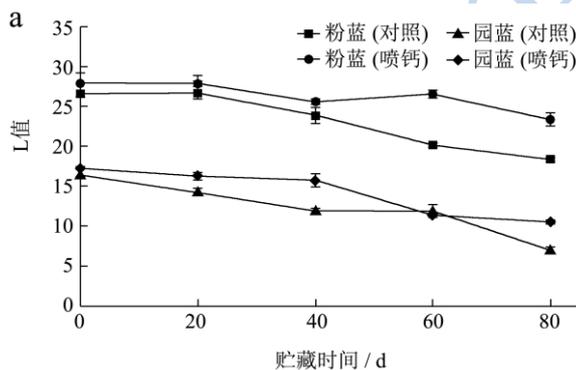


图 3 贮藏期内蓝莓果实表皮的 L、a、b 值动态变化

Fig.3 Dynamic changes in (a) L, (b) a, and (c) b values of blueberry fruits during storage

“粉蓝”鲜果由一层果粉包裹,而“园蓝”鲜果表面基本没有果粉,为黑亮色。蓝莓果皮中富含花色苷,且花色苷是一种天然色素,蓝莓果实的果皮颜色与其含量及变化直接相关。L 值代表亮度,取值 0 至 100,代表由黑至白; a 值由负到正表示颜色由绿到红; b 值由负到正代表颜色由蓝到黄。因此,被果粉包裹的“粉蓝”品种 L 值大于“园蓝”。“园蓝”果实中花色苷含量较“粉蓝”高^[10],因此在贮藏期内“园蓝”果皮 a 值偏正, b 值偏负。如图 3 所示,生长期喷钙处理对“粉蓝”、“园蓝”果实果皮颜色有一定影响。贮藏过程中,处理组鲜果 L 值高于始终比对照组(图 3a),结合 a、b 值(图 3b、c)喷钙处理对两个处理组的果皮色泽变化具有一定抑制作用。

2.2.4 生长期喷钙处理对蓝莓果实可溶性固形物、总酸含量的影响

大多数果蔬的可溶性固形物都在贮藏过程中都会呈现出先上升后下降的趋势。其原因在于贮藏初期原果胶转化为可溶性果胶,淀粉、纤维素等多糖降解转化为可溶性糖,随后又因新陈代谢消耗而降低。由图 4a 可见,生长期喷钙对与两个品种蓝莓果实的可溶性固形物初始值均有所影响,其中“粉蓝(喷钙)”的可溶性固形物含量 ($10.91 \pm 0.28\%$) 显著高于“粉蓝(对照)” ($8.91 \pm 0.14\%$) ($P<0.05$)。在 20 和 80 d 时,也表现出极显著差异 ($P<0.01$)。相对于 40 d 时的最高可溶性固形物值,“粉蓝(喷钙)”和“粉蓝(对照)”的可溶性固形物分别下降了 7.18% 和 10.37%。相对于“园蓝(对照)”,喷钙处理虽然没有提高“园蓝(喷钙)”的可溶性固形物,但延迟了其可溶性固形物最高峰的出现。“园蓝(喷钙)”和“园蓝(对照)”的可溶性固形物相对于最高值(40 d、20 d)分别下降了 20.96% 和 10.02%。由此可见,生长期喷钙可有效维持蓝莓果实贮藏过程中的可溶性固形物含量。果蔬在贮藏过

