

雾化熏蒸结合气调包装技术 在冬枣采后贮运保鲜中的应用

王霞伟¹, 王曼¹, 邓豪¹, 田全明¹, 陈恺¹, 吴斌^{2*}, 张政³, 于永春⁴

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 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. 新疆农业大学林学与园艺学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(4. 特克斯县农业技术推广中心, 新疆特克斯 835500)

摘要: 为探究雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣采后贮运品质的协同保鲜作用, 以新疆冬枣为研究试材, 采用 2% CaCl₂+100 mmol/L SA (salicylic acid, SA) 雾化熏蒸结合 8% O₂+92% N₂ 气调包装处理, 以 8% O₂+92% N₂ 气调包装与无处理作为对照组, 测定相关生理指标变化。结果表明: 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸结合气调包装技术明显抑制了冬枣硬度、可滴定酸、原果胶、纤维素含量的下降, 延缓了腐烂率、失重率、细胞膜渗透性、可溶性固形物、可溶性果胶、纤维素酶 (Cellulase, Cx)、果胶甲酯酶 (pectin methyl esterase, PME)、多聚半乳糖醛酸酶 (Polygalacturonase, PG) 的上升。雾化熏蒸结合气调包装方式较对照组效果更好, 在第 6 d 时, 硬度为 9.16 N、失重率为 1.54%、腐烂率为 2.00%、细胞膜渗透性为 43.65%、TSS 为 17.20%、TA 为 0.81%。纤维素、原果胶、可溶性果胶含量分别为 0.45%、0.59%、0.88%, Cx、PME、PG 的酶活性比 8% O₂+92% N₂ 气调包装对照组低了 23.52%、18.60% 和 10.00%, 比无处理对照组低了 40.90%、22.22% 和 30.28%, 表明雾化熏蒸结合气调包装技术对延缓冬枣采后腐烂有显著的效果, 可以延长货架期。因此, 雾化熏蒸结合气调包装技术作为一种新型的处理方式可以很好的提升冬枣贮运品质。

关键词: 雾化熏蒸; 气调包装; 冬枣; 贮运保鲜

文章编号: 1673-9078(2021)10-153-161

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.10.0071

Application of Atomization Fumigation Combined with Modified Atmosphere Packaging Technology in Storage, Transportation and Preservation of Winter Jujube

WANG Xia-wei¹, WANG Man¹, DENG Hao¹, TIAN Quan-ming¹, CHEN Kai¹, WU Bin^{2*}, ZHANG Zheng³, YU Yong-chun⁴

(1. Xinjiang Agricultural University, College of Food Science and Pharmaceutical Science, Urumqi 830052, China)

(2. Institute of Agro-products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi 830091, China)

(3. Xinjiang Agricultural University, College of Forestry and Horticulture, Urumqi 830052, China)

(4. Tekes County Agricultural Technology Extension Center, Tekes 835500, China)

Abstract: In order to explore the synergistic effect of atomization fumigation and modified atmosphere packaging technology in preserving the quality of winter jujube during postharvest storage and transportation, Xinjiang winter jujube was used as the research material, and 2% CaCl₂+100 mmol/L SA (salicylic acid) atomization fumigation combined with 8% O₂+92% N₂ modified atmosphere packaging

引文格式:

王霞伟,王曼,邓豪,等.雾化熏蒸结合气调包装技术在冬枣采后贮运保鲜中的应用[J].现代食品科技,2021,37(10):153-161

WANG Xia-wei, WANG Man, DENG Hao, et al. Application of atomization fumigation combined with modified atmosphere packaging technology in storage, transportation and preservation of winter jujube [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(10): 153-161

收稿日期: 2021-1-21

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发项目 (2017B1002-3); 广州市科技项目 (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, E-mail: 1452224191@qq.com

通讯作者: 吴斌 (1973-), 男, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: 42042615@qq.com

treatment were applied. Using 8% O₂+92% N₂ modified atmosphere packaging only (without the atomization fumigation treatment) as the control group, the changes in related physiological indicators were measured. The results showed that 2% CaCl₂+100 mmol/L SA atomization fumigation combined with modified atmosphere packaging technology inhibited significantly the decreases in the hardness, titratable acid, protopectin and cellulose content of the winter jujube, and delayed the rise of the decay rate, weight loss rate, cell membrane penetration, soluble solids, soluble pectin, cellulase (Cellulase Cx), pectin methyl esterase (PME) and polygalacturonase (PG). Atomized fumigation combined with modified atmosphere packaging seemed better than the control group. On the 6th day, the hardness was 9.16 N, weight loss rate was 1.54%, decay rate was 2.00%, cell membrane permeability was 43.65%, TSS was 17.20% and TA was 0.81%. The contents of cellulose, protopectin, and soluble pectin were 0.45%, 0.59%, and 0.88%, respectively. The enzyme activities of Cx, PME, and PG were lower by 23.52%, 18.60% and 10.00%, respectively, compared with those of the control group subjected only to 8% O₂+92% N₂ modified atmosphere packaging, and lower by 40.90%, 22.22% and 30.28% compared to the untreated control group. These results indicate that atomization fumigation combined with modified atmosphere packaging technology can significantly delay the decay of postharvest winter jujube, and can extend the shelf life. Therefore, atomization fumigation combined with modified atmosphere packaging technology as a new treatment method can improve the quality of winter jujube during storage and transportation.

