

新疆鲜杏雾化熏蒸保鲜设备的改进和应用

田全明¹, 曹振², 殷贝贝³, 王成炜⁴, 魏佳^{3,5*}, 吴斌^{3,5*}

(1. 新疆农业大学园艺学院, 新疆乌鲁木齐 830052) (2. 新疆大学化工学院, 新疆乌鲁木齐 830046)

(3. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091)

(4. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 该研究以工业雾化装置为基础, 通过对雾化熏蒸设备硬件及软件方面的改制及工艺设计, 提高了雾化熏蒸效率。结果表明: 通过增加3组药箱和熏蒸剂箱, 采用高压雾化主机和超微雾化喷头实现了雾化熏蒸选择的多样性和熏蒸剂的自动配比(配比范围1:1~1:200)。采用亚克力熏蒸箱, 高压雾化主机的最佳压力是5.0 MPa, 最佳工作方式为间歇雾化75 s; 在550 m³保鲜库中, 高压雾化主机的最佳设定压力是6.5 MPa, 装置最佳工作方式为连续雾化7 min, 再经熏蒸剂自然沉降3 min, 雾化喷头安装方式为“1米一间隔”, 雾化熏蒸试材摆放区域距离保鲜库四周墙壁50 cm, 摆放高度距离雾化喷头安装位置垂直向下0.5~1.0 m。采用40 mmol/L SA雾化熏蒸处理能有效保持小白杏、赛买提杏贮藏品质。贮藏至第7天时, 小白杏的硬度为8.72 N、可溶性固形物为15.9%、可滴定酸含量为0.49%、发病率为0, 分别是对照组的1.66、1.10、1.58倍; 赛买提杏的硬度为9.01 N、可溶性固形物为13.5%、可滴定酸含量为0.67%、发病率为0, 分别是对照组的1.57、1.69、1.60倍。该研究旨在为雾化熏蒸技术在鲜杏贮藏保鲜中的应用提供技术支持。

关键词: 雾化熏蒸; 杏; 水杨酸; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2024)07-106-117

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.7.0851

Improvement and Application of Atomization and Fumigation Equipment for Preservation of Fresh Apricots in Xinjiang

TIAN Quanming¹, CAO Zhen², YIN Beibei³, WANG Chengwei⁴, WEI Jia^{3,5*}, WU Bin^{3,5*}

(1. College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2. College of Chemical Engineering, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

(3. Institute of Storage and Processing of Agricultural Products, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China)

(4. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: Based on industrial atomization devices, the efficiency of atomization and fumigation has been improved through hardware and software modifications and process design of atomization and fumigation equipment. By adding three

引文格式:

田全明, 曹振, 殷贝贝, 等. 新疆鲜杏雾化熏蒸保鲜设备的改进和应用[J]. 现代食品科技, 2024, 40(7): 106-117.

TIAN Quanming, CAO Zhen, YIN Beibei, et al. Improvement and application of atomization and fumigation equipment for preservation of fresh apricots in Xinjiang [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(7): 106-117.

收稿日期: 2023-07-14

基金项目: 自治区科技创新领军人才项目—高层次领军人才(2022TSYCLJ0040); 自治区重点研发计划项目(2022B02026; 2022B03006); 新疆杏产业技术体系保鲜加工岗位(XJCYTX-03)

作者简介: 田全明(1994-), 男, 博士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与保鲜, E-mail: 1094185168@qq.com

通讯作者: 魏佳(1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品贮藏与保鲜, E-mail: 327645095@qq.com; 共同通讯作者: 吴斌(1973-),

男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏与保鲜, E-mail: 42042615@qq.com

sets of medicine and fumigant boxes and introducing a high-pressure atomization machine and an ultramicro-atomization nozzle, the diversity of the atomization and fumigation options was increased and the automatic proportioning of fumigants (ratio ranges of 1:1-1:200) was achieved. The optimal pressure of the high-pressure atomization machine 5.0 MPa, whereas the optimal mode was intermittent atomization for 75 s when an acrylic fumigation box was used. In a storage warehouse of 550 m³, the optimal pressure for the high-pressure atomization machine was 6.5 MPa, whereas the optimal operation mode was continuous atomization for 7 min, followed by natural precipitation of the fumigant natural for 3 min. The ultramicro-atomization nozzles were installed at 1 m intervals and the placement area of the specimens for atomization and fumigation were located 50 cm away from the wall of the warehouse and vertically 0.5~1.0 m below the ultramicro-atomization nozzles. Fumigation treatment with 40 mmol/L salicylate (SA) was effective in maintaining the storage quality of 'Xiaobai' and 'Saimaiti' apricots. At the end of the 7 day storage period, firmness of 'Xiaobai' apricots was 8.72 N, whereas the soluble solids (TSS) and titratable acid (TA) contents were 15.9% and 0.49%, respectively, representing 1.66-, 1.10-, and 1.58-fold increase compared to those of the control group, respectively. The decay rate was 0 after treatment with 40 mmol/L SA. The firmness of the Saimaiti apricots was 9.01 N, whereas TSS and TA contents were 13.5% and 0.67%, respectively (1.57-, 1.69-, and 1.60-fold higher than those of the control group, respectively). The decay rate was also 0 for Saimaiti apricots fumigated using SA. These results provide insights and technical support for the application of atomization and fumigation technologies in the storage and preservation of fresh apricots.

Key words: atomization and fumigation; apricots; salicylic acid; preservation

我国的杏资源丰富，种植历史悠久，品种多样。新疆是我国杏种植面积最大的地区之一，2021年全疆种植面积达到 2×10^5 hm²，年产量超过 1.5×10^6 t，位居全国第一^[1]。杏果实属于呼吸跃变型果实，采收期多集中在夏季，采收后易受机械损伤引起病原菌的侵染，短时间内出现后熟软化腐烂等现象^[2]。新疆鲜杏在采摘期因预处理措施、保鲜设施、冷链物流等技术的不成熟，导致果品集中上市、低价竞争。同时，为了减少杏采后损失，水果商多采用“宁青不黄”的原则，采收多以6~7成熟度为主，致使内地消费都无法品尝到新疆优质的鲜杏果实，严重制约了新疆杏产业的高质量发展^[3]。如何提高鲜杏采后保鲜是当前亟需解决的问题。

雾化熏蒸技术相较于传统的保鲜技术，优势显著，是一种新型、低能耗、安全实用的水果保鲜技术。雾化熏蒸可有效改善果实采后品质，其主要表现在延缓衰老、抑制褐变、防治病害和减轻冷害，激活防御系统，提高果实抗逆性^[4]。目前，雾化装置的主要雾化方式有加热雾化^[5]、压缩雾化^[6]和超声波雾化等。课题组前期在气体和雾化熏蒸技术在新疆特色果品葡萄^[7]、冬枣^[8]和西梅^[9]采后保鲜方面开展了大量的应用研究。魏征等^[10]通过采用雾化熏蒸能延缓冬枣果实的转红进程、TSS含量及TA含量的降低，保持较高的硬度，有效抑制冬枣果实贮藏期间的呼吸强度和乙烯释放量，雾化熏蒸技术可以显

著保持果实品质和延长货架销售期。与浸泡或喷洒为主的传统保鲜方式相比，雾化熏蒸技术具有操作便捷、处理量大和熏蒸剂处理均匀等优势^[11]，在果蔬贮藏保鲜方面有着广阔的应用前景。

水杨酸 (Salicylate, SA) 是一种重要的信号分子，在长期贮藏和运输过程中提高了园艺产品对衰老和病原体入侵的抵抗力^[12]。近年来 SA 的应用已被证明可以通过降低乙烯生产和呼吸速率，抑制果实软化和转色，保持可溶性固形物、有机酸和香气物质含量^[13]。SA 也可保护植物免受低温，盐和水分胁迫等逆境胁迫，并且参与从种子发芽到开花和果实成熟的许多生理过程^[14]。‘金沙优’柚在采后贮藏中，采用 0.3% SA 处理能显著降低果实腐烂率、延迟果皮转色，抑制可溶性固形物 (TSS) 以及可滴定酸 (TA) 含量的下降。SA 及其衍生物在调节植物的生理生化反应方面起着至关重要的作用，这对于减少园艺作物采后损失具有巨大潜力^[15]。目前，SA 在果蔬保鲜中的应用主要采用浸泡、喷洒的方式，具有工作量大、不易控制、药物残留、保鲜成本高及资源浪费等缺点。如何提高 SA 在果蔬保鲜中的效率、雾化装置及熏蒸工艺技术是重要的关键因素。因此，本研究通过对雾化熏蒸设备进行改进，将水杨酸与雾化熏蒸技术相结合，可使熏蒸剂均匀地扩散到鲜果表面，提高了雾化熏蒸效率，延长果蔬的贮藏品质，为果实采后贮藏保鲜提供了理论依据和技术支持。