程中因呼吸等代谢作用消耗总酸，因此蓝莓果实的总酸在整个贮藏过程中呈现逐渐下降的趋势。由图 4b 可见，整个贮藏过程中喷钙处理可有效维持蓝莓果实总酸含量变化。

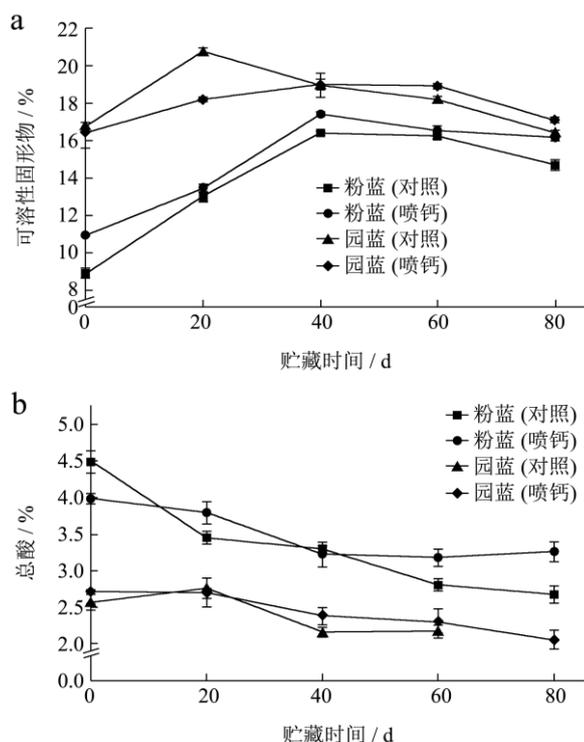


图 4 贮藏期内蓝莓果实可溶性固形物和总酸的动态变化
Fig.4 Dynamic changes in (a) soluble solid and (b) total acid contents of blueberry fruits during storage

2.2.5 生长期喷钙处理对蓝莓果实可溶性果胶含量的影响

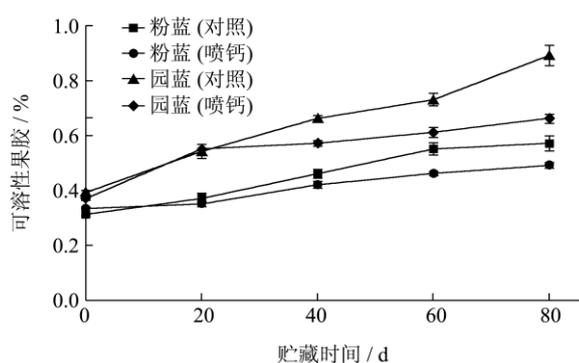


图 5 贮藏期内蓝莓果实可溶性果胶含量的动态变化
Fig.5 Dynamic changes in the soluble pectin content of blueberry fruits during storage

原果胶是纤维素和可溶性果胶的缩合高分子物质，主要存在于细胞壁内，对果实细胞具有重要的支撑作用，该物质在果胶酶的催化作用下生成可溶性果胶，果胶酶含量越高，说明果实细胞衰老程度越大。由图 5 可见，生长期喷钙对两个品种蓝莓果实在贮藏前期的可溶性果胶含量并没有显著影响 ($P>0.05$)。但

从 40 d 开始，“园蓝 (对照)”果实中可溶性果胶含量显著高于“园蓝 (喷钙)” ($P<0.05$)；而“粉蓝”组从 60 d 开始也表现出同样的趋势。结合表 1 结果，这一现象可归结为钙离子可与细胞壁中的果胶质结合形成果胶钙，果胶钙通过粘结植物细胞壁物质从而达到降低果实细胞膜通透性，抑制原果胶的降解，维持细胞壁强度的目的^[15]。

2.2.6 生长期喷钙对蓝莓果实总酚、花色苷含量的影响

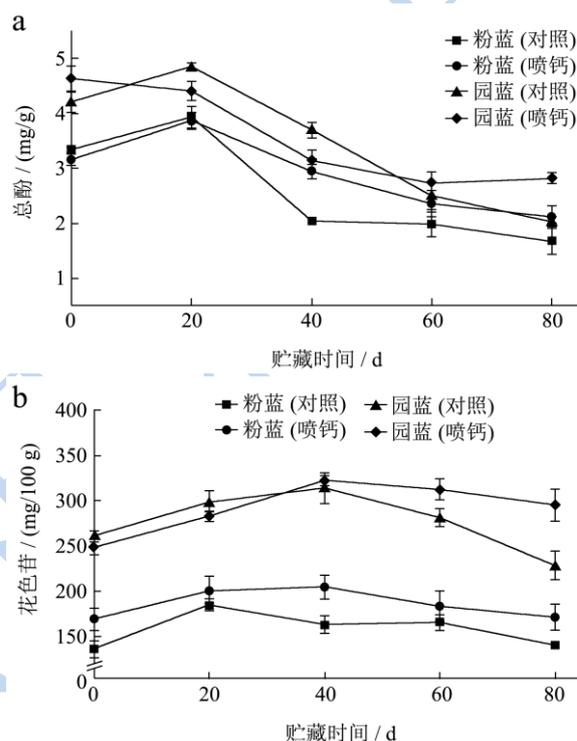


图 6 贮藏期内蓝莓果实总酚 (a)、花色苷 (b) 含量的动态变化

Fig.6 Dynamic changes in the (a) total phenols and (b) anthocyanin content of blueberry fruits during storage