Key words: atomized fumigation; modified atmosphere packaging; winter jujube; storage and transportation

冬枣 (*Ziziphus jujube* cv. *dongzao*) 是新疆特色农产品之一^[1], 采收期一般集中在 9~10 月, 在此期间大量上市。冬枣是一种不耐贮藏的鲜食枣品种, 采后很快会出现软化转色过快、失水皱缩、霉烂等现象, 导致冬枣供应期短, 市场商品性差^[2]。硬度下降和转红过快已经成为冬枣采后贮运的主要问题, 给商家造成了很大的经济损失。

果实软化主要与细胞壁活性成分(纤维素、原果胶、可溶性果胶)和细胞壁降解酶(纤维素酶、多聚半乳糖醛酸酶、果胶甲酯酶)有关^[3]。目前, 在冬枣软化方面的研究, 主要采用 1-MCP^[4]、CaCl₂^[5]、茉莉酸甲酯^[6]等方法来处理, 延缓其硬度的下降。前期已录用文章表明, 2% CaCl₂+100 mmol/L SA 雾化熏蒸冬枣的硬度显著 ($p<0.05$) 高于 CaCl₂ 和 SA 单独处理, 二者具有明显的协同保鲜作用。

果实软化可能与贮运包装过程中的细胞壁代谢和后熟转色有关。气调包装可以抑制果实贮藏期间的转色进程, 减少质量损失率, 延长货架期^[7]。有研究发现, 冬枣气调包装的 O₂ 宜为 8%~10%, CO₂ 宜为 0%~0.5%^[8], N₂ 作为一种惰气, 主要用于驱逐其它气体。

目前, 电商物流逐渐成为新疆特色农产品外运的一种重要方式, 冬枣在贮运过程中, 由于保鲜技术缺失, 包装简单等问题, 造成果实转红过快, 硬度下降, 口感失脆, 从而使其销售商品性大大降低, 制约了新疆冬枣外运销售量。雾化熏蒸结合气调包装技术是否会成为冬枣电商物流过程中实用的保鲜技术, 迄今为止, 未见有这方面的研究报道。因此, 本试验通过雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣进行处理, 通过研究果实的基本软化品质和相关酶活性, 为冬枣的采

后贮运和电商物流提供了一个新的技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冬枣: 采自新疆库车县冬枣种植基地, 立即运往新疆农业科学院冷库进行 0℃ 预冷 24 h。挑选果面偏绿, 果形大小和成熟度基本一致, 无病虫害和机械损伤的果实进行处理。

氯化钙, 天津亿创科技有限公司; 水杨酸, 河北科隆多生物技术有限公司; 氢氧化钠、多聚半乳糖醛酸、三氯乙酸、抗坏血酸, 天津市光复精细化工研究所; 柠檬酸、果胶、纤维素, 天津市致远化学试剂有限公司; 以上试剂均为分析纯。

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-2600 日本岛津公司; SPX-100B-Z 生化培养箱, 上海博讯实业有限公司理疗设备厂; GD1913 气调包装机, 广州行远包装机械有限公司; DK-S26 电热恒温水浴锅, 上海森信实验仪器有限公司。

1.3 试验方法

将冬枣进行以下 3 种处理: ①对照 (T1): PE 膜包装。②(T2): 将冬枣放入盒内, 充入 8% O₂+92% N₂, 用 PE 膜进行包装密封。③ (T3): 用 2% CaCl₂ 溶液

熏蒸 30 min, 12 h 后再用 100 mmol/L 的 SA 溶液熏蒸 30 min, 然后充入 8% O₂+92% N₂, 用 PE 膜进行包装密封。处理后的冬枣在 PE 膜上各打 1 个孔(孔径为 0.40 mm), 每个处理用 20 kg 冬枣。各组处理完后放入 (20±1) °C、50% 的恒温恒湿培养箱中进行观察。每天取样测定相关指标变化, 每个处理重复 3 次。

1.4 指标测定

1.4.1 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, 用 GY-4 型果实硬度计 5 mm 的探头进行测定。

1.4.2 细胞膜渗透性

参照 Zhou 等^[9]的方法, 用 P 902 型电导仪测定。

$$\text{电导率} / \% = \frac{\text{煮后电导率}}{\text{煮前电导率}} \times 100\%$$

1.4.3 腐烂率

$$\text{腐烂率} / \% = \frac{\text{腐烂果实数}}{\text{果实总数量}} \times 100\%$$

1.4.4 失重率

采用称重法来测定冬枣的失重率。

1.4.5 可溶性固形物 (TSS)

随机取 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, 采用手持 PAL-1 糖度仪测定。

1.4.6 可滴定酸 (TA)

采用氢氧化钠溶液滴定法测定, 将 10.00 g 研磨好的果实样品用蒸馏水转移到 100 mL 容量瓶内定容, 30 min 后过滤, 吸取 20.00 mL 滤液, 加入 2 滴酚酞, 用已标定的氢氧化钠溶液进行滴定。

1.4.7 可溶性果胶、原果胶、纤维素含量的测定

可溶性果胶 (water-soluble pectin, WSP) 和原果胶 (protopectin, PP) 测定: 取 5.00 g 冷冻组织于 10.00 mL 95% 乙醇中研磨, 8000 r/min 离心 15 min, 加入 5.00 mL 80% 乙醇洗涤沉淀物, 恒温水浴 1 h 后, 收集上清液, 稀释至 100 mL, 作为 PP 提取物, 倾去上清液, 向沉淀物中添加 0.50 mol/L 硫酸, 沸水浴煮 45 min, 冷却至室温, 8000 r/min 离心 15 min, 即为 WSP 提取物, 分别取 1.00 mL PP 与 WSP, 并向试管中加入 6.00 mL 浓硫酸, 煮沸 10 min。待溶液冷却至室温后再加入 0.20 mL 1.50 g/L 咔唑试剂, 混匀, 于 530 nm 处测定吸光度^[10]。根据半乳糖醛酸标准曲线计算 PP 和 WSP 的含量, 并用 % 表示。

