

氯化钙结合水杨酸雾化熏蒸 延缓冬枣采后品质及抗氧化性的下降

王霞伟¹, 邓豪¹, 张平², 王曼¹, 李哲³, 魏佳², 吴斌²

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052) (2. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091) (3. 新疆人民广播电视台, 新疆乌鲁木齐 830002)

摘要: 采用氯化钙 (Calcium chloride, CaCl₂) 结合水杨酸 (salicylic acid, SA) 雾化熏蒸技术对新疆冬枣进行处理, 研究该雾化熏蒸技术对冬枣采后品质及抗氧化性的影响。探索氯化钙结合水杨酸对冬枣采后品质的协同保鲜作用。结果表明: 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 处理可以减缓冬枣转色进程, 抑制冬枣贮藏期硬度、失重率、可滴定酸 (TA)、抗坏血酸 (V_C)、总酚、类黄酮含量、DPPH 自由基清除能力、ABTS 阳离子清除能力和 FRAP 铁离子还原能力的下降。综合来看, 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 处理较 2% CaCl₂ 和 2% CaCl₂+200 mmol/L SA 处理保鲜效果更好, 在第 6 d 时, a 值为 0.70、硬度为 9.24 N、失重率为 1.76%、TA 含量为 0.37%, 表明 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸可以很好的保持冬枣的采后品质和色泽转变, 同时, 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 处理后的冬枣 Vc 含量为 2.65 mg/g·FW, 总酚的含量为 4.83 mg/g·FW, 类黄酮的含量为 1.38 mg/g·FW, 分别是 CK 的 1.35 倍、1.21 倍、1.31 倍, DPPH、ABTS 和 FRAP 的清除能力比 CK 高了 51%、23% 和 40%, 表明 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸技术可以提高果实抗氧化能力, 延长货架销售期。因此, CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸技术可作为冬枣采后贮运保鲜新工艺的探索方向。

关键词: 氯化钙; 水杨酸; 雾化熏蒸; 冬枣; 采后品质; 抗氧化性

文章编号: 1673-9078(2021)06-136-143

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.6.1115

Atomized Calcium Chloride and Salicylic Acid Fumigation Prevents Postharvest Quality Deterioration and Antioxidant Capacity Reduction of Jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.)

WANG Xia-wei¹, DENG Hao¹, ZHANG Ping², WANG Man¹, LI Zhe³, WEI Jia², WU Bin²

(1. Xinjiang Agricultural University, College of Food Science and Pharmaceutical Science, Department of Food Science, Urumqi 830052, China) (2. Institute of Agro-products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi 830091, China)

(3. Xinjiang People's Broadcasting and Television Station, Urumqi, 830002, China)

Abstract: Herein, the synergistic effects of atomized calcium chloride (CaCl₂) and salicylic acid (SA) fumigation on the postharvest quality and antioxidant capacity of *Zizyphus jujuba* Mill., commonly known as Dongzao or winter jujube, were evaluated. Overall, treatment with 2% CaCl₂+100 mmol/L SA showed to slowdown the color change and inhibit the softening process of jujubes, as well as it

引文格式:

王霞伟, 邓豪, 张平, 等. 氯化钙结合水杨酸雾化熏蒸延缓冬枣采后品质及抗氧化性的下降[J]. 现代食品科技, 2021, 37(6): 136-143, +243

WANG Xia-wei, DENG Hao, ZHANG Ping, et al. Atomized calcium chloride and salicylic acid fumigation prevents postharvest quality deterioration and antioxidant capacity reduction of jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(6): 136-143, +243

收稿日期: 2020-12-01

基金项目: 新疆自治区重点研发计划项目 (2017B1002-3); 新疆冬枣产地综合保鲜与物流技术研究及应用 (201803050014)

作者简介: 王霞伟 (1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工

通讯作者: 吴斌 (1973-), 男, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工

prevented the weight loss rate and titratable acid (TA) content, as compared with 2% CaCl₂ or 2% CaCl₂+200 mmol/L SA treatments. Specifically, on day 6 upon treatment, the a factor value, hardness, weight loss rate, and TA content were 0.70, 9.24 N, 1.76%, and 0.37%, respectively, for jujubes treated with 2% CaCl₂+100 mmol/L SA, indicating that atomized CaCl₂+SA fumigation could effectively preserve the postharvest quality and color of the fruits. Overall, 2% CaCl₂+100 mmol/L SA treatment provides better preservation effects than 2% CaCl₂ and 2% CaCl₂+200 mmol/L SA treatments. Moreover, the ascorbic acid content of the jujubes treated with 2% CaCl₂+100 mmol/L SA was of 2.65 mg/g formula weight (FW), with a total phenol and flavonoid contents of 4.83 and 1.38 mg/g FW, respectively. These values were 1.35-, 1.21-, and 1.31-times higher, respectively, than those of the CK group. 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl and 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid scavenging abilities, and the ferric reducing antioxidant power of the 2% CaCl₂+100 mmol/L SA-treated jujubes were 51%, 23%, and 40% higher than those of the CK group, indicating that atomized CaCl₂+SA fumigation improved the antioxidant capacity of the jujubes, thereby extending their shelf-life. Therefore, CaCl₂+SA fumigation can pave the way for new techniques to enhance storage and transportation postharvest outcome of winter jujubes.