花色苷和多酚是蓝莓的重要营养物质，具有重要的促进视红素再合成、抗炎、提高免疫力、清除自由基、延缓衰老及抗癌等生理活性^[13]。相对于“园蓝 (对照)”，生长期喷钙可显著提高“园蓝 (喷钙)”的多酚含量初始值 ($P<0.05$)。整个贮藏过程中“粉蓝 (喷钙)”和“园蓝 (喷钙)”果实的总酚含量下降趋势明显低于各自对照。由图 6b 所示，相对于“粉蓝 (对照)” ($136.01 \pm 6.23 \text{ mg}/100\text{g}$)，喷钙处理可显著提高“粉蓝 (喷钙)”的花色苷含量初始值 ($168.71 \pm 9.76 \text{ mg}/100\text{g}$) ($P<0.05$)。贮藏期间两个品种果实花色苷含量均表现出先上升后下降的趋势，但喷钙处理可有效抑制两个品种蓝莓花色苷含量降低。有研究表明花色苷对 pH 变化敏感^[13]，因此总酸的波动也会引起花色苷含量的波动 (图 4b)。

2.2.7 生长期喷钙处理对蓝莓果实风味指数的影响

表 3 贮藏期内蓝莓果实风味指数的动态变化

Table 3 Dynamic changes in the flavor index of blueberry fruits during storage

品种/处理	时间				
	0 d	20 d	40 d	60 d	80 d
粉蓝 (对照)	100 ^a	92.01±3.90 ^a	82.3±4.98 ^b	76.67±5.26 ^a	67.33±3.93 ^b
粉蓝 (喷钙)	100 ^a	90.72±2.16 ^a	90.43±3.03 ^a	84.33±4.30 ^a	79.79±5.29 ^a
园蓝 (对照)	100 ^a	94.33±2.63 ^a	80.67±4.03 ^a	63.67±3.17 ^b	41.33±3.05 ^B
园蓝 (喷钙)	100 ^a	91.16±3.09 ^b	86.71±5.33 ^a	81.67±5.81 ^a	74.33±5.76 ^A

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

除外观形态外, 风味指数也是衡量保鲜效果的重要指标之一。由表 3 可见, 两个品种不同处理蓝莓果实的风味指数在贮藏过程中均呈下降趋势, 其中以“园蓝 (对照)”最为明显。60 d 时因最高腐烂率 (图 2b、14.48%), “园蓝 (对照)”部分果实表现出明显异味, 因此风味指数显著低于“园蓝 (喷钙)” ($P<0.05$)。随着时间延长至 80 d 时, “粉蓝 (对照)”风味指数显著低于“粉蓝 (喷钙)” ($P<0.05$); 而“园蓝 (对照)”相当一部果实具有乙醇异味, 因此“园蓝 (对照)”风味指数极显著低于“园蓝 (喷钙)” ($P<0.01$)。结合腐烂率、可溶性固形物、总酸花色苷、总酚和花色苷含量 (图 1、4、6) 变化趋势, 可进一步说明生长期喷钙可有效维持蓝莓果实的风味指数。

2.3 生长期喷钙对蓝莓果实生理生化指标的影响

2.3.1 生长期喷钙对蓝莓果实呼吸强度和乙烯释放速率的影响

呼吸是果蔬采后重要的生理活动, 且相应地释放乙烯。如图 7 所示, 两个品种果实的呼吸强度和乙烯释放速率均表现出先上升后下降的趋势。贮藏期间“粉蓝 (喷钙)”的呼吸强度低于“粉蓝 (对照)”, 但差异不显著 ($P>0.05$)。“园蓝 (对照)”的呼吸强度在 40、60、80 d 时均极显著高于“园蓝 (喷钙)” ($P<0.01$)。在乙烯释放速率方面, “粉蓝 (喷钙)”在整个贮藏期内始终低于“粉蓝 (对照)”, 但差异不显著 ($P>0.05$)。“园蓝 (喷钙)”的乙烯释放速率在 4 个时间点均极显著低于“园蓝 (对照)” ($P<0.01$)。可见, 生长期喷钙处理能有效抑制蓝莓果实的呼吸强度和乙烯释放速率。贮藏过程中, “(园蓝) 对照”在贮藏过程中的腐烂率明显高于“(园蓝) 喷钙” (图 1(B)), 因腐烂而释放大量乙烯而刺激呼吸, 所以“(园蓝) 对照”的呼吸速率和乙烯释放速率与喷钙处理果实差异较大。

