

柠檬汁对猪腰枣低温贮藏效果的影响

Effect of lemon juice on the post-harvest Wulongzhuyao jujube during cold storage

周文颖 刘亚敏 刘玉民 郭妮 闫洋洋

ZHOU Wen-ying LIU Ya-min LIU Yu-min GUO Ni YAN Yang-yang

(西南大学资源环境学院, 重庆 400715)

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

摘要:以柠檬汁为保鲜材料,以1-MCP为阳性对照,在4℃条件下(相对湿度95%)将武隆猪腰枣低温贮藏40 d,贮藏期间每5 d测定猪腰枣果实的腐烂指数、质量损失率、 V_C 、可溶性固形物、丙二醛、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)等果实品质和生理指标,并运用主成分分析法对保鲜效果进行综合评价。结果表明,1-MCP与柠檬汁都能不同程度地延长猪腰枣采后货架期,降低果实的腐烂率、质量损失率、细胞膜脂过氧化程度,维持果实硬度、 V_C 、有机酸和糖类物质的较高水平,增加果实内的抗氧化酶活性,与综合评价得分结果一致。用柠檬汁处理更有利于保持猪腰枣的品质,维持更高的营养价值,可以显著延长枣果的保鲜周期。

关键词:武隆猪腰枣;柠檬汁;1-MCP;贮藏保鲜

Abstract: The preservation of lemon juice and the positive control of 1-MCP were used for Wulongzhuyao jujube fruits were stored at 4℃ for 40 d. Over the storage period, decay index, mass loss rate, ascorbic acid (V_C), total soluble solids (TSS), malondialdehyde (MDA), superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) were measured at 5 day intervals, and then the comprehensive evaluation on fresh-keeping effect was carried out by using principal component analysis. Results showed that both 1-MCP and lemon juice can prolong the shelf life of jujube, and can reduce decay rate, mass loss and the degree of cell membrane lipid peroxidation, delay the decrease of fruit firmness, V_C content, organic acid and TSS, increase the activity of antioxidant enzymes in fruit. Consistent with the results of the comprehensive evaluation, lemon juice treatment is more conducive

to maintaining the quality of jujube, keeping higher nutritional value, and can significantly prolong the storage period of jujube fruit.

Keywords: Wulongzhuyao Zao; lemon juice; 1-methylcyclopropene; preservation

武隆猪腰枣(*Ziziphus jujuba* Mill. Cv. *Wulongzhuyao Zao*)是一种适于南方栽培的鲜食枣优良地方品种,又名羊角猪腰枣,主产自重庆市武隆县羊角镇和土坎镇。其果肉呈绿白色,肉质细密脆甜,汁液多,皮薄核小,可食率高达94%以上,其口感极佳且产量高,为鲜食枣之上品^[1-2]。但由于新鲜枣果在采后会通过呼吸、蒸腾等作用代谢消耗自身的养分与能量,以及表皮上的病原菌微生物侵入,使得常温下的枣果几天内就会失水萎蔫无法保持鲜脆,继而短期内逐渐变质、腐败失去经济价值^[3-4]。猪腰枣因其皮薄水分含量高的特点,使得其在采后相比其他枣类更不易贮存,这在很大程度上也限制了武隆猪腰枣产业的对外发展。

1-甲基环丙烯(1-Methylcyclopropene, 1-MCP)是一种新型的乙烯受体抑制剂,能阻断果蔬采后乙烯诱导的一系列生理反应,延缓果实的后熟衰老,被广泛应用于果蔬保鲜领域^[5-7]。已有研究发现1-MCP对鄂北冬枣^[8]、梨枣^[9]、台湾青枣^[10]、脆枣^[11]等多数枣果都有良好的保鲜效果。但1-MCP最有效的使用方法是密闭熏蒸,存在处理条件严格、操作复杂、工作量大等问题,1-MCP作为一种化学合成物质,也存在一定的食品安全隐患。而生物保鲜剂因其更绿色环保、无化学残留、贮藏条件易控制等特点越来越受市场的青睐^[12]。柠檬具有很高的营养和药用价值,柠檬汁中含有的柠檬酸、抗坏血酸、黄酮类化合物等具有很强的抗氧化活性,能够有效抑制微生物的活性,清除DPPH自由基^[13],减轻果实褐变程度,具有很好的杀菌作用^[14-16]。已有研究表明柠檬汁能够有效缓解甘蔗汁^[17]、梨汁^[18]的变质变味,可作为潜在的生物源保鲜剂进行研究开发。但是目前还没有关于柠檬汁或柠檬提取物直接对果实保鲜效果的研究。