Key words: calcium chloride; salicylic acid; atomized fumigation; winter jujube; postharvest quality; antioxidant capacity

冬枣 (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) 独产于中国, 是当前公认的最好鲜食枣品种^[1]。新疆冬枣相比同类冬枣果形更加圆润, 皮更薄, 肉更脆, 口感更加甘甜醇厚, 市场潜力巨大。由于新疆距离内地市场四千多公里, 外运时间长、运输过程转红过快, 且新鲜的冬枣采后仍要进行新陈代谢, 极易出现失水皱缩、酒化腐烂等问题, 导致冬枣贮藏运输过程中的商品经济效益下降, 严重影响了新疆冬枣的外运销售。因此, 寻求一条适宜于新疆冬枣采后物流保鲜技术非常重要。

钙处理具有安全、经济和操作简单等特点, 已经在果蔬保鲜中得到广泛的应用。钙处理在红树莓和番茄果实中, 明显抑制了它们的软化, 减缓了 TA 和 Vc 等含量下降, 延长了果实的货架期^[2]。钙处理以雾化熏蒸技术运用在果实采后保鲜当前还未有报道。

水杨酸 (salicylic acid, SA) 对植物生长发育起着重要作用^[3]。研究表明, SA 能够增加草莓^[4], 木枣^[5]的抗病性, 抑制真菌微生物的侵染, 维持果品品质。根据金童等人^[6]的研究表明, 保鲜剂结合处理效果优于单一使用。目前, 国内外有关冬枣保鲜的研究主要集中在单一果蔬保鲜剂保鲜^[7]、气调保鲜^[8]、涂膜保鲜^[9]和冰温保鲜^[10]等, CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸技术对冬枣采后品质及抗氧化性还未见报道。

近年来, 国内外冬枣主要采用浸泡、喷洒等保鲜方法。雾化熏蒸技术是将保鲜剂以微粒的形式熏蒸水果, 在果蔬保鲜方面具有浸泡和喷洒无法达到的优势, 雾化熏蒸处理可降低成本、减少保鲜剂用量、提高处理效率、操作安全便捷、对环境友好且更加精准。课题组前期研究表明, SA 雾化熏蒸新疆小白杏可以更好的维持其贮藏品质, 延长货架期。

因此, 本试验采用 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸技术对冬枣进行处理, 探究了 CaCl₂ 结合 SA 对冬枣贮藏

品质及抗氧化性的协同保鲜作用, 为冬枣的采后贮藏提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冬枣: 购买于新疆九鼎农贸市场, 并立即运往新疆农业科学院冷库 0 °C 预冷 24 h。挑选果面二分之一绿、果形大小和成熟度基本一致、且无病虫害和机械损伤的冬枣进行后续研究。

CaCl₂, 天津亿创科技有限公司; SA, 河北科隆多生物技术有限公司; 氢氧化钠, 天津市光复科技发展有限公司; 冰醋酸, 天津致远化学试剂厂; 硼酸、硼砂、甲醇, 天津市福晨化学试剂厂; 试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

PARI BOY SX 型雾化器, 德国 PARI Gmb H; GY-4 型硬度计, 艾德堡仪器有限公司; PAL-1 手持数显折糖仪, 上海精密科学仪器有限公司; GL-20G-II 型高速冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂; 紫外可见分光光度计, UVmini-1240 日本岛津公司; SPX-100B-Z 生化培养箱, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; Color Reader CR-100, 日本柯尼卡美能达; DK-S26 电热恒温水浴锅, 上海森信实验仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 实验处理

将冬枣进行以下 4 种处理: ①对照 (CK): 无任何处理。②用 2% CaCl₂ 溶液雾化熏蒸 30 min。③先用 2% CaCl₂ 溶液雾化熏蒸 30 min, 12 h 后再用 100

mmol/L 的 SA 溶液雾化熏蒸 30 min。④先用 2% CaCl₂ 溶液雾化熏蒸 30 min, 12 h 后再用 200 mmol/L 的 SA 溶液雾化熏蒸 30 min。每个处理重复 3 次, 共用 60 kg 冬枣。处理后将果实放入内衬吸水纸的包装盒中, 用保鲜膜 (PE 保鲜膜材料) 进行包装。将处理后的冬枣放入 20±1 °C, 湿度为 50% 的恒温培养箱中贮藏。每天取样测定各个处理组的相关指标。

1.3.2 冬枣贮藏期间生理指标的测定

1.3.2.1 硬度

随机选取 6 个果实, 沿果实赤道部位等距离的两个位置用刀片削去果皮, 然后用 GY-4 型果实硬度计 5 mm 的探头进行测定, 每个处理重复 3 次。

1.3.2.2 失重率

参照魏征^[11]等人的方法, 每天进行称重并记录, 得出结果。

$$\text{失重率} / \% = \frac{\text{贮藏前果实质量} - \text{贮藏后果实质量}}{\text{贮藏前果实质量}} \times 100\%$$

1.3.2.3 a 值

用 CR-100 色差仪进行测定, 选择特定的果实对立面进行测定。

1.3.2.4 可溶性固形物测定

使用手持数显折糖仪 PAL-1 测定, 取 5.00 g 果实研磨匀浆, 用纱布过滤取澄清汁液, 滴于手持折光仪上进行读数, 每次随机测定 6 个果实。

1.3.2.5 可滴定酸测定

参照碱液直接滴定法^[12]测定。

1.3.2.6 Vc 测定

参照 2.6 二氯靛酚滴定法进行测定, 结果用 mg/g·FW 表示。

1.3.2.7 样品提取

称取 5.00 g 样品研磨成匀浆, 并向匀浆液中加入 50 mL 含 0.1% 乙酸的甲醇溶液, 超声提取 1 h。将提取物于 4 °C 黑暗环境中放置 24 h, 过滤并收集上清液 (以上程序重复 3 次) 在 40 °C 条件下减压旋转蒸发馏分物质, 合并馏分, 用 60% 甲醇溶液定容至 100 mL 容量瓶中 (用于抗氧化指标的测定)。