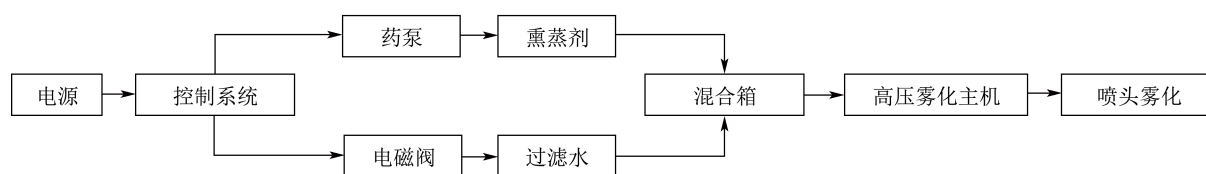


图 1 雾化装置工作原理示意图

Fig.1 Working principal diagram of atomizing fumigation device

1 材料与方法

1.1 雾化装置的组成及改进

本试验选用高压雾化的方式来实现对保鲜剂的雾化目的。雾化装置的主要部件包括控制系统、高压雾化主机、高压管道和雾化喷头等。具体工作原理是保鲜剂在高压雾化主机的作用下加压到一定压力(6.5 MPa),高压管道上等距(1 m)安装12个雾化喷头,加压后的保鲜剂经高压管道输送到雾化喷头,再以0.10~15.0 μm的超微雾粒子高速旋转喷射到整个空间,超微雾粒子迅速在空气中吸收热量并扩散,从而达到雾化的目的^[16]。雾化装置的工作原理如图1所示:

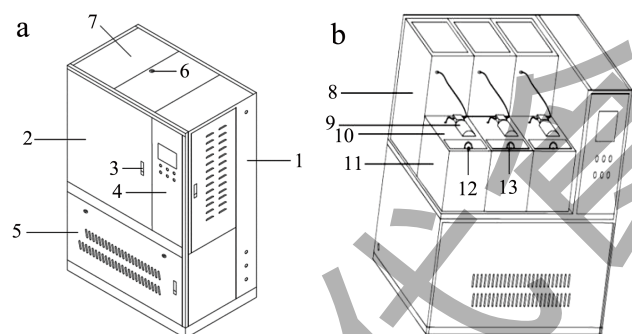


图 2 (a) 可移动式雾化熏蒸装置示意图及 (b) 雾化装置的改进示意图

Fig.2 (a) Schematic diagram of movable atomization fumigation device and (b) schematic diagram of improvement of atomization device

注: 1、箱体; 2、上前门; 3、摇把锁; 4、控制面板; 5、下前门; 6、内三角锁; 7、箱体上盖; 8、混合箱; 9、药泵; 10、药箱盖; 11、药箱; 12、防松垫圈; 13、把手。

图2a中的熏蒸箱是由箱体、上下前门、控制面板、内三角锁及箱体上盖组成。如图2b在现有装置的基础上通过增设3组药箱和混合箱来满足多样化的雾化选择需求。装置硬件方面,增加供雾化所需的药箱和混合箱。通过增加药箱和混合箱的数量提高雾化装置的雾化种类,雾化工作完成后,在不需要清空现有药箱或者混合箱的前提下,可以继续

下一阶段的雾化工作,既满足了对特定保鲜剂的雾化需求,同时也提高了雾化效率。雾化装置改进前后的对比如表1所示。

表 1 雾化选择对比

Table 1 Comparison of atomization selection

改进前	改进后
装置备有1组药箱和混合箱,对不同熏蒸剂进行雾化工作时都需要清理药箱和混合箱	设置3组药箱和混合箱,满足多种鲜果的雾化保鲜需求
装置药箱及混合箱位置固定,后期不易清理更换	3组药箱和混合箱均采用可拆卸式设计,方便后期清洗更换

1.2 雾化喷头的安装距离对保鲜库雾化熏蒸效果的影响

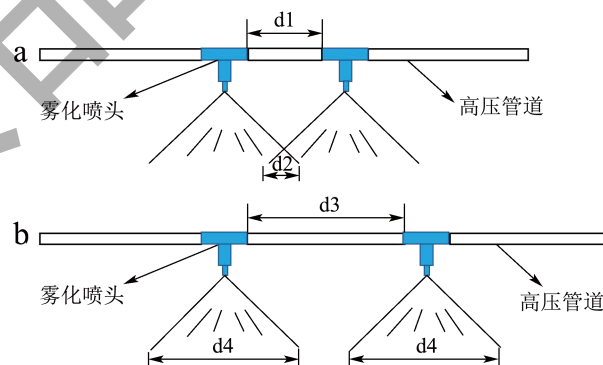


图 3 雾化喷头安装示意图

Fig.3 Installation of the atomizing nozzle

注: d1: 相邻喷头的安装距离为30 cm; d2: 相邻喷头的雾化液滴距离会在20 cm范围内有所交叉; d3: 相邻两喷头以60 cm距离安装时,两喷头的雾化液滴距离不存在交叉; d4: 高压雾化主机的压力一定时,雾化喷头的雾滴喷射距离在70 cm。

影响雾化喷头雾化效果的因素众多。其中,雾化喷头的安装距离直接影响雾化熏蒸效果。研究发现,雾化喷头安装间距较近,两喷头之间会发生干扰。喷头安装间距的增大会使得干涉区域面积减小,雾化液滴发生碰撞概率减小,碰撞聚合的液滴数量减少,液滴直径分布趋于集中^[17]。如图3a,相邻喷头的安装距离为d1时,两喷头的雾化液滴距离会

在 d2 范围内有所交叉, 交叉的雾化液滴在空气中碰撞后会增大雾化粒径, 影响雾化熏蒸的效果。如图 3b 进一步研究发现, 高压雾化主机的压力一定时, 雾化喷头的雾滴喷射距离在 d4 附近。相较于 d1, 相邻两喷头以 d3 距离安装时, 两喷头的雾化液滴距离不存在交叉, 保证了雾化熏蒸工作的有效进行。在后续的实验中, 雾化喷头的安装方式采用“1.0 米一间隔”, 即高压管道每隔 1.0 m 安装一个雾化喷头。该安装方式一方面避免管道过长导致雾化高压在管路中的损耗, 另一方面保证了相邻雾化喷头之间的雾化液滴不会交叉, 提高了雾化熏蒸效果。

1.3 保鲜库及亚克力熏蒸条件的筛选

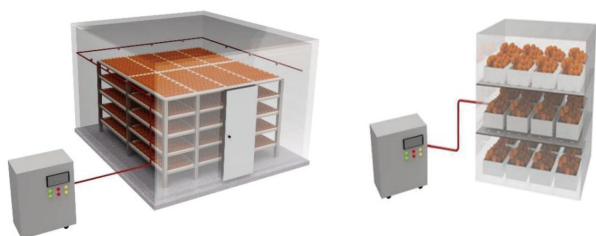


图 4 保鲜库雾化熏蒸及亚克力雾化熏蒸

Fig.4 Atomizing fumigation in fresh storage and acrylic atomizing fumigation box

图 4 是保鲜库雾化熏蒸及亚克力雾化熏蒸的模式图, 通过对亚克力熏蒸箱的压力 (4.0~7.0 MPa)、熏蒸方式 (连续雾化熏蒸 45 s、75 s; 间歇性熏蒸 75 s) 等条件的筛选, 研究结果表明, 雾化装置的工作压力设置在 5.0 MPa, 装置最佳工作方式为间歇雾化 75 s, 该条件下雾化液滴喷射距离适中, 雾化熏蒸效果较好。通过对熏蒸库的雾化熏蒸时间 (3、4、5、6、7~8 min) 的测定结果表明, 随着时间的不断增加雾化熏蒸浓度变化 (80%、85%、91%、95%、100%) 也不断提高。以 55 m³ 温控保鲜库为雾化熏蒸实验场所, 通过对熏蒸库压力 (6.0~7.0 MPa)、熏蒸时间 (7+3 ; 7+4 ; 8+3 ; 8+4 min 注: 连续雾化 + 熏蒸剂自然沉降)、喷头安装方式 (两喷头之间距离为 30、60、70、100 cm)、试材摆放位置 (墙壁四周 50 cm、库中间位置) 的测定发现 55 m³ 温控保鲜库最佳雾化熏蒸工艺是: 高压雾化主机的最佳设定压力是 6.5 MPa, 装置最佳工作方式为连续雾化 7 min 再经熏蒸剂自然沉降 3 min, 雾化喷头安装方式为“1 米一间隔”, 雾化熏蒸试材摆放区域距离保鲜库四周墙壁 50 cm, 摆放高度距离雾化喷头安装位置垂直向下 0.5~1.0 m。