基金项目:西南大学基本科研业务费专项资金项目(编号:XDJK2015C176);西南大学石柱基地科技创新基金项目(编号:h201503);社会事业与民生保障科技创新专项(编号:cstc2016shmszx80024)

作者简介:周文颖,女,西南大学在读硕士研究生。

通信作者:刘亚敏(1976—),女,西南大学副教授,硕士。

E-mail: yaminliu0511@163.com

收稿日期:2017-11-28

本试验拟以处理后的柠檬汁为保鲜材料,以 1-MCP 处理作为阳性对照,以不做处理为空白对照,通过测定贮藏期间武隆猪腰枣果实各品质和生理指标的变化,研究柠檬汁处理对武隆猪腰枣果实的防腐保鲜作用及机理,并运用主成分分析法对武隆猪腰枣果实贮藏效果进行综合评价,旨在为进一步研制高效环保的武隆猪腰枣生物保鲜剂提供基础数据和理论依据,同时为柠檬资源的综合开发利用探索新的途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猪腰枣:于 2016 年 9 月底采摘于重庆市武隆县羊角镇鹅岭村种植区,低温保存运回实验室后选取大小均匀、成熟度一致、无机械损伤、无病虫害的脆熟期(果皮反白,初显红点)果实,用清水清洗干净后在室温(25℃)下吹干备用;

柠檬汁:挑选新鲜无腐烂的重庆万州产黄柠檬洗净,去皮去核,切块后放入榨汁机榨汁,先用 4 层纱布过滤一次后,再用 8 层纱布过滤,根据前期预试验结果取过滤后的滤液用超纯水稀释成 10%浓度备用;

1-MCP 粉剂:有效浓度 0.14%,西秦生物科技有限公司;
KOH、草酸、EDTA-Na₂、Met、NBT、核黄素:分析纯,成都科龙化工试剂厂;

钼酸铵:分析纯,金堆城钼业股份有限公司;

偏磷酸:分析纯,天津市光复精细化工研究所。

1.2 仪器与设备

果实硬度计:GY-1 型,乐清市艾德宝仪器有限公司;

手持糖度计:PAL-1 型,日本爱宕有限公司;

紫外分光光度计:T6 型新世纪,北京普析通用仪器有限责任公司;

榨汁机:MJ-JE25C1 型,飞利浦股份有限公司;

高速离心机:TGL-16G 型恰菲尔,上海恰菲尔分析仪器有限公司;

台式冷冻离心机:TGL-16M 型,湖南湘仪试验仪器开发有限公司;

恒温水浴锅:HH·S11-2S 型,上海跃进医疗器械有限公司;

电导率仪:DDSL-318 型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

人工气候箱:RDN 型,宁波东南仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 保鲜试验设计 将猪腰枣分为 3 组,每组 3 个重复,每组共 201 个枣。第 1 组放入稀释好的柠檬汁(浓度 10%)中,浸泡 10 min 后取出室温下(25℃)自然吹干,第 2 组置于 0.4 m³ 的密封保鲜盒中,盒内放入盛有 1 mol/L KOH 溶液的烧杯吸收 CO₂^[19],用 PE 保鲜膜封口后将 1.0 μL/L 的 1-MCP 溶液注射入保鲜盒中,注射后立即封住注射孔,20℃下密封 24 h,作为阳性对照组;第 3 组不做任何保鲜处理作为空白对照组。将上述处理好,的果实均放入 PE 保鲜袋中贴上标签,并在保鲜袋上打孔以利于保湿和气体进出,置于

4℃条件下湿度 95%的气候箱中贮藏,每 5 d 对下述各项指标进行测定。

1.3.2 质量损失率的测定 采用称质量法,每项处理 18 个果实,每 5 d 测定一次。

1.3.3 腐烂指数的测定 参照曹建康等^[19]的方法,每项处理取 30 个果实进行观察,每组 10 个,共 3 组。按式(1)计算腐烂指数。

$$c = \frac{\sum (n \times m)}{N \times M} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——腐烂指数,%;

n ——腐烂级别;

m ——该级别果实数;

N ——腐烂最高级别;

M ——观察总果实数。

腐烂级别分为 4 级:0 级,果实无褐变腐烂;1 级,低于 25% 的果面积褐变腐烂;2 级,25%~50% 的果面积褐变腐烂;3 级,25%~75% 的果面积褐变腐烂;4 级,超过 75% 的果面积褐变腐烂。

1.3.4 硬度和可溶性固形物(TSS)的测定 使用果实硬度计测定果实硬度,用刮片刀切除果实最大横径处果皮后测定,每组 5 个果实,每个果实重复测定 3 次;TSS 含量取果肉部分直接采用手持折光仪测定。