1.3.2.8 总酚、总类黄酮测定

总酚测定: 采用 Folin-Ciocalteu 测定; 总类黄酮测定: 采用硝酸铝比色法测定。

1.3.2.9 抗氧化性测定

DPPH 自由基清除率的测定: 样品组 (i): 取 3.0 mL DPPH 乙醇溶液, 加入 0.5 mL 不同浓度提取液; 对照组 (j): 取 3.0 mL 无水乙醇, 加入 0.5 mL 不同浓度提取液; 空白组 (c): 取 3.0 mL DPPH 乙醇溶液, 加入 0.5 mL 无水乙醇; 充分混匀, 37 °C 避光反应 30

min, 在 516 nm 处测定吸光值, 用无水乙醇调零, 抗坏血酸 (Vc) 溶液作为阳性对照^[13]。用以下公式计算。

$$\text{DPPH清除率} / \% = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_c}\right) \times 100\%$$

式中: A_c 为未加抗氧化剂时 DPPH 溶液的吸光度, 即空白组吸光度; A_i 为加抗氧化剂后 DPPH 溶液的吸光度, 即样品组吸光度; A_j 为提取液在测定波长的吸光度, 即对照组吸光度。

ABTS 阳离子自由基清除率的测定: 将 7.40 mmol/L ABTS 溶液与 2.60 mmol/L 过硫酸钾溶液按体积比 1:1 混匀, 室温避光静置 12 h, 使用前用无水乙醇稀释, 使吸光度在 734 nm 波长处为 0.70±0.02, 得到 ABTS 工作液。配制不同质量浓度样液分别取 1.00 mL, 加入 ABTS 工作液 3.00 mL, 混匀避光静置 10 min, 于 734 nm 波长处测定吸光度^[14]。Vc 作为阳性对照。根据以下公式计算。

$$\text{ABTS自由基清除率} / \% = \left(1 - \frac{A_0 - A_1}{A_0}\right) \times 100\%$$

式中: A₁ 为样品和 ABTS 工作液的吸光度; A₀ 为只加 ABTS 工作液的吸光度。

铁离子还原能力 (FRAP): 参照 Benzie^[15]的方法测定, 将提取物采用恒质量法确定样品质量浓度进行适当稀释。通过比较在不同浓度提取物中加入 FRAP 工作液后的吸光度大小, 分析其 FRAP 强弱。

1.4 数据处理

使用 Excel 2013 软件进行数据统计, SigmaPlot 12.5 软件作图, SPSS 20.0 软件进行显著性分析 ($p < 0.05$ 表示差异显著, $p < 0.01$ 表示差异极显著)。

2 结果与讨论

2.1 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸对冬枣转色度的影响

转色度能直观反映果实品质。a* 值为正值, 表示红色, 负值表示绿色, 正值越大, 颜色越红^[16]。如图 1 可知, 在贮藏期间, a* 值总体呈上升趋势, 表明冬枣颜色逐渐转红。CK 组的 a* 值上升较快, 色泽较红, 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸组 a* 值上升较慢, 色泽较绿, 两组显著性差异 ($p < 0.05$)。2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组 a* 值比 CK 组上升速率低, 但比 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 处理组上升速率高, 这可能是由于 2% CaCl₂ 的基础上, SA 含量

较高,导致冬枣转色较快。2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸处理对冬枣的转色有明显的抑制作用,其原因可能是 2% CaCl₂ 结合 100 mmol/L SA 处理通过延迟膜蛋白和磷脂分解过程,从而减少矿物质的泄漏,因此在冬枣贮藏的过程中对酚酸浓度和整体抗氧化性能有一定的影响^[17],所以延缓了冬枣的后熟,延迟了冬枣色泽变化的进程。

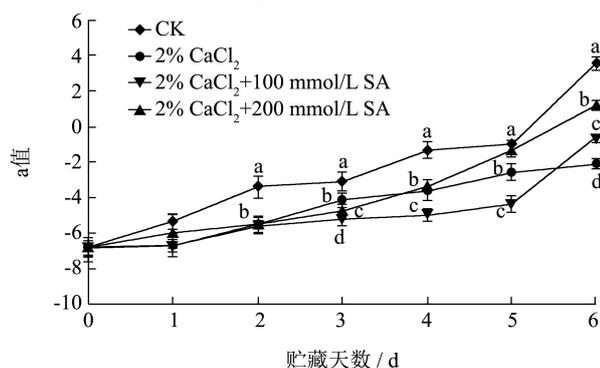


图 1 CaCl₂结合 SA 雾化熏蒸对冬枣转色的影响

Fig.1 The effect of CaCl₂ combined with SA atomization fumigation on the color conversion of winter jujube