纤维素含量测定: 参照 Zhao 等^[11]的方法测定。

1.4.8 多聚半乳糖醛酸酶、纤维素酶、果胶甲

酯酶的测定

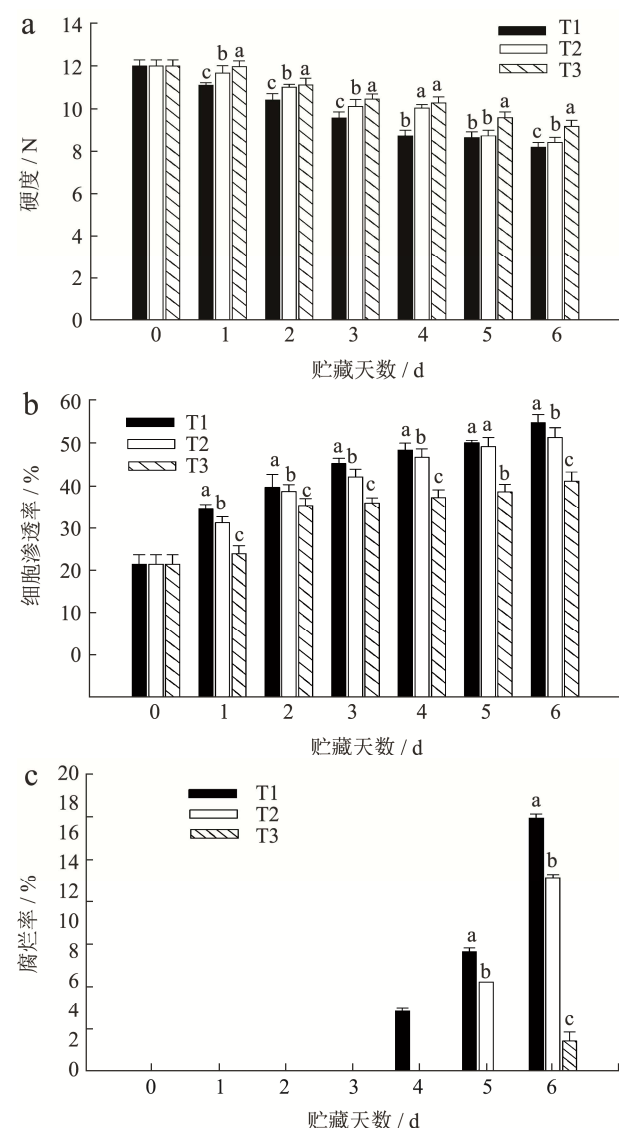
多聚半乳糖醛酸酶 (Polygalacturonase PG)、纤维素酶 (Cellulase Cx) 活性的提取和测定方法基于 Fan 等^[12]描述的方法, 并稍加修改。果胶甲酯酶 (pectin methyl esterase PME) 的提取和测定方法参照 Chen 等^[13]的方法, 结果都表示为 U/kg。

1.5 数据分析

使用 Excel 2013 软件进行数据统计, SigmaPlot 12.5 软件作图, SPSS 19.0 软件进行显著性和相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣硬度、细胞膜渗透性、腐烂率、失重率的影响



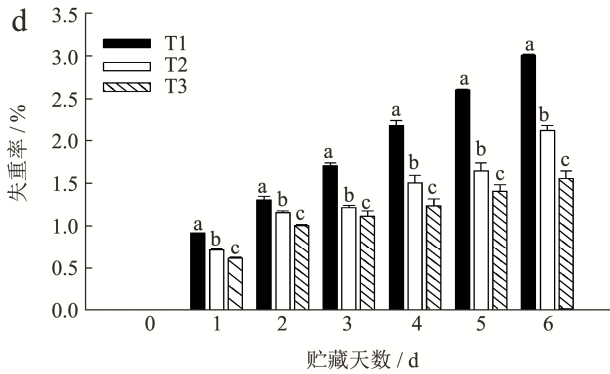


图1 雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣硬度、细胞膜渗透性、腐烂率、失重率的影响

Fig.1 The effect of atomization fumigation combined with modified atmosphere packaging technology on the hardness, cell membrane permeability, decay rate and weight loss rate 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 ($p < 0.05$)。

硬度是冬枣软化的重要指标。如图 1a 所示，在贮藏期间，冬枣的硬度随着时间的延长呈现不同程度的下降，至贮藏期末（第 6 d），经过处理的两组硬度均显著 ($p < 0.05$) 高于未做处理的 T1 组。T3 处理组的枣果实硬度最高，是 T1 组的 1.12 倍。说明雾化熏蒸结合气调包装处理可以有效延缓冬枣硬度的下降，保持果实的脆度。这与高哲等^[14]采用 SA 和 CaCl_2 浸泡处理冬枣的趋势一致。此外，果实硬度不断下降可能和成熟度的上升有关，随着成熟度的上升，细胞壁中的大分子物质逐渐变小，导致细胞壁发生破损，硬度下降^[15]。

细胞膜可以维持细胞内环境的相对稳定，使各种生化反应能够有序运行，细胞膜渗透性在一定程度上能反映细胞膜受到损伤和果蔬组织的衰老^[16]。如图 1b 所示，随着贮藏时间的增加，细胞膜渗透性呈现不断上升的趋势。在贮藏末期（第 6 d），T3 处理组的值为 43.66%，显著 ($p < 0.05$) 低于 T1 和 T2 对照组，说明雾化熏蒸结合气调包装处理可以抑制冬枣细胞膜渗透性的上升。采用 0.50%氯化钙+1.00%柠檬酸+1.00%异抗坏血酸浸泡处理鲜切芒果的细胞膜渗透性和本研究一致，呈上升趋势^[17]。

腐烂率是衡量果实品质和保鲜效果的最直观指标。由图 1c 可知，冬枣果实腐烂率呈现不断上升趋势，在贮藏前 3 d，三组处理都未出现腐烂现象，但在贮藏第 4 d 时，T1 的腐烂率为 4.00%，显著高于 ($p < 0.05$) T2 和 T3 处理组，说明雾化熏蒸结合气调包装技术可以减少冬枣腐烂率的增加。钙离子可与果胶酸生成不溶于水的果胶酸钙，在细胞间形成共价键桥而维持组