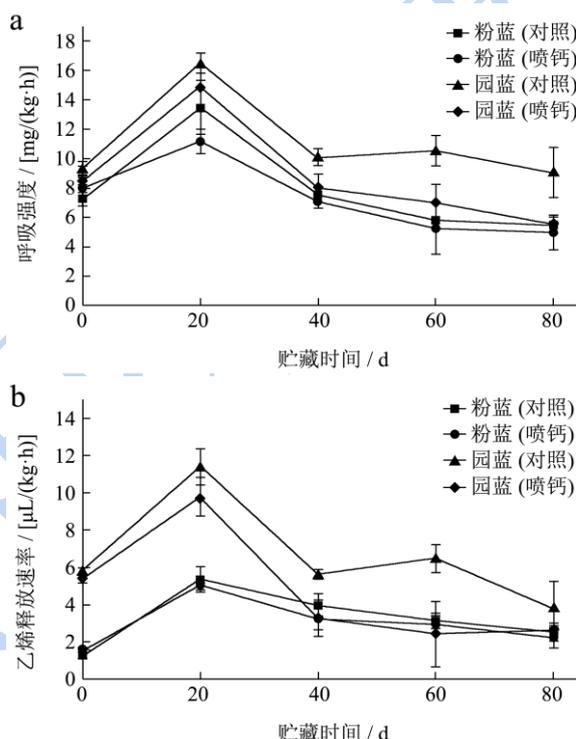


图 7 贮藏期间内蓝莓果实 (a) 呼吸强度、(b) 乙烯释放速率的动态变化

Fig.7 Dynamic changes in the (a) respiratory rate and (b) ethylene production rate of blueberry fruits during storage

2.3.2 生长期喷钙对蓝莓果实丙二醛的影响

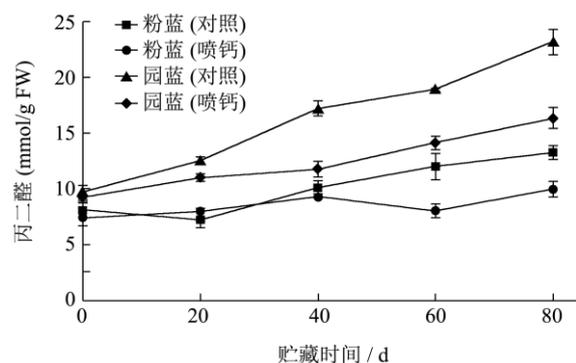


图 8 贮藏期内蓝莓果实中丙二醛含量的动态变化

Fig.8 Dynamic changes in the malondialdehyde content of blueberry fruits during storage

丙二醛是膜脂氧化的产物，其含量可反映植物细胞衰老程度。“园蓝”处理组的呼吸速率和乙烯释放速率高于“粉蓝”组（图7）。因此，“园蓝”处理组的丙二醛含量高于“粉蓝”处理组。 Ca^{2+} 可促进细胞膜结构的维持，延缓细胞膜结构的劣变进程，从而降低膜脂过氧化物丙二醛的含量和抑制细胞衰老^[15]。由图8可见，“园蓝（对照）”丙二醛含量在20 d就显著高于“园蓝（喷钙）”（ $P<0.05$ ），在随后的40、60和80 d均极显著高于“园蓝（喷钙）”（ $P<0.01$ ），80 d时，“园蓝（对照）”MDA含量达 23.17 ± 1.15 mmol/g FW，而“园蓝（喷钙）”喷钙处理80 d时MDA含量为 16.32 ± 0.64 mmol/g FW。“粉蓝”品种果实中丙二醛含量上升趋势明显弱于“园蓝”。“粉蓝（对照）”的丙二醛含量于60 d才开始显著高于“粉蓝（喷钙）”。可见，生长期喷钙能较好地抑制丙二醛含量的上升，延缓细胞衰老。