注: 相同指标在同一天的不同处理,小写字母不同表示差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

2.2 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸对冬枣失重率、

硬度的影响

冬枣极易发生失水皱缩,影响果实的商品价值。失重率作为一个重要的指标,严重影响冬枣的口感和品质。如图 2a 所示,在贮藏期间,果实失重率不断上升,CK 组明显高于其它三组,这可能是由于在贮藏过程中果实的蒸腾作用和呼吸速率较大,导致果实水分流失增大^[18],从而导致失重率上升。2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸的失重率上升的较缓慢,在贮藏第 6 d,其失重率为 1.76%,比 CK、2% CaCl₂、2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸组的失重率分别低了 44.30%、20.72%和 28.16%。2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸显著延缓了果实的水分散失 ($p < 0.05$),这与王大伟^[19]等人采用浓度为 2% CaCl₂ 处理冬枣的趋势一致,延缓了失重率的上升。

硬度是体现枣果实抗压力和商品率的一个重要标志,如图 2b 所示,在 6 d 的贮藏期间,果实硬度总体呈下降趋势,但经过 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸的果实硬度明显优于 CK 组、2% CaCl₂ 和 2% CaCl₂+200 mmol/L SA 处理。在贮藏第 6 d,2% CaCl₂+100 mmol/L SA、2% CaCl₂、2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组比 CK 组分别高了

32.99%、26.08%和 14.69%,具有显著性差异 ($p < 0.05$)。结果表明:2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸处理对延缓冬枣软化效果优于其它处理组。钙处理被证实无论在采前或采后都可以抑制果实硬度的下降,从而改善果实的品质,提高果实的好果率^[20]。有研究发现,钙处理在细胞间的黏附中起着重要的作用,能够增加果实细胞壁中的果胶聚合物,保护果实细胞壁结构,这对保持果实的硬度非常重要^[21]。而 SA 处理也对细胞壁具有保护作用,能够延缓了果实硬度的下降。SA 在处理苹果、桃时,明显延缓了果实硬度的下降,增加了好果率^[22]。结果表明,2% CaCl₂+100 mmol/L SA 处理冬枣对其硬度下降有明显的延缓作用。

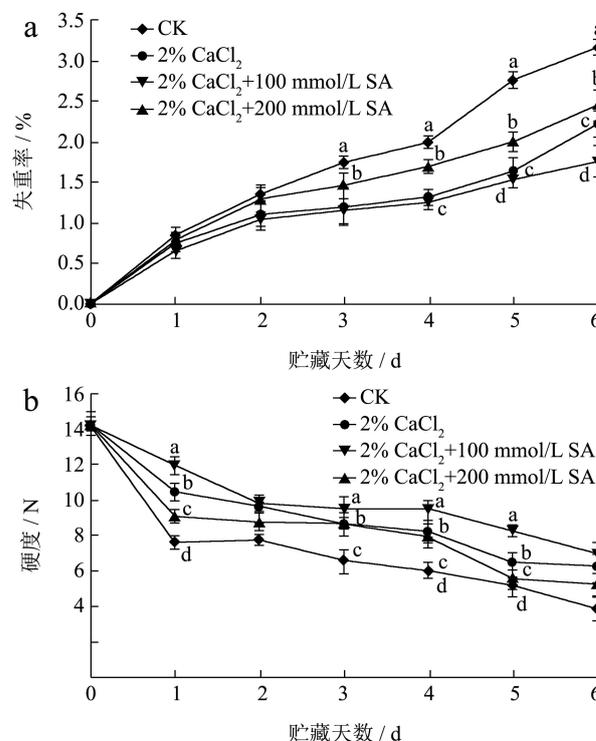


图 2 CaCl₂结合 SA 雾化熏蒸对冬枣失重率 (a)、硬度 (b) 的影响

Fig.2 The effect of CaCl₂ combined with SA atomization fumigation on the weight loss rate (a) and hardness (b) of winter jujube

2.3 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸对冬枣 TSS、TA

含量的影响

TSS 可直接反映果蔬的成熟度和品质,它是判断适时采收和果实耐贮藏性的一个重要指标^[23]。如图 3a 所示,在贮藏期间,TSS 总体呈现先上升后下降的趋势,这可能由于贮藏初期,枣中的部分淀粉转化成可溶性糖而增加了可溶性固形物的含量,随着贮藏

时间的延长,由于呼吸作用对糖的消耗,TSS又缓慢降低造成的^[24]。在贮藏前2 d,CK和2% CaCl₂+200 mmol/L SA雾化熏蒸处理组的TSS值基本相近,呈缓慢上升趋势,而2% CaCl₂、2% CaCl₂+100 mmol/L SA雾化熏蒸处理组的值明显低于其它两组,差异显著($p<0.05$)。在贮藏第5 d时,TSS值达到了高峰,CK、2% CaCl₂+200 mmol/L SA雾化熏蒸和2% CaCl₂处理组的值为23.15%、20.33%和17.38%,而2% CaCl₂+100 mmol/L SA雾化熏蒸处理组的值为15.81%,这证明2% CaCl₂+100 mmol/L SA雾化熏蒸处理明显的减缓了TSS值的上升。前人研究发现,SA在枇杷采后贮藏保鲜中能延缓TSS的下降^[25],说明TA处理不仅能够在水果绿熟期延缓TSS上升,还可以在水果全熟期延缓TSS下降。