织的质地，抑制软化^[14]，从而增加硬度，延缓果实腐烂率。这与本课题组采前喷施 SA 处理对贮藏期红地球葡萄商品性趋势一致^[18]。

如图 1d 所示，贮藏期的冬枣失重率逐渐增加，处理组的失重率显著低于 CK 组 ($p < 0.05$)。在贮藏后期（第 6 d），T1、T2 和 T3 处理组的值分别为 3.00%、2.10% 和 1.54%，证明雾化熏蒸结合气调包装技术可以减缓冬枣失重率的上升。由于三组处理的包装都为 PE 包装，因此，对冬枣的蒸腾作用的影响基本一致，T1、T2 与 T3 处理组失重率显著差异的原因可能是由于雾化熏蒸和气调包装复合处理，导致冬枣呼吸强度减弱，从而延缓了冬枣失重率的上升。

T3 处理组相比 T1 处理，差异显著 ($p < 0.05$)，这可能是由于雾化熏蒸结合气调处理冬枣，保护了冬枣细胞膜的完整性，从而延缓了硬度的下降，减慢了腐烂率和失重率的上升。

2.2 雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣可溶

性固形物 (TSS)、可滴定酸 (TA) 的影响

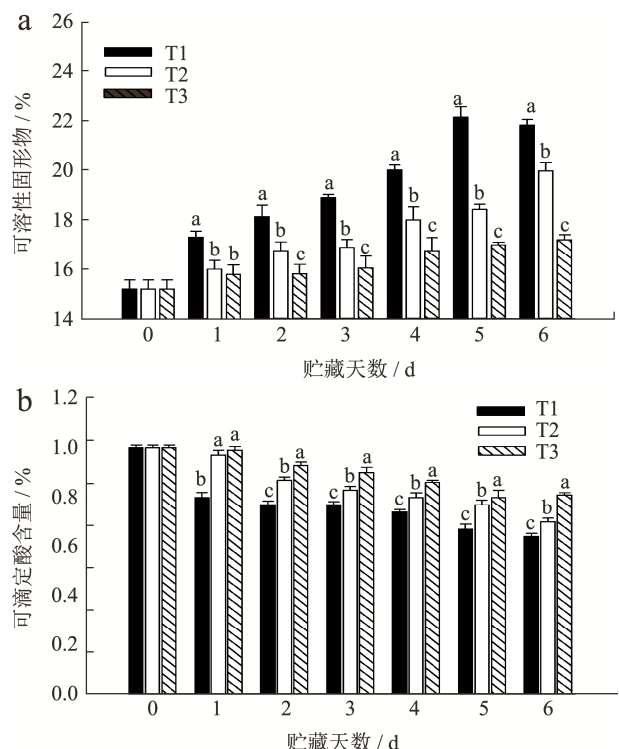


图2 雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣 TSS、TA 含量的影响

Fig.2 The effect of atomization fumigation combined with modified atmosphere packaging technology on the content of TSS and TA in dongzao jujube

果实中的糖、酸不仅参与了自身的生理代谢，也直观反映了果实的风味^[19]。如图 2a 所示，随着贮藏期的延长，TSS 含量总体呈现不断上升趋势，但 T1

处理组在第 5 d 达到高峰, 第 6 d 出现了下降趋势, 冬枣转红速度过快, 腐烂率增加, 从而导致含糖量不断下降。在第 6 d, T1 处理组的 TSS 含量为 21.82%, 分别为 T2 和 T3 处理组的 1.09 倍和 1.30 倍, 证实雾化熏蒸结合气调包装技术可延缓冬枣 TSS 含量的上升。

如图 2b 所示, TA 含量随着贮藏时间的延长而不断下降。TA 是冬枣中不可或缺的品质指标之一。随着冬枣的呼吸速率加强, 有机酸含量逐渐下降, 在贮藏后期 (第 6 d), T3 处理组优于其它两组处理, TA 含量为 0.81%, 分别比 T1 和 T2 处理组高了 26.56% 和 15.71%, 证明雾化熏蒸结合气调包装技术可以减缓冬枣中 TA 含量的下降。这与高梅秀等^[20]使用气调处理冬枣的结果一致。

2.3 雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣原果胶、可溶性果胶、纤维素含量的影响

冬枣果实软化主要由细胞壁物质、膜结构和内含物等变化引起, 其中细胞壁降解为主要原因^[21], 而原果胶、可溶性果胶和纤维素等物质是构成细胞壁骨架的主体结构^[22], 三种物质的含量是直接影响冬枣软化程度的重要指标。由图 3a、3b 和 3c 可以看出, 冬枣果实的成熟伴随着原果胶含量和纤维素含量的下降及可溶性果胶含量的上升。在贮藏 0 到 2 d, 原果胶含量下降的较快, 后期下降较为缓慢。在整个贮藏期内, T3 处理组的原果胶含量都显著高于 T1 处理组 ($p < 0.05$)。在贮藏第 6 d, T3 处理组的含量为 0.60%, 比 T1 处理组高了 91.17%。表明雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣原果胶含量的下降有一定的抑制作用, 这与李欢等^[23]在枣的细胞壁软化及基因表达上的研究结果一致。

可溶性果胶的形成是由于果胶在果实软化过程中, 果胶多糖不溶解果胶物质, 将其转化成可溶性果胶, 导致相邻细胞间的粘合力下降, 从而引起果实的软化^[24]。由图 3a 和 3b 可知, 随着原果胶含量的下降, 可溶性果胶含量呈不断上升趋势。在整个贮藏期中, T3 处理组显著低于 T1 处理组 ($p < 0.05$)。在贮藏后期 (第 6 d), T2 和 T3 处理组的可溶性果胶含量分别上升了 0.99% 和 0.88%, 均显著低于 T1 处理组 (1.41%)。结果表明, 雾化熏蒸结合气调包装技术可以延缓冬枣可溶性果胶的上升, 从而延缓冬枣的软化。钙处理猕猴桃可以延缓可溶性果胶含量的上升, 趋势与本试验一致^[25]。