1.3.5 可滴定酸(TA)的测定 采用酸碱滴定法^[20]。

1.3.6 V_C含量的测定 采用钼蓝比色法^[21]。

1.3.7 过氧化物酶(POD)活性的测定 采用愈创木酚法^[22]。

1.3.8 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定 采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法^[23]。

1.3.9 相对电导率的测定 参照郑炳松^[24]的方法,取枣中部约 1 cm³ 的果肉进行测定,每个处理重复 3 次。

1.3.10 丙二醛(MDA)的测定 采用硫代巴比妥酸比色法^[25]。

1.4 评价方法

采用主成分分析法对猪腰枣的低温贮藏效果进行品质评价,由于各指标间存在量纲不同的问题,在进行分析前需要对数据进行标准化转换成为新的矩阵,再对转换来的无量纲新指标矩阵进行统计分析,计算主成分特征根、方差贡献率和各指标相关系数矩阵,根据分析结果以特征根>1,累积方差贡献率>85%为提取标准,确定主成分数量。取各主成分的方差贡献率作为权数对分析出的各因子得分系数矩阵进行加权求并构建主成分的综合评价模型^[26-28]。

各指标的标准化处理公式为:

$$X_{ij} = \frac{y_{ij} - \bar{y}_j}{S_j}, \quad (2)$$

式中:

$\bar{y}_j$ 和 S_j ——第 j 指标数据的平均值和标准差。

综合评价模型的构建方法:用各主成分的特征向量乘以标准化后的数据得到各主成分表达式,用各主成分函数值乘以相应权重(权重为各主成分的贡献率除以主成分的累计贡

献率所得值)得到综合表达式,具体如下:

$$F_i = \sum A_{ij} X_j, \quad (3)$$

式中:

F_i ——第 i 个主成分的得分;

X_j ——第 j 个指标经过标准化后的数据;

A_{ij} ——提取的第 i 个主成分在第 j 个指标上所对应的特征向量值, $j = 1, 2, \dots, 10$ 。

以提取的 i 个主成分方差贡献率为权数与上述求得的主成分得分 F 进行加权求和,得到综合评价得分函数 Y :

$$Y = B_1 F_1 + B_2 F_2 + \dots + B_i F_i, \quad (4)$$

式中:

B_i ——第 i 个主成分对应的方差贡献率值。

1.5 数据处理

试验数据用 Excel 进行整理,并应用 SPSS 19.0 软件进行单因素分析(ANOVA)、LSD 检验和主成分分析,以此判断不同处理间的显著性($P < 0.05$)差异和构建保鲜品质评价模型,应用 OriginPro 8.5 软件对分析数据进行图形转换,图中竖线代表平均值的标准偏差。

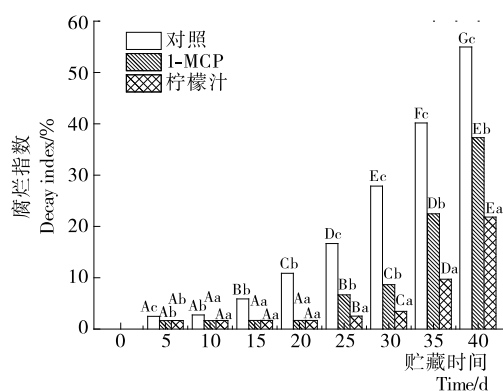
2 结果与分析

2.1 对猪腰枣果实腐烂指数的影响

在猪腰枣贮藏期间,不同处理果实腐烂指数都随时间的延长呈逐渐上升趋势,且空白对照果实腐烂程度明显高于 1-MCP 和柠檬汁处理的,在贮藏 15 d 后腐烂率开始呈指数上升(见图 1)。在贮藏 30 d 时柠檬汁、1-MCP 和空白对照果实的腐烂程度分别为 3.45%, 8.62%, 16.67%, 整个贮藏期内柠檬汁处理的腐烂程度仅占对照的 39.53%, 仅为阳性对照 1-MCP 处理的 58.49%, 说明柠檬汁处理能保持枣果更低的腐烂率,以更好延缓果实的采后衰老。