1.4 雾化熏蒸对小白杏和赛买提杏品质的影响

1.4.1 试验材料

新疆小白杏 (TSS ≥ 13.68%): 采自新疆轮台县, 于 2022 年 6 月采摘后立即运回新疆农业科学院冷库于 5 °C 预冷 24 h。新疆赛买提杏 (TSS ≥ 10.28%): 采自新疆库车县, 于 2022 年 7 月采摘后立即运回新疆农业科学院冷库于 5 °C 预冷 24 h。挑选大小均一, 无病虫害、无机械伤的果实进行不同处理。

1.4.2 试验仪器

雾化熏蒸保鲜装置 CR1515-3YX, 青岛昌润空气净化设备有限公司; 硬度计 GY-4, 艾德堡仪器有限公司; 手持数显糖度计 PAL-1, 日本爱拓公司; 恒温恒湿箱 SPX-100B-Z, 上海博讯实业有限公司; 电子天平 AL204-IC, 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司。

1.5 试验方法

本实验利用雾化装置对不同浓度的 SA 溶液进行雾化, 以亚克力熏蒸箱 (50 cm×50 cm×50 cm) 为雾化熏蒸场所, 对小白杏和赛买提进行 SA 雾化熏蒸处理。将小白杏和赛买提杏进行以下 5 个处理: ①对照组 (CK): 不作任何处理。②乙醇水溶液间歇雾化熏蒸 60 s。③ 30 mmol/L 的 SA 间歇雾化熏蒸 60 s。④ 40 mmol/L 的 SA 间歇雾化熏蒸 60 s。⑤ 50 mmol/L 的 SA 间歇雾化熏蒸 60 s。每个处理重复 3 次。处理后的杏果实于常温下自然晾干后, 称重 450 g 左右放置在内衬吸水纸的聚乙烯保鲜盒 (20 cm×10 cm×5 cm)。小白杏和赛买提各需 67.5 kg, 共计 135 kg, 贮藏于培养箱中 [(25±1) °C, RH 53%~58%]。

1.6 指标测定方法

1.6.1 色差的测定

采用 CR-100 手持色差仪测定, 每次选择 5 个果实, 取 3 个点测定, 记录其 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

1.6.2 硬度的测定

硬度测定采用王霞伟等^[1]的方法每盒随机选择 15 个杏果, 围绕果实的赤道部位, 间隔等距离的三个位置, 各削去果皮 (厚约 1 mmol/L), 用 GY-4 型果实硬度计 (直径为 2.5 mm) 测定各个位置果肉的硬度, 重复 3 次。最终结果以平均值计, 单位为 N。

1.6.3 TSS、TA含量的测定

将十个杏果实在研钵中磨成果浆，过滤后取滤液，使用 PAL-1 型糖度仪测定 SSC 含量，结果以百分数 (%) (V/V) 表示^[18]。用同样的滤液用 pH 计测定 TA，用 0.1 mol/L NaOH 滴定得到 pH 值为 8.2，结果用百分数表示 (%) (V/V)。

1.6.4 呼吸强度的测定

采用 Check Point 3 便携式顶空分析仪测定。

1.7 数据分析

使用 GraphPad Prism 8.0 软件作图，SPSS 20.0 进行数据分析以及利用 Duncan 法来比较均值。 $P \leq 0.05$ 表示差异显著， $P \leq 0.01$ 表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 SA雾化熏蒸对小白杏和赛买提杏外观品质及发病率的影响

由图 5、6 可知，对照组杏果实在第 4 天出现腐败的现象，而 30、50 mmol/L SA 处理的杏果实发生腐败的时间在第 6 天，与对照组相比，SA 处理能延缓杏果实的腐烂。如图 7 所示，随着杏果实的

贮藏，果实的发病率不断升高。贮藏末期小白杏和赛买提杏的发病率达到 40% 和 36%，而 40 mmol/L SA 处理后未出现发病率，这说明 40 mmol/L SA 处理能有效的提高杏果实的抗病，延缓杏果实的腐烂，提高了杏果实的食用价值和商品价值。

2.2 SA雾化熏蒸对小白杏和赛买提杏果实采后色差的影响

色泽是果实的重要品质指标之一，不仅影响消费者的感官判断，还直接反映了果实的成熟度、新鲜度和内部品质的变化。由表 2 可知，在贮藏期间，不同浓度 SA 处理组中的 L^* 值均显著高于对照组 ($P < 0.05$)。小白杏第 7 天时，30、40、50 mmol/L SA 处理组中的 L^* 值分别是对照组 1.11 倍、1.14 倍和 1.10 倍。贮藏结束时，30、40、50 mmol/L SA 处理组中 a^* 与对照相比分别降低了 60.52%、93.85%、56.15%。果实中 b^* 值的变化趋势则与 a^* 值相似，呈上升趋势。不同浓度 SA 处理显著高于对照和乙醇水溶液处理组 ($P < 0.05$)。贮藏至第 7 天时，30、40 和 50 mmol/L SA 处理均抑制了小白杏果实 b^* 值的上升，与对照组相比不同浓度 SA 处理分别降低了 6.26%、10.31% 和 5.11%。

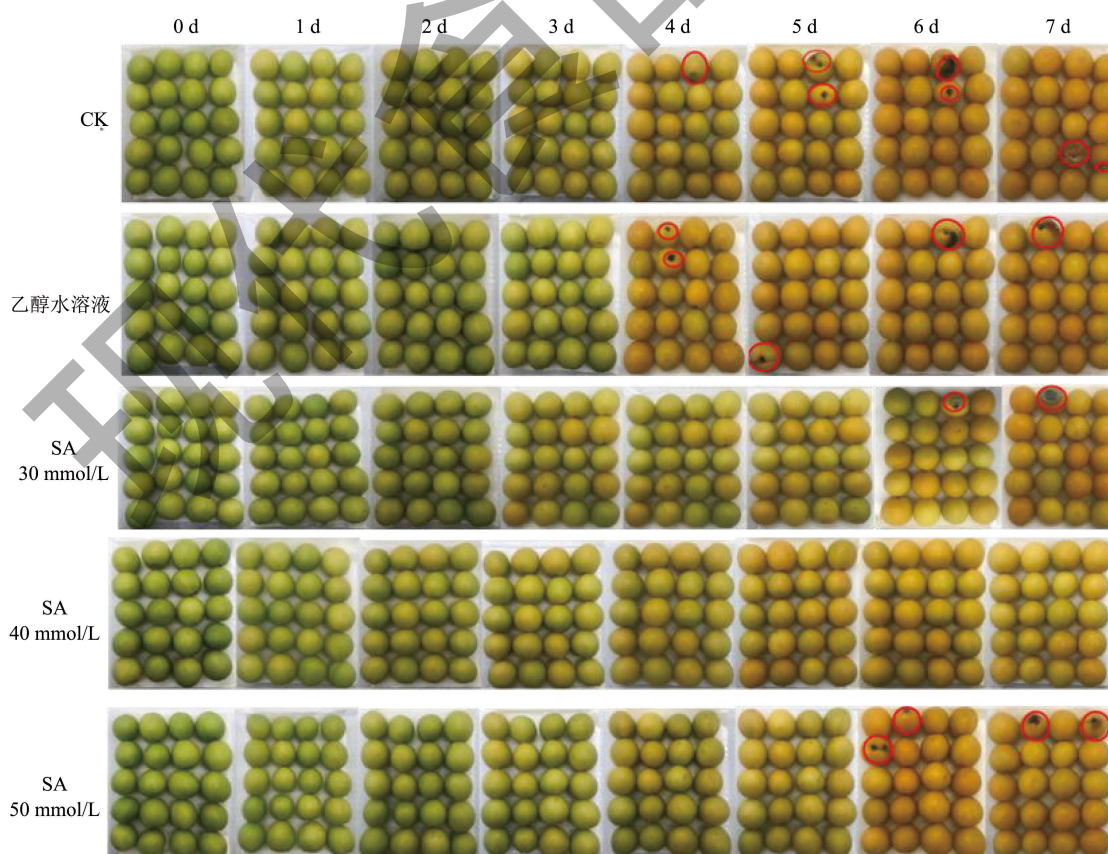


图 5 雾化熏蒸对新疆小白杏采后外观的影响

Fig.5 Effect of SA atomizing fumigation treatment on postharvest appearance of 'Xiaobai' apricot