冬枣中的纤维素含量呈现出不断下降的趋势, 在贮藏后期 (第 6 d), T1 处理组的纤维素含量为

0.32%, 而 T2 和 T3 处理组的含量分别为 0.39% 和 0.45%, 均显著高于 T1 处理组 ($p < 0.05$), 结果表明, 雾化熏蒸结合气调包装技术在一定程度上延缓了冬枣中纤维素含量的下降。纤维素含量的持续下降可能是由于纤维素酶的上升所导致的。冬枣采后容易出现软化、商品性降低等现象, 可能是由于原果胶酶将原果胶分解为果胶, 与纤维素分离导致的^[26]。

冬枣果实随着贮藏期延长, 软化加剧, 可能还与果实中的中胶层有关, 果胶和纤维素是中胶层的主要成分, 中胶层的消融会导致细胞间隙增大和细胞游离, 从而加剧冬枣的软化进程^[27]。

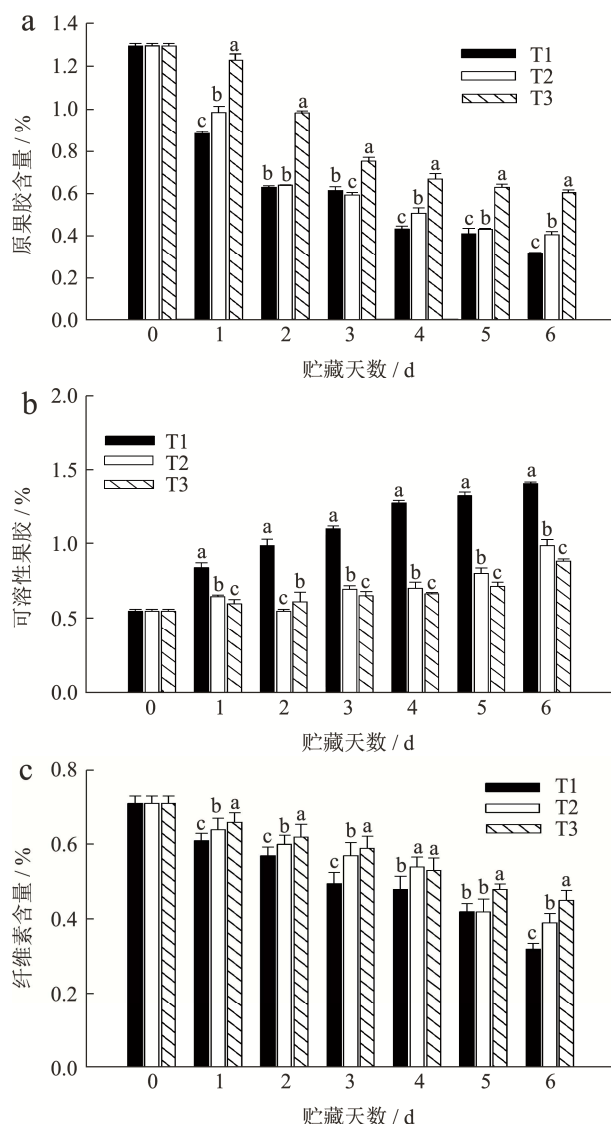


图 3 雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣原果胶、可溶性果胶、纤维素含量的影响

Fig.3 The effect of atomization fumigation combined with modified atmosphere packaging technology on the content of winter jujube original pectin, soluble pectin and cellulose

2.4 雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣酶活

性的影响

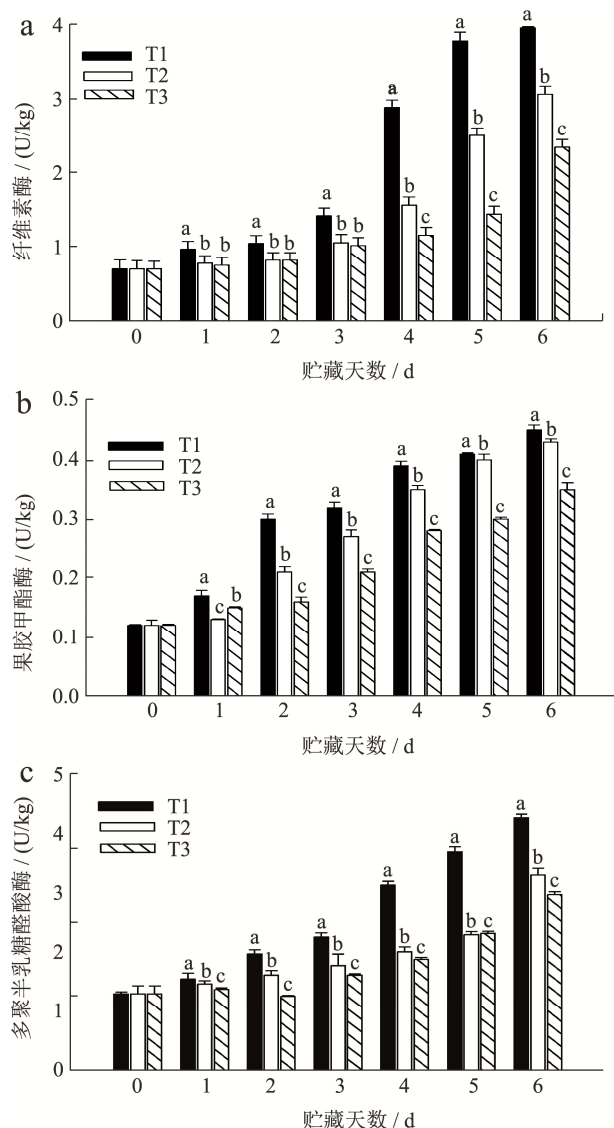


图4 雾化熏蒸结合气调包装技术对冬枣酶活性的影响

Fig.4 The effect of atomization fumigation combined with modified atmosphere packaging technology on enzyme activity of winter jujube