2.3.3 生长期喷钙对蓝莓果实 PPO、POD 和 PG 活性的影响

PPO、POD和PG活性变化对果实贮藏效果起重要作用。其中PPO酶能与果实酚类底物接触生成醌类物质，直接影响贮藏期果实褐变。如图9a可知，各处理蓝莓果实中PPO酶呈先上升后下降的趋势。在20、40、80 d时，“园蓝（对照）”果实中的PPO酶活性极显著高于“园蓝（喷钙）”，（ $P<0.01$ ）；而在40和80 d时，“粉蓝（对照）”果实中的PPO酶活性显著高于“粉蓝（喷钙）”，（ $P<0.05$ ）。POD酶可清除植物体内的自由基，并能催化更多的木质素单体形成木质素，但POD酶会催化 H_2O_2 、酚类物质产生酚类化合物。这些化合物进一步缩合形成颜色较深的化合物^[12]。由图9b可见，除“园蓝（喷钙）”除外，各处理蓝莓果实的POD活性呈先上升、后下降再上升的趋势。推测为蓝莓果实初期因采摘和低温胁迫产生 H_2O_2 ，从而刺激POD酶活性上升，随后逐渐适应而下降，后期因衰老产生自由基而再次激活。“粉蓝（对照）”和“粉蓝（喷钙）”40 d以前的POD活性没有显著差异（ $P>0.05$ ），60和80 d时“粉蓝（对照）”显著高于“粉蓝（喷钙）”（ $P<0.05$ ）。而“园蓝（对照）”始终显著高于“园蓝（喷钙）”。PG酶可催化裂解果胶分子中的1, 4-2-D-半乳糖苷键，解体细胞壁，对果实软化具有重要影响作用，且PG活性与可溶性果胶含量呈正相关^[12]。由图9c可见，整个贮藏过程中，“园蓝（对照）”的PG活性显著高于“园蓝（喷钙）”。“粉蓝（对照）”中的PG活虽始高于“粉蓝（喷钙）”，但仅在80 d表现出显著差异（ $P<0.01$ ）。通过系统比较可见，生长期喷钙可有效降低或维持“园蓝”、“粉蓝”的PPO、POD和PG活性。

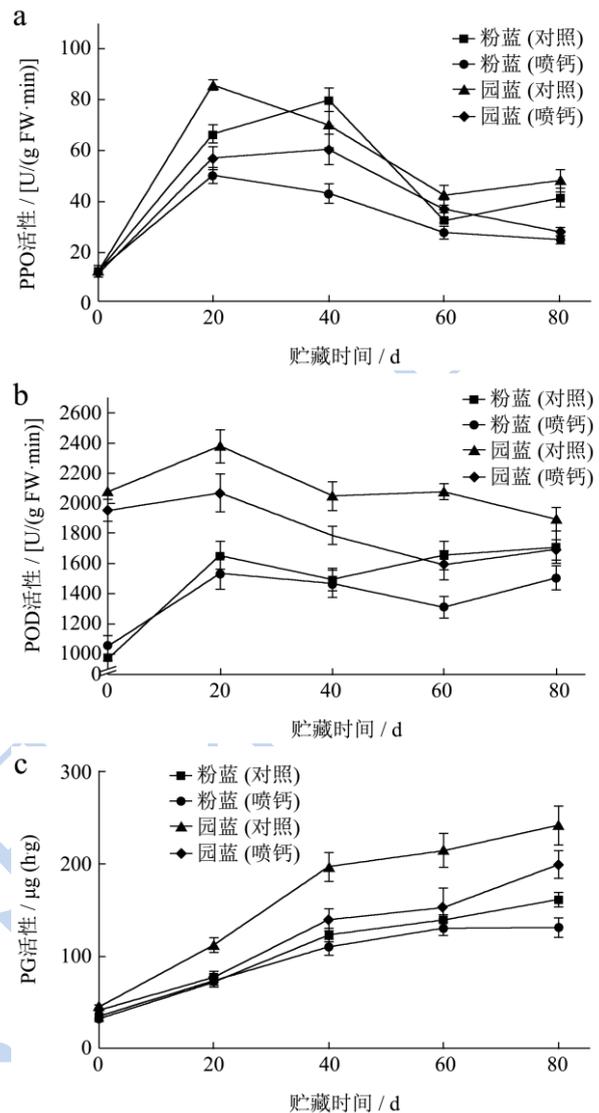


图9 贮藏期内蓝莓果实(a) PPO酶、(b) POD酶、(c) PG酶的动态变化

Fig.9 Dynamic changes in the PPO, POD, and PG activities of blueberry fruits during storage