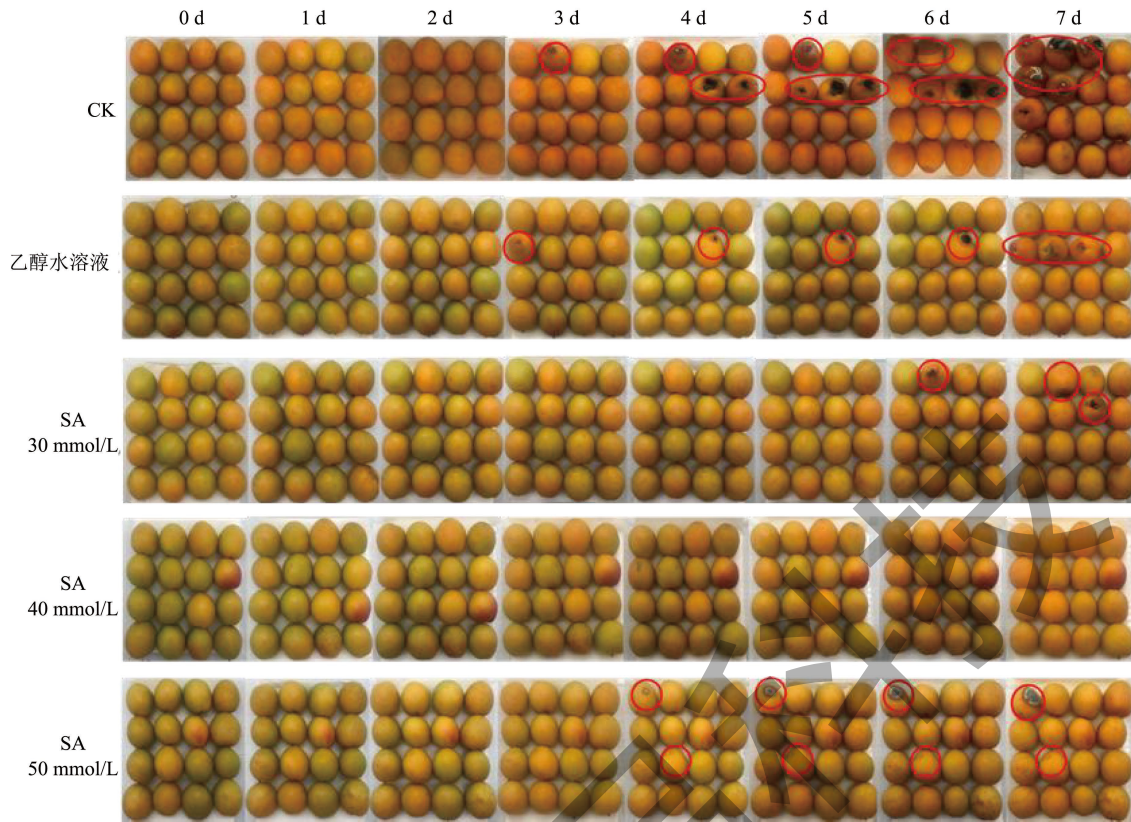


图6 雾化熏蒸对新疆赛买提杏采后外观的影响

Fig.6 Effect of SA atomizing fumigation treatment on postharvest appearance of 'Saibati' apricots

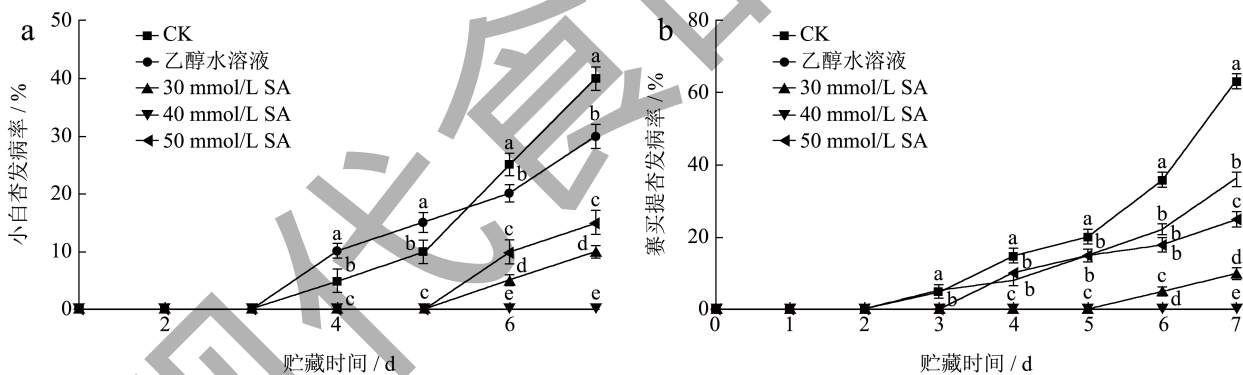


图7 SA 雾化熏蒸对小白杏和赛买提杏发病率的

Fig.7 Effect of SA atomizing fumigation treatment on the decay rate of 'Xiaobai' and 'Saimaiti' apricots

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 ($P < 0.05$)。下图同。

由表3可知, 赛买提杏各处理组 L^* 值随着贮藏时间变化整体呈上升趋势。贮藏结束时 30、40、50 mmol/L SA 处理组与对照和乙醇水溶液存在差异性 ($P < 0.05$), 说明 SA 有助于杏果实贮藏期间保持果实的亮度。与对照相比, 贮藏结束时 30、40、50 mmol/L SA 处理组分别降低了 21.76%、36.55%、20.73%。贮藏第2天时, 各处理组杏果实 b^* 值开始急剧上升, 不同浓度 SA 处理显著低于对照和乙醇水溶液处理组 ($P < 0.05$)。此时, 30、40、50 mmol/L SA

处理组分别比对照组降低了 2.74%、5.90% 和 1.97%。结果表明, 40 mmol/L SA 处理能够延缓杏果实转色, 较好的保持杏果实的品质。本实验中, 随着果实成熟, 杏果实果皮褪绿转黄, L^* 值逐渐降低、 a^* 和 b^* 值逐渐增加, 这与杏果实成熟过程中亮度降低、红色加深, 随后转黄的趋势保持一致。不同浓度 SA 处理能够有效地延缓杏果实的转色进程, 延长了果实的贮藏时间, 这在百香果中也得到了相似的结果^[19]。

表 2 SA处理对新疆小白杏采后 L^* 、 a^* 、 b^* 值的影响Table 2 Effects of SA atomizing fumigation treatment on L^* , a^* and b^* values of postharvest 'Xiaobai' apricot