果实软化不仅与细胞壁组分和结构的剧烈变化有关,而且与细胞壁降解酶参与细胞壁物质水解密切相关^[28]。由图4a、4b和4c可知,纤维素酶、果胶甲酯酶和多聚半乳糖醛酸酶随着贮藏期的延长呈现不断上升的趋势。冬枣中的纤维素酶前期(0~3 d)上升的较为缓慢,但在4~5 d时,上升速度变快,由于冬枣的成熟度越来越高,导致细胞壁组分变化越剧烈^[29],纤维素酶上升加快。在贮藏后期(第6 d),T1处理组的纤维素酶为3.96 U/kg,而T2和T3处理组的为3.06 U/kg和2.34 U/kg,结果表明,雾化熏蒸结合气调包装技术在抑制冬枣纤维素酶活性上升中具有显著作用($p < 0.05$),CaCl₂处理可有效调节细胞壁代谢水平,使细胞壁降解酶活性降低,

达到延长贮藏期和保持果实品质^[29]。

果胶甲酯酶在果实发育早期和成熟过程中都具有较高的活性^[30],如图4b所示,冬枣中的果胶甲酯酶随着贮藏期的延长不断上升,在贮藏后期(第6 d),T1、T2和T3处理组的果胶甲酯酶活性分别为0.45 U/kg、0.43 U/kg和0.35 U/kg,分别是贮藏初期(第0 d)的3.75倍、3.58倍和2.91倍,说明T3处理组显著的抑制了冬枣果胶甲酯酶的上升,从而抑制了冬枣的软化。这与王瑞庆等^[31]采用1-MCP和气调包装处理在枸杞上的结果一致。

多聚半乳糖醛酸酶能够切断果胶分子中的 α -1,4-糖苷键,从而将果胶分子降解为小分子物质,使果实软化^[32]。如图4c所示,多聚半乳糖醛酸酶的活性在不断上升,经过T3处理组的冬枣,由于多聚半乳糖醛酸酶活性较低,保持了较好的硬度。T1处理组的多聚半乳糖醛酸酶在第6 d为4.26 U/kg,比T2和T3处理组分别高了29.09%、43.43%。说明T3处理对冬枣采后多聚半乳糖醛酸酶的降解有抑制作用。

果胶甲酯酶与多聚半乳糖醛酸酶都是参与果胶物质降解的酶物质,果胶甲酯酶主要是使果胶去甲酯化,催化转化为果胶酸,破坏连接导致细胞分离,同时生成适合于多聚半乳糖醛酸酶作用的底物,使得多聚半乳糖醛酸酶沿着多聚半乳糖醛酸主链水解果胶酸,使其降解,导致细胞壁解体,果实后熟软化^[33]。T3处理组明显的抑制了冬枣中酶活性的上升,减缓了冬枣的软化,维持了冬枣细胞壁的完整性。

2.5 相关性分析

由1表可知,冬枣的硬度与腐烂率、失重率、细胞膜渗透性、TSS、可溶性果胶、Cx、PME、PG呈显著负相关($p < 0.01$),与TA、纤维素、原果胶含量呈显著正相关($p < 0.01$)。表明以上指标可以有效代表冬枣硬度下降与细胞壁软化程度。

3 结论

通过雾化熏蒸结合气调包装技术,减缓了冬枣中腐烂率、失重率、可溶性固形物、细胞膜渗透性的上升,抑制了硬度、可滴定酸含量的下降,维持了冬枣采后果实的品质和脆度。同时抑制了纤维素酶、果胶甲酯酶、多聚半乳糖醛酸酶的上升,延缓了原果胶、纤维素含量的下降及可溶性果胶的上升。有效的阻止了细胞壁降解酶引起的细胞壁软化,维持了细胞膜的完整性,延缓了果实硬度的下降。雾化熏蒸结合气调包装技术作为一种经济有效的贮运保鲜技术,可为冬枣采后电商物流保鲜技术的应用提供技术支撑。

表 1 相关性分析

Table 1 Correlation analysis

项目	硬度	腐烂率	失重率	细胞膜渗透性	TSS 含量	TA 含量	纤维素含量	PP	WSP	CX	PME	PG
硬度	1											
腐烂率	-0.746**	1										
失重率	-0.910**	0.844**	1									
细胞膜渗透性	-0.927**	0.735**	0.908**	1								
TSS	-0.826**	0.806**	0.951**	0.859**	1							
TA	0.888**	-0.725**	-0.905**	-0.906**	-0.924**	1						
纤维素	0.961**	-0.829**	-0.909**	-0.880**	-0.819**	0.864**	1					
PP	0.915**	-0.630**	-0.852**	-0.955**	-0.785**	0.885**	0.856**	1				
WSP	-0.755**	0.700**	0.884**	0.734**	0.929**	-0.855**	-0.733**	-0.654**	1			
CX	-0.899**	0.885**	0.949**	0.840**	0.914**	-0.842**	-0.912**	-0.773**	0.838**	1		
PME	-0.964**	0.732**	0.896**	0.918**	0.832**	-0.883**	-0.937**	-0.916**	0.727**	0.873**	1	
PG	-0.705**	0.81**	0.420*	0.67**	0.305*	-0.57*	-0.71**	-0.68**	0.377*	0.318*	0.681**	1

注: **在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关, *在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关。

参考文献

[1] 续九如,李守勇,张昌盛.冬枣形态特征及其与其他晚熟枣品种的区别[J].河北林果研究,2003,1:38-42
 XU Jiu-ru, LI Shou-yong, ZHANG Chang-sheng. *Zizyphus jujuba* cv. *dongzao* and its difference with other late-ripe jujube cultivars [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2003, 1: 38-42