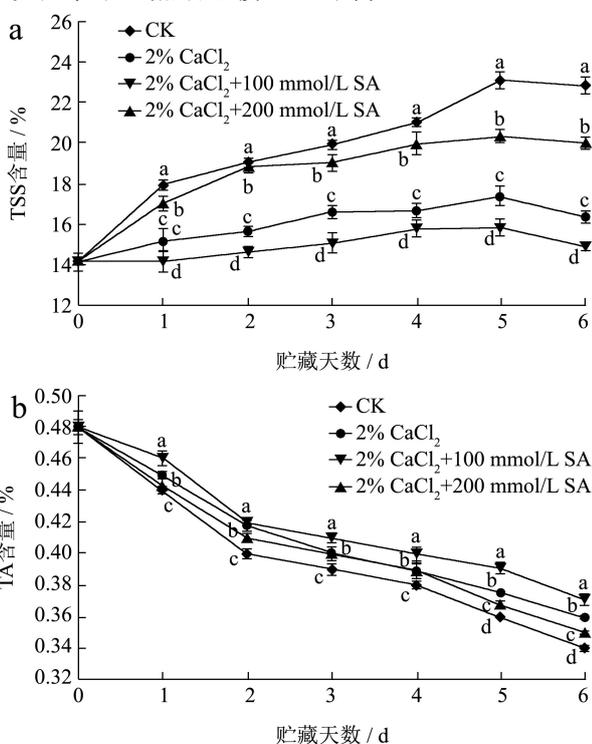


图3 CaCl₂结合SA雾化熏蒸对冬枣可溶性固形物(a)、可滴定酸(b)含量的影响

Fig.3 The effect of CaCl₂ combined with SA atomization fumigation on the content of soluble solids (TSS) and titratable acid (TA) of winter jujube

TA是冬枣中不可或缺的一种营养物质,很大程度上影响着冬枣的口感和风味。如图3b所示,TA在整个贮藏期内都呈现出下降的趋势,冬枣在贮藏过程中发生后熟现象,随着糖度的不断升高,酸度不断下降。在第6 d,CK、2% CaCl₂、2% CaCl₂+100 mmol/L SA和2% CaCl₂+200 mmol/L SA处理组的TA含量分别为0.34%、0.36%、0.37%、0.35%。结果表明,2% CaCl₂+100 mmol/L SA雾化熏蒸处理组可以更好的维

持冬枣中的TA含量,使其保持良好的风味($p<0.05$),这与陈娟等人^[26]在哈密大枣中的结果一致。

2.4 CaCl₂结合SA雾化熏蒸对冬枣Vc、总类黄酮、总酚含量的影响

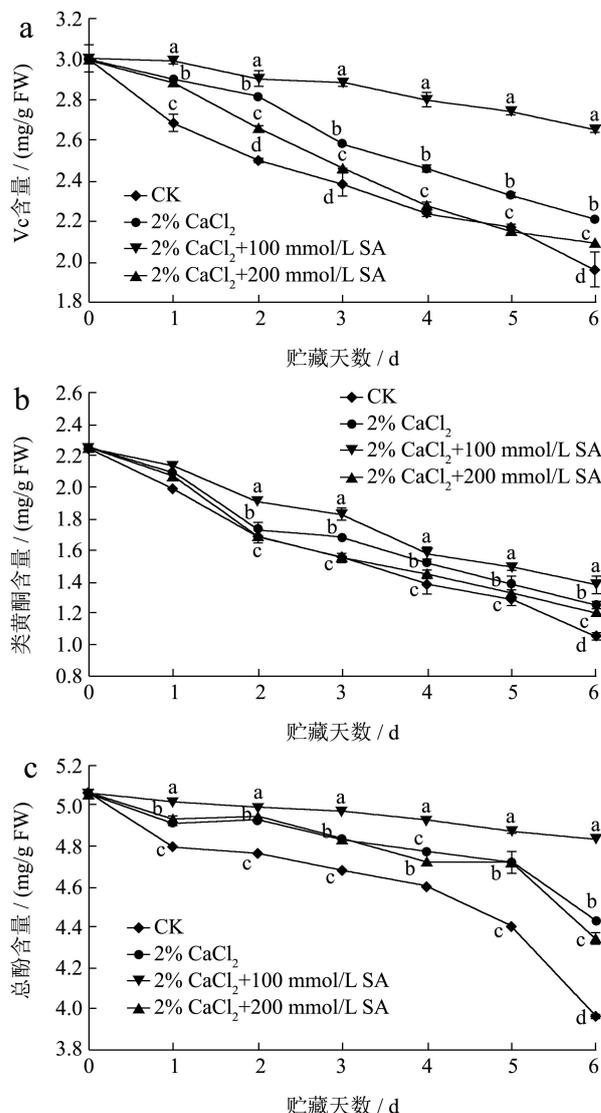


图4 CaCl₂结合SA雾化熏蒸对冬枣Vc(a)、类黄酮(b)、总酚(c)含量的影响

Fig.4 The effect of CaCl₂ combined with SA atomization fumigation on the content of Vc (a), flavonoids (b) and total phenols (c) of Dongzao jujube

Vc是新鲜枣果中最重要的抗氧化活性指标之一^[27]。如图4a所示,Vc含量总体呈现下降趋势。从图中可以看出,2% CaCl₂+100 mmol/L SA雾化熏蒸处理组的Vc含量明显高于其它三组。在第6 d,CK、2% CaCl₂和2% CaCl₂+200 mmol/L SA雾化熏蒸处理组的Vc含量分别比2% CaCl₂+100 mmol/L SA处理组低26%、19%和21%,说明2% CaCl₂+100 mmol/L