指标	时间/d	处理				
		CK	乙醇水溶液	30	40	50
L^*	0	46.16 ± 0.73	46.16 ± 0.73	46.16 ± 0.73	46.16 ± 0.73	46.16 ± 0.73
	1	49.36 ± 0.65 ^a	48.38 ± 0.72 ^a	47.93 ± 0.48 ^a	46.25 ± 0.94 ^a	48.25 ± 0.53 ^a
	2	51.43 ± 0.62 ^a	50.21 ± 0.49 ^a	49.43 ± 0.61 ^{ab}	48.53 ± 0.65 ^{ab}	50.02 ± 0.73 ^a
	3	51.96 ± 0.53 ^a	50.53 ± 0.63 ^b	49.93 ± 0.55 ^{ab}	49.31 ± 0.52 ^b	50.41 ± 0.31 ^{ab}
	4	52.32 ± 0.34 ^a	51.34 ± 0.69 ^{ab}	50.37 ± 0.73 ^{ab}	50.16 ± 0.66 ^b	50.86 ± 0.42 ^a
	5	53.14 ± 0.94 ^a	51.92 ± 0.30 ^b	50.74 ± 0.45 ^{ab}	50.97 ± 0.45 ^b	51.17 ± 0.54 ^a
	6	54.75 ± 0.24 ^a	53.34 ± 0.58 ^{ab}	51.64 ± 0.94 ^{ab}	51.24 ± 0.59 ^{ab}	51.43 ± 0.65 ^{ab}
	7	54.02 ± 0.53 ^a	53.79 ± 0.64 ^{ab}	52.04 ± 0.61 ^{ab}	51.53 ± 0.55 ^b	51.93 ± 0.34 ^b
a^*	0	-7.54 ± 0.62	-7.54 ± 0.62	-7.54 ± 0.62	-7.54 ± 0.62	-7.54 ± 0.62
	1	-3.65 ± 0.31 ^a	-4.14 ± 0.55 ^a	-4.83 ± 0.94 ^a	-5.02 ± 0.25 ^a	-4.56 ± 0.53 ^a
	2	2.35 ± 0.67 ^a	0.95 ± 0.38 ^b	-1.54 ± 0.53 ^{ab}	-2.43 ± 0.96 ^c	-1.08 ± 0.57 ^{ab}
	3	5.45 ± 1.25 ^b	4.54 ± 0.58 ^b	0.43 ± 0.52 ^a	-1.44 ± 0.50 ^c	1.45 ± 1.00 ^a
	4	7.94 ± 0.95 ^a	6.52 ± 0.78 ^{ab}	4.54 ± 1.25 ^b	1.34 ± 0.44 ^c	5.42 ± 0.65 ^{ab}
	5	9.34 ± 0.44 ^a	7.43 ± 0.54 ^b	6.45 ± 0.72 ^{ab}	3.46 ± 0.64 ^c	6.95 ± 0.72 ^{ab}
	6	11.75 ± 1.04 ^a	9.54 ± 0.62 ^{ab}	7.64 ± 0.36 ^b	6.63 ± 0.41 ^c	8.42 ± 0.38 ^{ab}
	7	12.64 ± 0.51 ^a	10.63 ± 0.65 ^b	9.89 ± 0.85 ^{ab}	8.02 ± 0.37 ^{bc}	10.02 ± 0.82 ^{ab}
b^*	0	30.14 ± 0.94	30.14 ± 0.94	30.14 ± 0.94	30.14 ± 0.94	30.14 ± 0.94
	1	33.24 ± 0.42 ^a	32.61 ± 0.73 ^a	32.04 ± 0.52 ^a	31.75 ± 0.42 ^a	32.53 ± 0.62 ^a
	2	39.01 ± 0.59 ^b	38.74 ± 0.62 ^{ab}	37.94 ± 0.54 ^{bc}	36.71 ± 0.56 ^b	38.24 ± 0.65 ^{ab}
	3	40.32 ± 0.51 ^a	39.49 ± 0.53 ^{ab}	39.23 ± 2.04 ^{ab}	38.14 ± 0.53 ^b	39.83 ± 0.42 ^a
	4	42.03 ± 0.44 ^a	41.50 ± 0.42 ^{ab}	40.89 ± 0.43 ^{ab}	39.64 ± 0.55 ^b	41.03 ± 0.34 ^{ab}
	5	44.93 ± 0.73 ^a	43.42 ± 0.71 ^{ab}	42.08 ± 0.44 ^b	40.44 ± 0.49 ^c	42.54 ± 0.34 ^{ab}
	6	45.73 ± 0.43 ^a	44.56 ± 0.52 ^{ab}	43.25 ± 0.42 ^{ab}	41.82 ± 0.29 ^b	43.74 ± 0.65 ^{ab}
	7	46.34 ± 0.63 ^a	45.16 ± 0.32 ^{ab}	44.64 ± 0.47 ^{ab}	42.03 ± 0.45 ^b	44.96 ± 0.63 ^{ab}
ΔE^*	0	55.64 ± 0.21	55.64 ± 0.21	55.64 ± 0.21	55.64 ± 0.21	55.64 ± 0.21
	1	59.62 ± 0.43 ^a	58.49 ± 0.67 ^a	57.85 ± 0.56 ^{ab}	56.32 ± 0.48 ^b	59.62 ± 0.53 ^a
	2	64.59 ± 0.52 ^a	63.43 ± 0.32 ^b	62.33 ± 0.63 ^{ab}	60.90 ± 0.49 ^c	64.59 ± 0.63 ^c
	3	65.99 ± 0.45 ^a	64.29 ± 0.49 ^b	63.50 ± 0.41 ^{bc}	62.36 ± 0.46 ^c	65.76 ± 0.37 ^a
	4	67.58 ± 0.36 ^a	66.34 ± 0.21 ^{ab}	65.04 ± 0.37 ^{ab}	63.95 ± 0.74 ^b	67.58 ± 0.58 ^a
	5	70.21 ± 0.61 ^a	68.09 ± 0.35 ^b	66.23 ± 0.28 ^b	65.16 ± 0.66 ^c	70.21 ± 0.79 ^a
	6	72.30 ± 0.43 ^a	70.16 ± 0.37 ^b	67.79 ± 0.47 ^c	66.47 ± 0.87 ^c	72.30 ± 0.63 ^a
	7	73.29 ± 0.28 ^a	71.03 ± 0.53 ^b	69.27 ± 0.63 ^c	66.98 ± 0.35 ^d	72.29 ± 0.44 ^{ab}

注: 不同小写字母表示同一贮藏时间两组间差异显著 $P < 0.05$ 。下表同。

表 3 SA处理对赛买提杏采后L*、a*、b*值的影响

Table 3 Effects of SA atomizing fumigation treatment on L*, a* and b* values of postharvest 'Saimaiti' apricot