[2] 张玮,饶景萍,李孔文,等.低温冷藏下的冬枣某些生理指标变化和保鲜效应[J].植物生理学通讯,2006,2:221-224
 ZHANG Wei, RAO Jing-ping, LI Kong-wen, et al. Fresh keeping and changes in some physiological indexes of Chinese *dongzao* jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) during cool-storage [J]. Plant Physiology Communications, 2006, 2: 221-224

[3] Y Deng, Y Wu, Y F Li. Changes in firmness, cell wall composition and cell wall hydrolases of grapes stored in high oxygen atmospheres [J]. Food Research International, 2005, 38(7): 769-776

[4] 张玮,陈延,饶景萍.1-MCP 对冬枣冷藏期间乙烯代谢及细胞膜脂过氧化作用的影响[J].安徽农业科学,2012,40(27): 13561-13563
 ZHANG Wei, CHEN Yan, RAO Jing-ping. Effects of 1-MCP on ethylene production and membrane lipid peroxidation of winter jujube during cold storage [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(27): 13561-13563

[5] 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

[6] 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. Effects of methyl jasmonate spray fumigation on postharvest quality of winter jujube [J]. Food Science and Technology, 2020, 45(1): 43-48

[7] 陈美花,熊拯,庞庭才.气调包装对百香果贮藏品质的影响[J].食品科学,2016,37(20):287-292
 CHEN Mei-hua, XIONG Zheng, PANG Ting-cai. Effects of modified atmosphere packaging on quality of passion fruit during storage [J]. Food Science, 2016, 37(20): 287-292

[8] 王贵禧.冬枣贮藏保鲜现状与对策[J].保鲜与加工,2003,6:1-2
 WANG Gui-xi. The current situation and countermeasures of winter jujube storage and preservation [J]. Storage and Process, 2003, 6: 1-2

[9] Ran Zhou, Yunfei Li, Liping Yan, et al. Effect of edible coatings on enzymes, cell-membrane integrity, and cell-wall constituents in relation to brittleness and firmness of huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. *huanghua*) during storage [J]. Food Chemistry, 2010, 124: 569-575

[10] 曹建康.果蔬采后生理生化实验指导[M].中国轻工业出版社,2013
 CAO Jian-kang. Guidance on Postharvest Physiological and

- Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables [M]. China Light Industry Press, 2013
- [11] 赵云峰,林河通,王静,等.热处理抑制采后龙眼果肉自溶及细胞壁物质降解[J].农业工程学报,2014,11:268-275
ZHAO Yun-feng, LIN He-tong, WANG Jing, et al. Inhibiting aril breakdown and degradation of cell wall material in pulp of harvested longan fruits by heat treatment [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 11: 268-275
- [12] Corpas, F J, Freschi, et al. Nitro-oxidative metabolism during fruit ripening [J]. Journal of Experimental Botany, 2018, 69(14): 3449-3463
- [13] Chen Y, Hung Y C, Chen M, et al. Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage [J]. LWT - Food Science and Technology, 2017: S0023643817304152
- [14] 高哲,韩涛,李红卫,等.钙和水杨酸处理对冬枣采后品质的影响[J].食品科学,2007,6:336-339
GAO Zhe, HAN Tao, LI Hong-wei, et al. Effects of calcium and salicylic acid treatments on the quality of winter jujube [J]. Food Science, 2007, 6: 336-339
- [15] 温昕晔.一氧化氮对小白杏冷藏特性及有机酸代谢相关基因表达的研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学:2015
WEN Xin-ye. Study on the effects of nitric oxide on the cold storage characteristics of Xiaobai apricot and the expression of genes related to organic acid metabolism [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015
- [16] Y Zhao, H Lin, J Wang, et al. Inhibiting aril breakdown and degradation of cell wall material in pulp of harvested longan fruits by heat treatment [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(110): 268-275
- [17] 袁芳,邱诗铭,李丽.不同保鲜剂复合处理对鲜切芒果活性氧代谢、细胞膜透性和褐变的影响[J].食品科学,2020, 41(3): 218-223
YUAN Fang, QIU Shi-ming, LI Li. Effects of compound treatment of different preservatives on active oxygen metabolism, cell membrane permeability and browning of fresh-cut mango [J]. Food Science, 2020, 41(3): 218-223
- [18] 何庆,张健,吴斌.采前水杨酸喷施对红地球葡萄采后品质的影响[J].保鲜与加工,2020,20(4):50-56
HE Qing, ZHANG Jian, WU Bin. The effect of spraying salicylic acid before harvest on the quality of red earth grapes after harvest [J]. Storage and Process, 2020, 20(4): 50-56
- [19] 周亮,杨文侠,曾芳,等.纽荷尔脐橙果实发育过程中糖、酸和 Vc 含量的变化[J].中国南方果树,2015,44(2):45-47
ZHOU Liang, YANG Wen-xia, ZENG Fang, et al. Changes in sugar, acid and Vc content during fruit development of Newhall navel orange [J]. South China Fruit Tree, 2015, 44(2): 45-47
- [20] 高梅秀,宗晶莹,于仓.气调贮藏冬枣果实三种酶的活性分析[J].北方园艺,2009,10:241-243
GAO Mei-xiu, ZONG Jing-ying, YU Cang. Analysis of the activities of three enzymes in the winter jujube fruits stored in controlled atmosphere [J]. Northern Horticulture, 2009, 10: 241-243
- [21] Nath P P. Fruit ripening: physiology, signalling and genomics [J]. CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources, 2014, 9(14)
- [22] 吴延军,张继澍,王春生,等.低温对枣果实采后软化衰老的生理效应[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,6: 47-49
WU Yan-jun, ZHANG Ji-shu, WANG Chun-sheng, et al. Physiological effects of low temperature on softening and senescence of jujube fruits after harvest [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2001, 6: 47-49
- [23] 李欢.枣果实成熟软化的细胞壁物质代谢及其基因表达研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017
LI Huan. Study on cell wall material metabolism and gene expression of jujube fruit ripening and softening [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017
- [24] 董晓庆.1-MCP 结合自发气调包装对"空心李"果实软化和细胞壁代谢的影响[J].中国农学通报,2020,36(220): 129-135
DONG Xiao-qing. Effects of 1-MCP combined with MAP on softening and cell wall metabolism of 'Kongxin' plum [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2020, 36(220): 129-135
- [25] 庞凌云,李瑜,詹丽娟,等.不同钙处理对中华猕猴桃软化的影响[J].食品与发酵工业,2014,40(9):102-106
PANG Ling-yun, LI Yu, ZHAN Li-juan, et al. Study on the effects of different calcium treatments on softening of *Actinidia chinensis* planch [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(9): 102-106
- [26] 肖子寒,邢世瑶,李菁竹,等.1-MCP 处理对常温贮藏金红苹果生理及品质的影响[J].保鲜与加工,2019,19(6):51-57
XIAO Zi-han, XING Shi-yao, LI Jing-zhu, et al. Effects of 1-MCP treatment on the physiology and quality of goldenred apple at room temperature [J]. Storage and Process, 2019,