3 结论

“园蓝”和“粉蓝”两个品种蓝莓是目前贵州省黔东南州主要栽种蓝莓品种。本研究通过在“园蓝”、“粉蓝”两个品种蓝莓果实生长期内喷施有机钙，有效提高了蓝莓果实细胞中的 Ca^{2+} 含量。相对于对照，生长期喷施有机钙可有效降低了“园蓝”、“粉蓝”两个品种蓝莓果实的软果率和腐烂率。80 d时，“粉蓝（喷钙）”的软果率较“粉蓝（对照）”低7.41%，腐烂率低5.62%；“园蓝（喷钙）”的软果率较“园蓝（对照）”低11.62%，腐烂率低9.57%； Ca^{2+} 效应不仅增加了“粉蓝（喷钙）”的可溶性物含量，还抑制了两个品种蓝莓果实中可溶性固形物、总酸、总酚、花色苷的降低和可溶性果胶、失重率的变化，并保持了果实表皮色泽

变化和风味指数。在生理生化方面,生长期喷施有机钙可降低两个品种蓝莓果实呼吸强度、乙烯释放速率,抑制丙二醛含量和可溶性果胶含量的升高,降低PPO、POD和PG酶活性,从而减缓果实细胞氧化和果胶的分解速度。总之,生长期喷施有机钙可减缓“园蓝”、“粉蓝”两个品种蓝莓果实衰老,改善贮藏品质和延长贮藏期。该方法操作简便,值得推广。

参考文献

- [1] P K Irfana, V Vanjakshic, M N K Prakash. Calcium chloride extends the keeping quality of fig fruit (*Ficus carica* L.) during storage and shelf-life [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 82: 70-75
- [2] A Ortiz, G Echeverría, J Graell, et al. The emission of flavour-contributing volatile esters by 'Golden Reinders' apples is improved after mid-term storage by postharvest calcium treatment [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 57: 114-123
- [3] S Vaka Reddy, S N A Reddy. Proteomics of calcium-signaling components in plants [J]. *Phytochemistry*, 2004, 65(24): 1745-1776
- [4] L K Johnson, A Malladi, D S NeSmith. Differences in cell number facilitate fruit size variation in rabbiteye blueberry genotypes [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2011, 136(1): 10-15
- [5] E J Hanson, J L Beggs, R M Beaudry. Applying calcium chloride postharvest to improve highbush blueberry firmness [J]. *HortScience*, 1993, 28(10): 1033-1034
- [6] Hanson E J. Preharvest calcium sprays do not improve highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) quality [J]. *HortScience*, 1995, 30(5): 977-978
- [7] R Stückrath, R Quevedo, D L Fuente, et al. Effect of calcium foliar application on the characteristics of blueberry fruit during storage [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2008, 31(5): 849-866
- [8] P Angeletti, H Castagnasso, 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 and Technology*, 2010, 58(2): 98-103
- [9] 陈梦茵,林河通,林钟铨,等.提高采后果实品质和耐贮性的采前药剂种类及其作用机理[J].*包装与食品机械*,2011, 29(6):46-49
CHEN Meng-yin, LIN He-tong, LIN Zhong-quan, et al. A review of chemicals of pre-harvest treatment which increasing fruit quality and storability of harvested fruit and its effect mechanism [J]. *Packaging and Food Machinery*, 2011, 29(6): 46-49
- [10] 王瑞,岑顺友,谢国芳,等.不同晚熟蓝莓贮藏期间的品质变化研究[J].*现代食品科技*,2014,30(3):43-48
WANG Rui, CEN Shun-you, XIE Guo-fang, et al. Comparison of changes in the storage quality among different late-maturing blueberry varieties [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(3): 43-48
- [11] J d'Amour, C Gosselin, J Arul, et al. Gamma-radiation affects cell wall composition of strawberries [J]. *Journal of Food Science*, 1993, 58(1): 182-185
- [12] 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-bao, ZHAO Yu-mei. Guidance for postharvest physiological and biochemical experiment of fruits and vegetables [M]. Beijing, China Light Industry Press, 2007
- [13] R A Moyer, K E Hummer, C E Finn, et al. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: vaccinium, rubus, and ribes [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(3): 519-525
- [14] 姜爱丽,孟宪军,胡文忠,等.高 CO₂ 冲击处理对采后蓝莓生理代谢及品质的影响[J].*农业工程学报*,2011,27(3):362-368
JIANG Ai-li, MENG Xian-jun, HU Wen-zhong, et al. Effects of high CO₂ shock treatments on physiological metabolism and quality of postharvest blueberry fruits [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(3): 362-368
- [15] A B Martín-Diana, D Rico, J M Frías, et al. Calcium for extending the shelf life of fresh whole and minimally processed fruits and vegetables: a review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2007, 18(4): 210-218