指标	时间/d	处理				
		CK	乙醇水溶液	30	40	50
L*	0	62.41 ± 0.46	62.41 ± 0.46	62.41 ± 0.46	62.41 ± 0.46	62.41 ± 0.46
	1	60.25 ± 0.65 ^a	61.40 ± 0.32 ^a	61.54 ± 0.75 ^a	62.05 ± 0.45 ^a	61.50 ± 0.74 ^a
	2	59.47 ± 0.77 ^a	60.05 ± 1.49 ^b	60.51 ± 0.41 ^{ab}	61.56 ± 0.76 ^c	60.24 ± 0.69 ^c
	3	57.96 ± 0.39 ^a	59.53 ± 0.67 ^b	59.07 ± 0.51 ^{ab}	60.51 ± 0.72 ^c	59.73 ± 0.46 ^{ab}
	4	54.11 ± 0.48 ^a	57.16 ± 0.69 ^b	58.37 ± 0.91 ^{ab}	59.96 ± 1.26 ^{ab}	57.46 ± 0.36 ^b
	5	50.68 ± 1.34 ^a	54.32 ± 1.30 ^b	56.94 ± 0.35 ^b	58.07 ± 0.42 ^c	55.67 ± 0.42 ^{bc}
	6	48.95 ± 0.37 ^a	51.17 ± 0.81 ^{ab}	52.44 ± 0.45 ^b	56.74 ± 0.59 ^{bc}	51.43 ± 0.56 ^{ab}
	7	46.42 ± 0.37 ^a	49.77 ± 0.84 ^b	51.24 ± 0.61 ^{ab}	52.93 ± 0.45 ^c	50.93 ± 0.39 ^{ab}
a*	0	-15.73 ± 0.63	-15.73 ± 0.63	-15.73 ± 0.63	-15.73 ± 0.63	-15.73 ± 0.63
	1	-13.65 ± 0.31 ^{ab}	-14.14 ± 0.73 ^{ab}	-14.83 ± 0.23 ^a	-15.02 ± 0.61 ^b	-14.56 ± 0.92 ^a
	2	-11.03 ± 0.63 ^a	-12.79 ± 0.38 ^b	-13.36 ± 2.10 ^{ab}	-14.40 ± 2.09 ^a	-13.08 ± 2.10 ^{ab}
	3	-6.30 ± 1.25 ^a	-9.87 ± 0.18 ^b	-10.17 ± 0.62 ^{ab}	-12.29 ± 1.20 ^c	-9.29 ± 1.20 ^b
	4	-2.48 ± 0.65 ^a	-5.64 ± 0.48 ^b	-8.20 ± 1.11 ^c	-10.42 ± 2.04 ^d	-7.32 ± 0.44 ^{bc}
	5	1.99 ± 2.04 ^a	0.42 ± 1.20 ^c	-2.14 ± 0.12 ^b	-5.22 ± 0.84 ^d	-1.16 ± 0.72 ^{bc}
	6	5.34 ± 0.64 ^a	2.75 ± 0.60 ^b	0.31 ± 0.14 ^c	-1.52 ± 1.41 ^d	0.91 ± 0.14 ^{bc}
	7	7.32 ± 0.23 ^a	5.54 ± 0.53 ^b	2.89 ± 0.45 ^c	0.45 ± 0.35 ^d	3.21 ± 0.56 ^{bc}
b*	0	40.28 ± 0.74	40.28 ± 0.74	40.26 ± 0.74	40.28 ± 0.74	40.28 ± 0.74
	1	42.01 ± 0.54 ^a	41.31 ± 0.68 ^a	41.22 ± 0.52 ^a	40.95 ± 0.63 ^{ab}	41.36 ± 0.63 ^a
	2	44.89 ± 2.14 ^a	43.92 ± 0.48 ^{ab}	43.05 ± 0.54 ^{ab}	41.99 ± 0.89 ^b	43.55 ± 0.58 ^{ab}
	3	47.70 ± 0.51 ^a	45.69 ± 0.53 ^b	44.09 ± 2.04 ^{bc}	43.54 ± 0.29 ^c	44.69 ± 0.58 ^{bc}
	4	50.03 ± 0.44 ^a	48.36 ± 1.82 ^{ab}	45.89 ± 0.32 ^b	44.64 ± 0.58 ^c	46.63 ± 0.34 ^{bc}
	5	53.97 ± 1.12 ^a	50.76 ± 0.62 ^b	47.64 ± 0.67 ^c	46.57 ± 1.43 ^{bc}	48.54 ± 0.46 ^{ab}
	6	55.04 ± 0.69 ^a	52.78 ± 0.44 ^b	50.25 ± 0.38 ^c	48.39 ± 0.75 ^d	51.56 ± 0.57 ^{ab}
	7	57.34 ± 0.69 ^a	55.41 ± 0.58 ^b	53.75 ± 0.45 ^{bc}	51.43 ± 0.54 ^c	54.41 ± 0.73 ^{bc}
ΔE*	0	75.93 ± 0.53	75.93 ± 0.53	75.93 ± 0.53	75.93 ± 0.53	75.93 ± 0.53
	1	74.71 ± 0.65 ^a	75.34 ± 0.25 ^a	75.54 ± 0.76 ^a	75.85 ± 0.45 ^a	74.98 ± 0.76 ^a
	2	75.32 ± 0.62 ^a	75.49 ± 0.78 ^b	75.45 ± 0.43 ^{ab}	75.90 ± 0.34 ^a	75.66 ± 0.59 ^a
	3	75.33 ± 0.72 ^b	75.69 ± 0.93 ^b	74.41 ± 0.84 ^b	75.55 ± 0.66 ^a	75.448 ± 0.65 ^a
	4	73.74 ± 0.69 ^b	75.09 ± 0.57 ^a	74.70 ± 0.66 ^{ab}	75.48 ± 0.56 ^a	73.62 ± 0.44 ^b
	5	74.06 ± 0.58 ^a	74.35 ± 0.89 ^a	74.27 ± 0.69 ^a	74.62 ± 0.26 ^a	74.35 ± 0.57 ^a
	6	73.85 ± 0.64 ^{ab}	73.56 ± 0.45 ^{ab}	72.63 ± 0.93 ^b	74.59 ± 0.75 ^a	73.92 ± 0.85 ^{ab}
	7	74.14 ± 0.61 ^a	74.69 ± 0.66 ^b	74.32 ± 0.67 ^{ab}	73.80 ± 0.96 ^b	74.87 ± 0.63 ^{ab}

2.3 SA雾化熏蒸对小白杏和赛买提杏硬度的影响

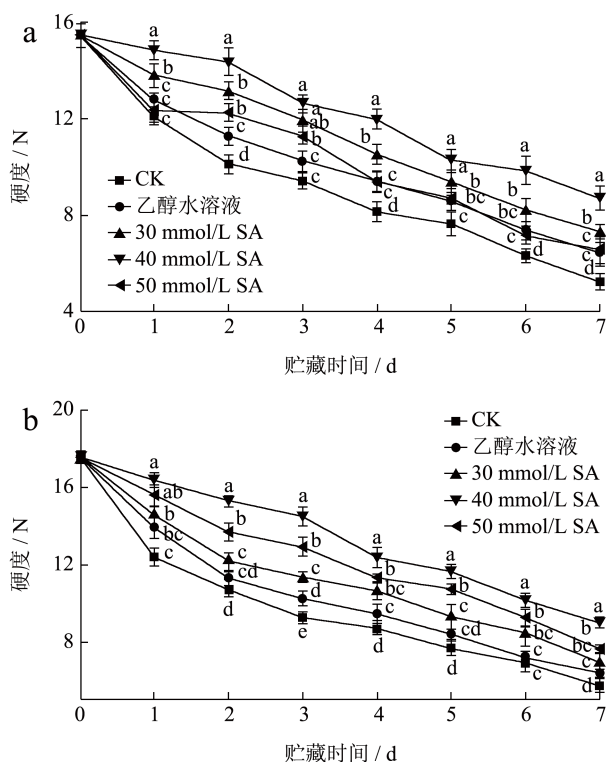


图8 SA雾化熏蒸对小白杏(a)和赛买提杏(b)硬度的影响

Fig.8 SA atomizing fumigation treatment on the firmness of 'Xiaobai' and 'Saimati' apricots

硬度是影响果实贮藏品质的最直接因素,与果实采后货架期的关系十分密切^[20]。由图8可知,在贮藏过程中,果实硬度随着贮藏期延长呈现出不断下降的趋势,但采用SA雾化熏蒸能较好的保持杏果实硬度。在小白杏贮藏末期,与对照组相比40 mmol/L SA雾化熏蒸处理后硬度分别提高了39.24%、55.62%和29.71%,差异性显著($P < 0.05$)。在赛买提杏贮藏末期,与对照组相比,40 mmol/L SA雾化熏蒸处理杏果实硬度分别提高了21.04%、56.70%和32.35%,差异性显著($P < 0.05$)。结果表明:40 mmol/L SA处理对延缓小白杏和赛买提杏果实的衰老,抑制杏果实软化,较好的保持了杏果实的品质。果实成熟过程中的软化与果胶成分、半纤维素和纤维素等细胞壁成分的降解密切相关^[21]。细胞壁降解速率主要是由软化相关细胞壁降解酶(如:聚半乳糖醛酸酶、果胶甲基酯酶和纤维素酶等)的活性高低所决定。随着贮藏时间的延长,相关酶之间的协同作用破坏了细胞壁的结构,加速了细胞壁多糖的降解,导致中间片层结构发生变化和细胞韧性的丧失,从而果实采后易发生软化现

象^[22]。有研究表明,SA处理保持了杏果实的硬度,有效地延缓了硬度的下降^[23]。

2.4 SA雾化熏蒸对小白杏和赛买提杏TA含量的影响

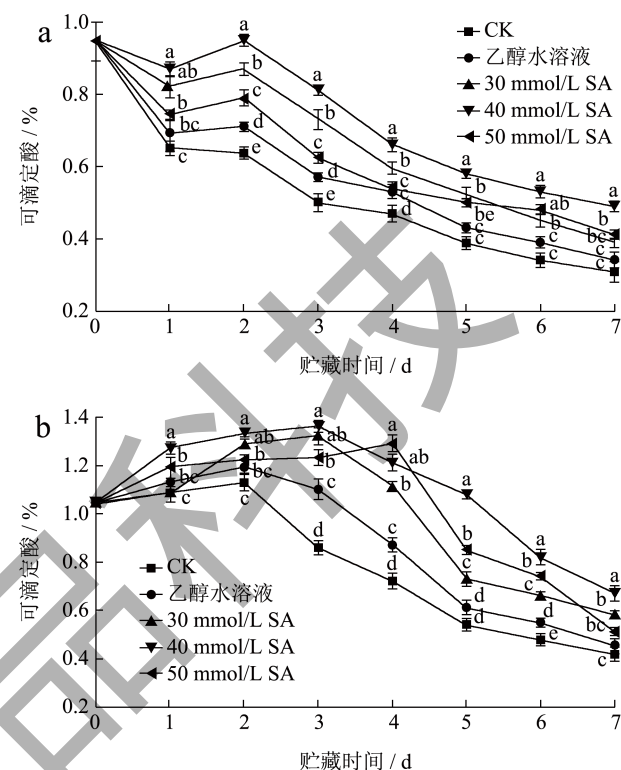


图9 SA雾化熏蒸对小白杏(a)和赛买提杏(b)可滴定酸含量的影响

Fig.9 Effect of SA atomizing fumigation treatment on the TA of 'Xiaobai' and 'Saimati' apricots