- 19(6): 51-57
- [27] 范新光,梁畅畅,郭风军.近冰温冷藏过程中果蔬采后生理品质变化的研究现状[J].食品与发酵工业,2019,18:270-276
FAN Xin-guang, LIANG Chang-chang, GUO Feng-jun. Research status of postharvest physiological quality changes of fruits and vegetables during near-ice temperature storage [J]. Food and Fermentation Industry, 2019, 18: 270-276
- [28] Brummell D A, Cin V D, Crisosto C H, et al. Cell wall metabolism during maturation, ripening and senescence of peach fruit [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(405): 2029-2039
- [29] 支欢欢,董宇,张丽华,等.CaCl₂对采后不同成熟度冬枣抗氧化及细胞壁代谢的影响[J].现代食品科技,2016,32(4):75-80
ZHI Huan-huan, DONG Yu, ZHANG Li-hua, et al. Effect of CaCl₂ treatment on antioxidant capacity and cell wall metabolism of post-harvest jujube fruits at different maturity stages [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(4): 75-80
- [30] 闫根柱,赵迎丽,王亮,等.乙烯吸收剂对丰水梨果实软化和细胞壁代谢的影响[J].中国农学通报,2013,29(19):170-174
YAN Gen-zhu, ZHAO Ying-li, WANG Liang, et al. Effect of ethylene absorbent on fengshui fruit softening and its cell wall metabolism [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(19): 170-174
- [31] 王瑞庆,冯建华,魏雯雯,等.1-MCP 处理和气调包装对枸杞鲜果低温贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2012,28(19): 287-292
WANG Rui-qing, FENG Jian-hua, WEI Wen-wen, et al. Effect of 1-MCP and modified atmosphere packaging on quality retention during cold-temperature storage of *Lycium barbarum* fruit [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(19): 287-292
- [32] 李佩艳,尹飞,党东阳,等.草酸处理对桂七芒果冷害及细胞壁代谢的影响[J].核农学报,2020,34(12):2742-2748
LI Pei-yan, YIN Fei, DANG Dong-yang, et al. Effect of oxalic acid treatment on chilling injury and cell wall metabolism of Guiqi mango [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(12): 2742-2748
- [33] Brummell D A. Cell wall disassembly in ripening fruit [J]. Functional Plant Biology, 2006, 33(2): 103-119

(上接第 204 页)

- [30] 宋雪梅,梁琪,宋国顺,等.牦牛乳硬质干酪体外消化前后 ACE 抑制肽分析[J].食品与发酵工业,2020,46(15):52-59
SONG Xue-mei, LIANG Qi, SONG Guo-shun, et al. Analysis of ACE-inhibitory peptides in hard cheese made from yak milk and its hydrolysate after *in vitro* gastrointestinal digestion [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(15): 52-59
- [31] 刘鑫焯,宋铖铖,乔变文,等.两种皮氏蛾螺 ACE 抑制肽的稳定性和抑制活性[J].食品工业科技,2020,41(19):7-12
LIU Xin-tong, SONG Cheng-cheng, QIAO Bian-wen, et al. Research on the stability and activity of two ACE inhibitory peptides from *Volutharpa ampullaceal perryi* [J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 7-12
- [32] 常诗洁,高娟,方东路,等.4 种蛋白酶水解双孢蘑菇效果比较及风味蛋白酶水解工艺优化[J].食品科学,2018,39(24): 276-283
CHANG Shi-jie, GAO Juan, FANG Dong-lu, et al. Comparison of efficiencies of four proteases in hydrolyzing *Agaricus bisporus* and optimization of flavorzyme hydrolysis process [J]. Food Science, 2018, 39(24): 276-283
- [33] 王颖颖,李迎秋.酶解牡丹籽蛋白抗氧化特性的研究[J].中国调味品,2020,45(12):159-164
WANG Ying-ying, LI Ying-qiu. Study on antioxidant characteristics of enzymatic hydrolysis of tree peony seed protein [J]. China Condiment, 2020, 45(12): 159-164
- [34] 于爱华,范志军,陈龙,等.限制性酶解对豆粉相关性质的影响[J].中国油脂,2019,44(6):139-146
YU Ai-hua, FAN Zhi-jun, CHEN Long, et al. Effect of restrictive enzymatic hydrolysis on related properties of soybean powder [J]. China Oils and Fats, 2019, 44(6): 139-146
- [35] 陈怡颖,丁奇,赵静,等.鸡汤及鸡肉酶解液中游离氨基酸及呈味特性的对比分析[J].食品科学,2015,36(16):107-111
CHEN Yi-ying, DING Qi, ZHAO Jing, et al. Comparison of free amino acids and taste characteristics in chicken soup and chicken enzymatic hydrolysate [J]. Food Science, 2015, 36(16): 107-111