SA 雾化熏蒸处理组有利于冬枣 Vc 含量的保持。2% CaCl₂ 和 0.45 g/L SA 处理能明显的抑制辣椒 Vc 含量的下降^[28]，这与本试验趋势一致。

类黄酮是植物组织内的抗氧化物质之一^[29]。如图 4b 所示，类黄酮含量呈现总体下降趋势，CK、2% CaCl₂、2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组的类黄酮含量在前 2 d 下降较快，但从第 3 d 开始下降的较缓慢，第 6 d，CK、2% CaCl₂、2% CaCl₂+100 mmol/L SA 和 2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组冬枣的类黄酮含量分别为 1.05 mg/g·FW、1.25 mg/g·FW、1.38 mg/g·FW 和 1.20 mg/g·FW。这证明 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组类黄酮具有抑制脂质氧化的作用，可能与其螯合过渡金属离子，直接阻止自由基的生成或通过对其提供氢原子而阻断和终止自由基连式反应、阻止和抑制过氧自由基的生成反应和脂质过氧化链式反应的进行，抑制 MDA 的生成有关^[30]，从而有较强的抗氧化能力。

酚类是广泛存在于植物组织中的一类植物次生代谢化合物，它具有抗氧化、抗菌、抗肿瘤、增强免疫等多种生理活性，同时也是果蔬的感官质量和营养质量的决定因素^[31]。河北大学对金丝小枣中多酚类物质的研究表明，枣皮在生长过程中多酚含量变化不大，枣核和枣肉中酚类物质随成熟度的进行酚含量降低^[32]，图 4c 所示，第 1 d，2% CaCl₂ 和 2% CaCl₂+200 mmol/L SA 处理组的总酚含量差异显著性，第 6 d，2% CaCl₂、2% CaCl₂+100 mmol/L SA、2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组的总酚含量分别是 CK 处理的 1.11、1.21 和 1.09 倍。研究表明，总酚的含量呈现不断下降的趋势，但经过 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸的冬枣下降比其它处理组缓慢。已有研究表明，各种水果中酚类含量与 ORAC 呈线性关系^[33]，这说明酚类化合物是水果的抗氧化活性主要来源。2% CaCl₂+100 mmol/L SA 处理的总酚含量高于其它处理组，证明其抗氧化活性高于其它处理组 ($p<0.05$)。

2.5 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸对冬枣抗氧化性的影响

研究发现，DPPH、ABTS、FRAP 和 Vc、总酚、类黄酮等有效的自由基清除剂趋势一致。因此，通过采前或采后方式积累活性成分可以提升果实抗氧化能力^[34]，提高贮藏品质。如图 5 所示，冬枣的 DPPH、ABTS、FRAP 呈下降趋势。由图 5a 可知，第 6 d，2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组的 DPPH

自由基清除率为 71.70%，而 CK、2% CaCl₂、2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组的 DPPH 自由基清除率分别为 47.30%、60.00%、57.00%。这说明 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸处理的冬枣都在不同程度上影响了 DPPH 自由基清除率，这和张玲等人^[35]在不同枣品种中的研究结果一致，证明 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸技术对冬枣抗氧化方面有很好的效果。

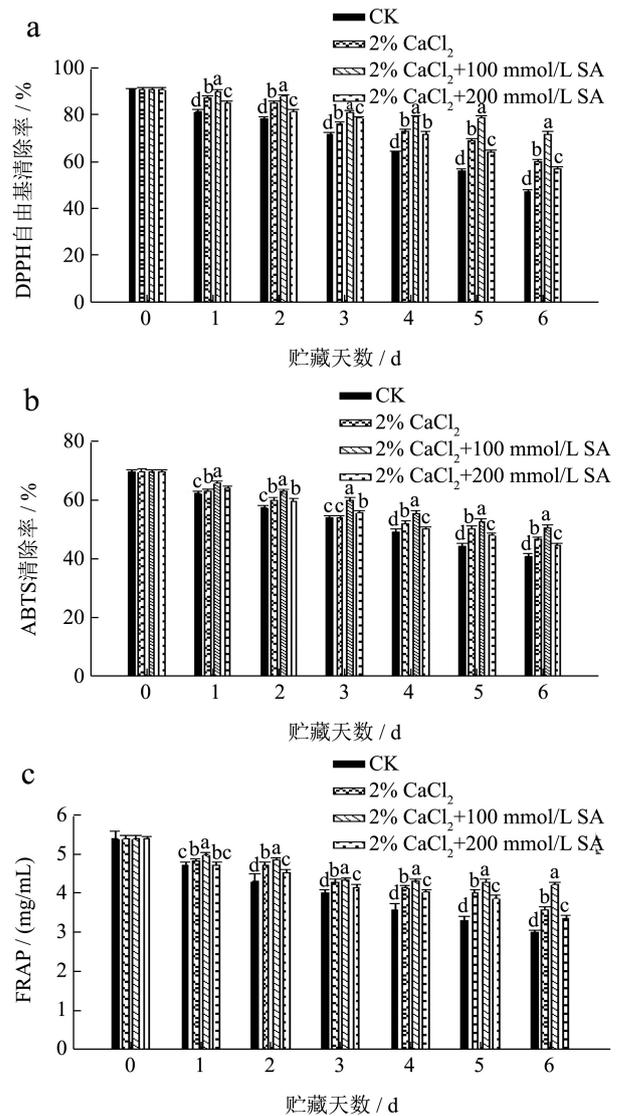


图 5 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸对冬枣抗氧化性的影响

Fig.5 The effect of CaCl₂ combined with SA atomization fumigation on the antioxidant capacity of Dongzao jujube