可滴定酸是果实品质的重要构成之一,是影响果实风味品质的重要因素^[24]。如图9所示,在整个贮藏期间,经SA雾化熏蒸处理的小白杏果实TA含量整体呈下降趋势,赛买提杏果实TA含量在贮藏第3天时TA含量达到一个峰值后继续呈下降趋势。40 mmol/L SA雾化熏蒸处理后小白杏的可滴定酸含量在第3天时达到最大,赛买提杏贮藏末期,30 mmol/L SA、40 mmol/L SA和50 mmol/L SA雾化熏蒸处理与乙醇水溶液处理相比分别提高了27.21%、47.06%和13.24%,与CK相比分别提高了34.11%、55.04%和19.38%,差异性显著($P < 0.05$)。结果表明,40 mmol/L SA雾化熏蒸处理较好地维持了小白杏和赛买提杏采后TA含量。在本研究中,随着小白杏的成熟,TA含量与其它果实一样,通常伴随着有机酸的降解^[25]。赛买提杏的变化趋势则与小白杏不同。贮藏前期TA的积累,

这可能与呼吸速率和乙烯的生产有关,从而促进了果实的成熟。SA处理有效抑制了TA的分解^[26],前期研究结果表明,SA处理可以有效维持冬枣采后TSS和TA含量,更大程度地维持果实中的营养物质^[27]。

2.5 SA雾化熏蒸对小白杏和赛买提杏TSS含量的影响

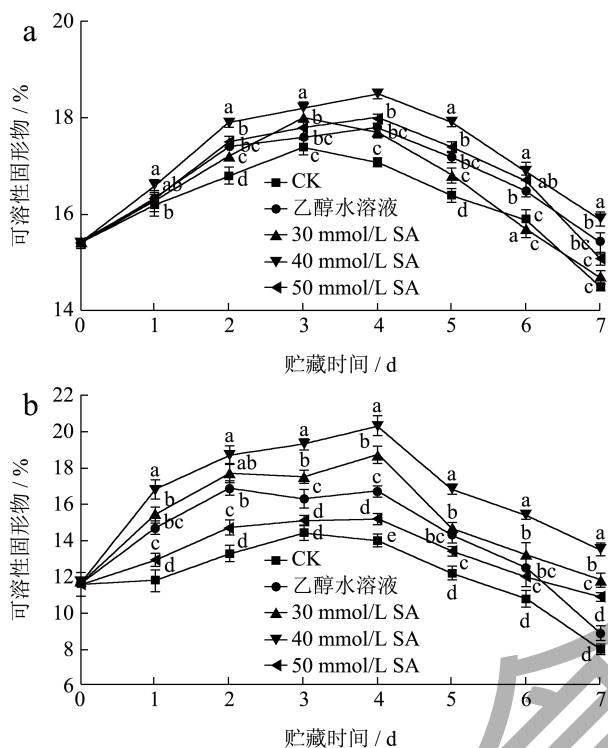


图 10 SA 雾化熏蒸对小白杏 (a) 和赛买提杏 (b) 可溶性固形物含量的影响

Fig.10 Effect of SA atomizing fumigation treatment on TSS of 'Xiaobai' and 'Saimati' apricots

TSS 是衡量果实品质的一个重要指标,可以判断果实的采收期^[28]。如图 10 所示,在整个贮藏过程中,不同处理杏果实的 TSS 总体呈现先升高后下降的趋势。小白杏贮藏第 3 天出现高峰,CK 和乙醇水溶液处理组分别为 17.70% 和 18.10%, 30、40 和 50 mmol/L SA 雾化熏蒸处理组 TSS 在贮藏第 4 天达到高峰,分别为 17.80%、18.70% 和 17.10%。在贮藏第 4 天后,乙醇水溶液处理鲜杏的 TSS 急剧下降。贮藏末期,30、40 和 50 mmol/L SA 处理鲜杏的 TSS 含量分别是 15.10%、16.00% 和 15.30%, CK 组和乙醇水溶液处理组分别为 14.50% 和 14.70%。赛买提杏的贮藏过程中,不同处理的 TSS 含量总体上呈现同小白杏 TSS 的相同变化趋势。这可能是由于在贮藏前期小白杏中的大分子碳水化合物可降解为可溶性的糖类导致其 TSS 含量增加;在

贮藏后期呼吸作用开始以小分子糖类作为代谢底物使其 TSS 含量呈下降趋势,其中,SA 处理的鲜杏 TSS 在第 4 天达到高峰,之后逐渐下降。贮藏末期,不同 SA 处理杏果实的 TSS 分别是 11.82%、13.51% 和 10.93%,对照组和乙醇水溶液处理组分别是 8.02% 和 8.94%。结果表明,30、40 和 50 mmol/L SA 处理效果优于对照组和乙醇水溶液处理组。杏果实在不断成熟过程中,大分子碳水化合物在相关酶的作用下逐步降解为可溶性糖类,导致贮藏前期果实中 TSS 含量逐渐上升^[29]。贮藏后期 TSS 含量下降的原因可能是果实进入后熟阶段,呼吸速率加快,开始以小分子糖类等营养物质作为代谢底物,使其 TSS 含量呈下降趋势^[30]。

2.6 SA雾化熏蒸对小白杏和赛买提杏呼吸强度的影响

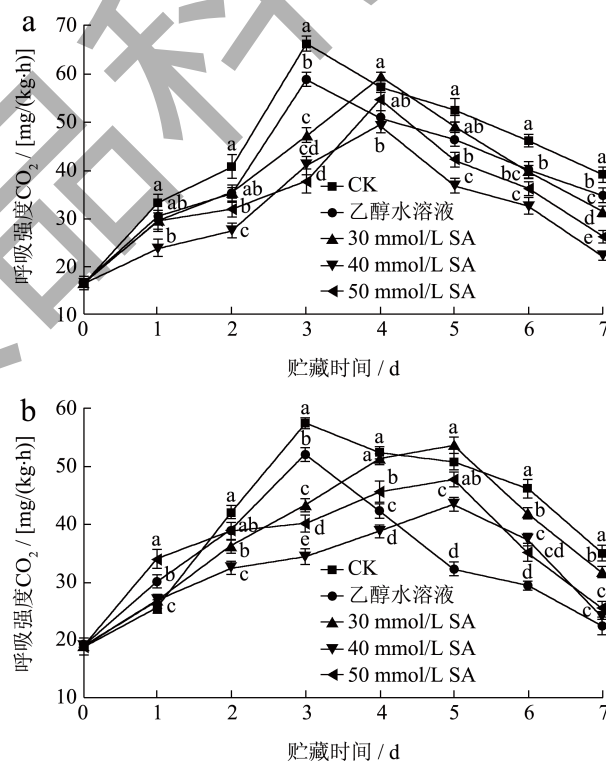


图 11 不同熏蒸处理对新疆小白杏 (a) 和赛买提杏 (b) 采后呼吸强度的影响

Fig.11 Effect of SA atomizing fumigation treatment on the postharvest respiratory intensity of 'Xiaobai' and 'Saimati' apricots

杏果实属于典型的呼吸跃变型果实,采收期短,且果实采后会在短期内迅速出现后熟现象,严重影响杏果实的食用价值和贮藏品质^[31]。在果实采后贮藏过程中,呼吸作用通过影响能量代谢和氧化还原反应来促进果实的衰老^[32]。水杨酸处理能较好的保