由图 5b 可知，经过 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸处理的冬枣 ABTS 阳离子自由基清除率也呈现总体下降趋势，第 6 d，2% CaCl₂+100 mmol/L SA 处理比 CK、2% CaCl₂ 和 2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组的清除率分别高了 23.32%、8.27%和 13.48%，差异性显著 ($p<0.05$)。证明 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸处理组对冬枣 ABTS 阳离子自由基清除率有显著的影响。由图 5c 可知，冬枣中的 FRAP 呈现整体下降趋

势, 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 在贮藏后 3 d 下降较为缓慢。在贮藏第 6 d, 2% CaCl₂、2% CaCl₂+100 mmol/L SA 和 2% CaCl₂+200 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组的 FRAP 分别为 CK 的 1.19 倍、1.40 倍和 1.12 倍。结果表明, CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸处理组对冬枣铁离子还原能力有显著的影响。

冬枣在贮藏期中, DPPH 自由基清除率、ABTS 阳离子清除率和铁离子还原能力都呈现下降趋势, 但经过 CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸处理的自由基清除能力都显著高于 CK。CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸延缓了冬枣的生理退化和腐败, 主要是由于其提高了冬枣的清除活性, 而且保护了细胞成分免受氧化损伤, 从而增强组织中抵御微生物入侵的防御系统。1%和 3%浓度的 CaCl₂ 可以抑制杏子的色泽转变, 保持抗氧化能力^[36]。2 mmol/L SA 的 SA 处理可以抑制杏果实的采后成熟进程, 减少失重率, 提高亲水性抗氧化能力, 降低亲脂性抗氧化能力^[37]。

3 结论

雾化熏蒸技术能够为冬枣电商贮运品质提供技术方法和工艺, CaCl₂ 结合 SA 雾化熏蒸能够有效维持冬枣的采后品质, 延缓冬枣转色和 TSS 的上升, 减慢了冬枣硬度、失重率、腐烂率和 TA 的含量的下降, 抑制冬枣的 Vc、类黄酮、总酚、DPPH、ABTS 和 FARP 的下降, 从而提高了冬枣的抗氧化能力, 为冬枣的贮藏研究提供了技术支持。二者结合使用效果优于单独使用, 其中 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸处理冬枣的保鲜效果优于其它处理组。

参考文献

- [1] 王亚萍, 王贵禧, 李艳菊. 冬枣贮藏保鲜技术研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 3: 82-87
WANG Ya-ping, WANG Gui-xi, LI Yan-ju. Research progress on the storage and preservation of winter jujube [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 3: 82-87
- [2] 刘瑶, 左进华, 郑秋丽, 等. 氯化钙对机械伤番茄果实生理特性的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 264-269
LIU Yao, ZUO Jin-hua, ZHENG Qiu-li, et al. The effect of calcium chloride on the physiological characteristics of mechanically injured tomato fruits [J]. Food Industry Science and Technology, 2020, 41(3): 264-269
- [3] Hayat Q, Hayat S, Irfan M, et al. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review [J]. Environ Exper Bot, 2010, 68: 14-25
- [4] Babalar M, Asghari M, Talaei A, et al. Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit [J]. Food Chem, 2007, 105: 449-453
- [5] Cao J K, Yan J Q, Zhao Y M, et al. Effects of four pre-harvest foliar sprays with β -aminobutyric acid or salicylic acid on the incidence of post-harvest disease and induced defence responses in jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruit after storage [J]. J Hort Sci Biotechnol, 2013, 88: 338-344
- [6] 金童. 1-甲基环丙烯 (1-MCP) 和二氧化氯联合使用对果蔬采后品质的影响[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2019
JIN Tong. The effect of the combined use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) and chlorine dioxide on the quality of fruits and vegetables after harvest [D]. Jinan: Qilu University of Technology, 2019
- [7] 魏征, 张政, 魏佳, 等. 茉莉酸甲酯雾化熏蒸对冬枣采后贮藏品质的影响[J]. 食品科技, 2020, 45(1): 43-48
WEI Zheng, ZHANG Zheng, WEI Jia, et al. Effect of methyl jasmonate atomized fumigation on the quality of postharvest winter jujube [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(1): 43-48
- [8] 王奎武. 冬枣气调保鲜技术[J]. 科学种养, 2015, 9: 59-60
WANG Kui-wu. Modified atmosphere preservation technology of winter jujube [J]. Scientific Planting and Raising, 2015, 9: 59-60
- [9] 胡晓艳, 乔勇进, 陈召亮. 壳聚糖涂膜对沪产冬枣贮藏期品质的影响[J]. 食品与机械, 2011, 27(1): 109-112
HU Xiao-yan, QIAO Yong-jin, CHEN Zhao-liang. The effect of chitosan coating on the quality of Shanghai winter jujube during storage [J]. Food and Machinery, 2011, 27(1): 109-112
- [10] 胡慧慧, 张辉, 张文娜, 等. 冰温贮藏提高新鲜若羌冬枣的品质[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 106-112
HU Hui-hui, ZHANG Hui, ZHANG Wen-na, et al. Storage at ice temperature improves the quality of fresh Ruoqiang dongzao [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 106-112
- [11] 魏征, 张政, 魏佳, 等. 水杨酸雾化熏蒸对新疆小白杏采后贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 113-119
WEI Zheng, ZHANG Zheng, WEI Jia, et al. Effects of salicylic acid atomization fumigation on the quality of Xinjiang xiaobai apricot after harvest [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 113-119
- [12] 韩雅珊. 食品化学实验指导[M]. 北京: 农业大学出版社, 1992

- HAN Ya-shan. Guidance of Food Chemistry Experiment [M]. Beijing Agricultural University Press, 1992
- [13] Sharma O P, Bhat T K. DPPH antioxidant assay revisited [J]. Food Chemistry, 2009, 113(4): 1202-1205
- [14] 陈雅楠,陈有忠,邱志伟.柴达木大肥菇菌丝胞内酚酸提取工艺优化及抗氧化活性分析[J].天津农业科学,2019, 25(10):14-18
CHEN Ya-nan, CHEN You-zhong, QIU Zhi-wei. Optimization of the extraction process of phenolic acid and analysis of antioxidant activity in the mycelium of Chaidamu agrocybe [J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2019, 25(10): 14-18
- [15] I F F Benzie, J J Strain. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay [J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76
- [16] 高哲,李红卫,韩涛.气体包装对冷藏冬枣颜色变化及品质的影响[J].农业工程学报,2008,S2:302-306
GAO Zhe, LI Hong-wei, HAN Tao. Effects of gas packaging on the color change and quality of cold storage winter jujube [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, S2: 302-306
- [17] Barker A V, Pilbeam D J. Handbook of Plant Nutrition [M]. CRC Press, Boca Raton, FL, 2007, 613
- [18] Zhu X, Wang Q M, Cao J K, et al. Effects of chitosan coating on postharvest quality of mango (*Mangifera indica* L. cv. Tainong) fruits [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2008, 32(5): 770-784
- [19] 王大伟,向延菊.采后钙处理对新疆和田地区冬枣贮藏特性的影响[J].食品工业,2016,37(8):92-95
WANG Da-wei, XIANG Yan-ju. Effects of postharvest calcium treatment on the storage characteristics of winter jujube in Hetian, Xinjiang [J]. Food Industry, 2016, 37(8): 92-95
- [20] 郭慧慧,李红卫,韩涛,等.冬枣冷藏期间果皮和果肉抗氧化物质含量及其抗氧化活性的变化[J].林业科学,2013,1:85-90
GUO Hui-hui, LI Hong-wei, HAN Tao, et al. Changes in antioxidant content and antioxidant activity in the peel and flesh of Dongzao jujube during cold storage [J]. Forestry Science, 2013, 1: 85-90
- [21] Babak, Madani, Amin, et al. Effect of calcium chloride treatments on calcium content, anthracnose severity and antioxidant activity in papaya fruit during ambient storage [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2016, 96(9): 2963-2968
- [22] 韩涛,李丽萍,王有年,等.水杨酸处理对采后园艺产品的作用[J].植物学通报,2002,19(5):560-566
HAN Tao, LI Li-ping, WANG You-nian, et al. The effect of salicylic acid treatment on postharvest horticultural products [J]. Botany Bulletin, 2002, 19(5): 560-566
- [23] M Yu, L Shen, A Zhang, et al. Methyl jasmonate-induced defense responses are associated with elevation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase in *Lycopersicon esculentum* fruit [J]. Journal of Plant Physiology, 2011, 168(15): 1820-1827
- [24] 刘萌,范新光,王美兰,等.不同包装方法对蓝莓采后生理及贮藏效果的影响[J].食品科学,2013,34(14):346-348
LIU Meng, FAN Xin-guang, WANG Mei-lan, et al. Effects of different packaging methods on postharvest physiology and storage effects of blueberries [J]. Food Science, 2013, 34(14): 346-348
- [25] 吴锦程,黄晓尊.水杨酸对枇杷冷藏效果的影响[J].云南农业大学学报,2005,6:65-70
WU Jin-cheng, HUANG Xiao-zun. The effect of salicylic acid on the cold storage of loquat [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2005, 6: 65-70
- [26] 陈娟,车凤斌,张婷,等.茉莉酸甲酯对哈密大枣贮藏品质的影响[J].保鲜与加工,2015,15(2):7-11
CHEN Juan, CHE Feng-bin, ZHANG Ting, et al. Effects of methyl jasmonate on the storage quality of Hami jujube [J]. Freshness and Processing, 2015, 15(2): 7-11
- [27] 刘杰超,张春岭,陈大磊,等.不同品种枣果实发育过程中多酚类物质、Vc含量的变化及其抗氧化活性[J].食品科学, 2015,17:118-122
LIU Jie-chao, ZHANG Chun-ling, CHEN Da-lei, et al. Changes in the content of polyphenols and Vc and their antioxidant activity during fruit development of different varieties of jujube [J]. Food Science, 2015, 17: 118-122
- [28] 陈娟娟,陶乐仁,马国强,等.氯化钙和水杨酸处理对辣椒冷藏品质的影响[J].食品工业科技,2015,36(4):292-295
CHEN Juan-juan, TAO Le-ren, MA Guo-qiang, et al. Effects of calcium chloride and salicylic acid treatment on chilled chilli quality [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(4): 292-295

(下转第 243 页)