持果实细胞膜结构的完整性,抑制呼吸速率,推迟呼吸高峰出现的时间,降低线粒体活力,从而提高果实的贮藏品质^[33,34]。如图 11 所示,对照组和 SA 处理组鲜杏果实在贮藏期间的呼吸强度呈先上升后下降的变化趋势。小白杏贮藏过程中,对照组和乙醇水溶液处理组在第 3 天出现呼吸高峰,达到了 66.28 mg/kg·h 和 58.83 mg/kg·h。同时,SA 处理杏果实的呼吸强度显著低于乙醇水溶液处理组 ($P<0.05$)。不同 SA 处理组的呼吸高峰在第 4 天出现,其中 30 mmol/L 处理组的杏果实呼吸强度达到了 58.41 mg/kg·h,分别比 40、50 mmol/L SA 处理组杏果实呼吸强度升高了 9.88% 和 5.32%。赛买提杏果实贮藏过程中,对照组和乙醇水溶液处理组在第 3 天杏果实出现呼吸高峰,分别为 57.51 mg/kg·h 和 52.12 mg/kg·h,显著高于同一时期 SA 处理杏果实的呼吸强度 ($P<0.05$)。30、40 和 50 mmol/L SA 处理杏果实的呼吸强度在第 5 天出现,其中 30 mmol/L SA 处理杏果实呼吸强度是 53.60 mg/kg·h,分别比 40、50 mmol/L SA 处理杏果实的呼吸强度显著升高了 10.17% 和 5.79%。结果表明,40 mmol/L SA 处理有效延缓了杏果实呼吸高峰的到来。

3 结论

通过对装置的调试和测量发现,雾化喷头完成对熏蒸剂的雾化过程需要的最低压力为 4.0 MPa,单个雾化喷头的有效覆盖面积是 1.57 m²,雾化喷头对熏蒸剂的平均消耗量在 20~25 mL/min,高压雾化主机可提供的压力范围在 4.0~7.0 MPa。

对于亚克力熏蒸箱,高压雾化主机的最佳压力是 5.0 MPa,装置最佳工作方式间歇雾化 75 s。对于 550 m³ 保鲜库,高压雾化主机的最佳设定压力是 6.5 MPa,装置最佳工作方式连续雾化 7 min 再经熏蒸剂自然沉降 3 min,雾化喷头安装方式为“1 米一间隔”,雾化熏蒸试材摆放区域距离保鲜库四周墙壁 50 cm,摆放高度距离雾化喷头安装位置垂直向下 0.5~1.0 m。

以 SA 为熏蒸剂,利用已确定的雾化熏蒸工艺条件,40 mmol/L SA 雾化熏蒸处理效果最显著,较好地维持了新疆鲜杏的采后贮藏品质。

参考文献

[1] 李亚玲,石玲,刘佳,等不同出库方式对近冰温贮藏后杏果实货架期品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(10):141-146.

[2] MEDINASANTAMARINA J, ZAPATA P J, VALVERDE J M, et al. Melatonin treatment of apricot trees leads to maintenance of fruit quality attributes during storage at chilling and non-chilling temperatures [J]. *Agronomy*, 2021, 11(5): 917.

[3] 谢辉,艾尼瓦尔·肉孜,王乔,等.新疆杏产业发展现状分析及前景展望[J].中国果树,2019,2:108-112.

[4] ZHANG W L, PAN Y G, JIANG Y M, et al. Advances in gas fumigation technologies for postharvest fruit preservation [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, 19: 1-20.

[5] 赵静,任菲.加热式干眼雾化治疗仪在睑板腺功能障碍护理中的应用[J].山西医药杂志,2022,51(21):2501-2503.

[6] MITHUN M G, KOUKOUVINIS P, GAVAISES M. Numerical simulation of cavitation and atomization using a fully compressible three-phase model [J]. *Physical Review Fluids*, 2018, 3(6): 64304.

[7] 魏佳,张政,赵芳芳,等.鲜食葡萄SO₂气体精准熏蒸保鲜控制系统设计[J].农业工程学报,2019,35(1):260-268.

[8] 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.

[9] 李桂明.超声雾化器与压缩雾化器的工作原理与故障维修[J].医疗装备,2017,30(15):84-85.

[10] 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,2020,1:43-48.

[11] 王霞伟.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[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.

[12] HUANG Q, HUANG L, CHEN J, et al. Maintenance of postharvest storability and overall quality of 'Jinshay-ou' pummelo fruit by salicylic acid treatment [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 13: 1086375.

[13] CHEN C J, SUN C C, WANG Y H, et al. The preharvest and postharvest application of salicylic acid and its derivatives on storage of fruit and vegetables: A review [J]. *Scientia Horticulturae*, 2023, 312: 111858.

[14] FAN X, DU Z, CUI X, et al. Preharvest methyl salicylate treatment enhance the chilling tolerance and improve the postharvest quality of apricot during low temperature storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2021, 177: 111535.

[15] YANG Z, CAO S, CAI Y, et al. Combination of salicylic acid and ultrasound to control postharvest blue mold caused by *Penicillium expansum* in peach fruit [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2011, 12(3): 310-314.

[16] 苏建民,张泽鹏,潘越,等.高压喷雾雾化特性实验研究[J].煤矿机械,2021,11:48-50.

[17] CHEN B, GAO D, LI Y, et al. Investigation of the droplet characteristics and size distribution during the

- collaborative atomization process of a twin-fluid nozzle [J]. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020, 107(3-4): 1625-1639.
- [18] ZHANG W, KANG J, YANG W, et al. Incorporation of 1-methylcyclopropene and salicylic acid improves quality and shelf life of winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) through regulating reactive oxygen species metabolism [J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 940494.
- [19] 杨雪莲,李涵,李斌奇,等.水杨酸处理对采后百香果品质的影响[J].食品与发酵工业,2021,47(17):206-212.
- [20] 廖海达,陈萍,莫亦铭,等.乙醇在水果采后保鲜中的应用研究进展与展望[J].食品研究与开发,2022,43(11):219-224.
- [21] YUANYUAN H, FANG W, YATING Z, et al. Cloning and expression analysis of polygalacturonase and pectin methyltransferase genes during softening in apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 256: 108607.
- [22] LIU M, LI J, ZONG W, et al. Comparison of calcium and ultrasonic treatment on fruit firmness, pectin composition and cell wall-related enzymes of postharvest apricot during storage [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 59(4): 1588-1597.
- [23] LI Y, HE H, HOU Y, et al. Salicylic acid treatment delays apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit softening by inhibiting ethylene biosynthesis and cell wall degradation [J]. Social Science Electronic Publishing, 2022, 300(27): 111061.
- [24] 赵婉彤,薛杨,孙珍珠,等.宽皮柑桔可滴定酸检测方法的对比研究[J].中国南方果树,2022,51(2):40-44.
- [25] CHEN M, QIAN J, YIN X R, et al. Effect of hot air treatment on organic acid- and sugar-metabolism in Ponkan (*Citrus reticulata*) fruit [J]. Scientia Horticulturae, 2012, 147(12): 118-125.
- [26] YUNHAO L, ANZHEN F, XINXIN S, et al. 1-Methylcyclopropene and UV-C treatment effect on storage quality and antioxidant activity of 'Xiaobai' Apricot fruit [J]. Foods, 2023, 12(6): 413-420.
- [27] 桑月英.外源水杨酸和脱落酸调控冬枣采后抗氧化系统研究[D].石河子:石河子大学.2022.
- [28] 段艳军,田春娇,朱英,等.不同取汁方法对枣果可溶性固形物含量测定的影响[J].中国南方果树,2022,51(6):218-220.
- [29] 郭科燕,左宝莉,贾盼盼,等.水杨酸处理对杏果实贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2012,33(15):335-337.
- [30] 罗岩,李蓓.1-MCP结合低温贮藏对杏果实采后软化及相关酶活的影响[J].保鲜与加工,2018,18(3):43-48.
- [31] CHUMYAM A, SHANK L, FAIYUE B, et al. Effects of chlorine dioxide fumigation on redox balancing potential of antioxidative ascorbate-glutathione cycle in 'Daw' longan fruit during storage [J]. Scientia Horticulturae, 2017, 222: 76-83.
- [32] 刘冰雁,朴宇,朴永振,等.采后热处理和钙处理对苹果梨果实呼吸强度的影响[J].黑龙江农业科学,2008,6:93-95.
- [33] FAN X, SHU C, ZHAO K, et al. Regulation of apricot ripening and softening process during shelf life by post-storage treatments of exogenous ethylene and 1-methylcyclopropene [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 232: 63-70.
- [34] NARESH K, JAYANTI T, MIDATHALA R, et al. Impact of exogenous salicylic acid treatment on the cell wall metabolism and ripening process in postharvest tomato fruit stored at ambient temperature [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 56(6): 2961-2972.