2.2 对猪腰枣果实质量损失率的影响

质量损失率的变化反映的是果实水分和营养成分的流失情况,损失率越高果实的商品价值就越低,即贮藏效果越差。在贮藏期间,经过保鲜处理的猪腰枣果实质量损失率均

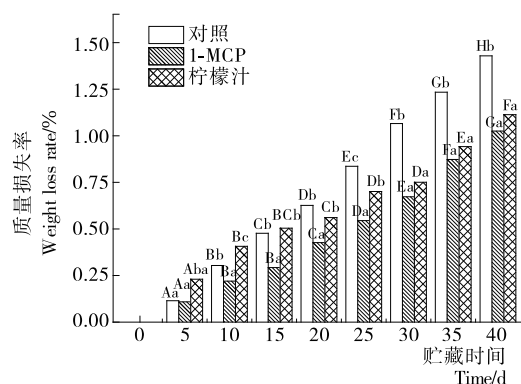


不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著($P < 0.05$),不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著($P < 0.05$)

图 1 猪腰枣贮藏期间腐烂指数的变化

Figure 1 Changes of decay index during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

得到不同程度的缓解,但经柠檬汁处理果实的质量损失率要高于阳性对照 1-MCP 处理组的。在贮藏第 25 天时,柠檬汁和 1-MCP 处理组质量损失率分别为 0.70%, 0.54%, 且差异显著($P < 0.05$);但柠檬汁组在 25 d 后质量损失率变化缓慢,与 1-MCP 组没有显著性差异(见图 2),说明保鲜处理均能显著缓解枣果体内水分和养分的流失,而柠檬汁处理相对于阳性对照组质量损失情况较高。



不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著($P < 0.05$),不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著($P < 0.05$)

图 2 猪腰枣贮藏期间质量损失率的变化

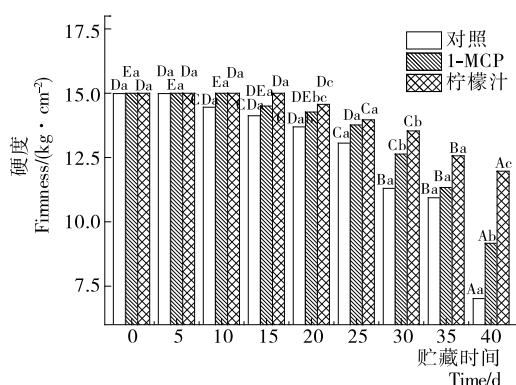
Figure 2 Changes of weight loss during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

2.3 对猪腰枣果实硬度的影响

从图 3 可以看出,在贮藏 15 d 后,经保鲜处理枣的硬度开始降低,且柠檬汁组变化率始终低于 1-MCP 处理组的,分别为 20.22% 和 38.89%。贮藏结束时柠檬汁处理组的硬度是 1-MCP 处理组的 1.31 倍,且在整个贮藏过程中柠檬汁处理组的果实硬度始终高于 1-MCP 处理组的,说明柠檬汁处理缓解猪腰枣硬度变化的效果更佳,可能是柠檬汁内含的活性多肽类物质的抗菌、抗病毒等作用,有效杀除和抑制了果皮上的微生物活动,从而保持了枣果的品质。

2.4 对猪腰枣果实 TSS 含量的影响

果实成熟过程中 TSS 含量的变化过程呈现出先上升再

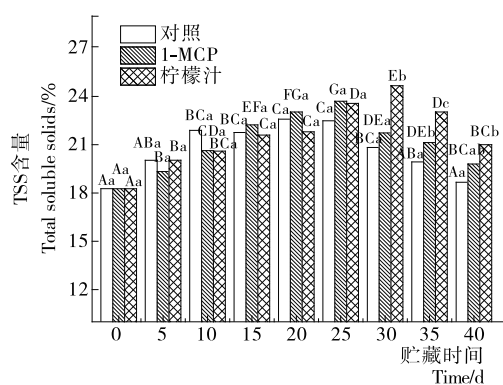


不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著($P < 0.05$),不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著($P < 0.05$)

图 3 猪腰枣贮藏期间硬度的变化

Figure 3 Changes of the firmness during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

下降的趋势(见图4),这是由于在贮藏初期果实尚未完全成熟,果实体内的不溶性大分子物质(如淀粉)缓慢降解为可溶性糖类,从而使得TSS含量上升,在果实成熟后,由于果实降解总量减小,且低于呼吸作用代谢消耗的可溶性糖含量,使得TSS含量在贮藏过程中出现先上升后下降的变化趋势^[29-30]。在贮藏20 d时,空白对照组的TSS达到了最大值(22.6%),25 d时阳性对照1-MCP处理组达到最大值(23.7%),在贮藏30 d时,柠檬汁处理组的TSS才达到最大值(24.67%),此后随贮藏时间的延长各组的TSS含量逐渐下降,且贮藏后期果实中TSS的含量变化顺序是柠檬汁组>1-MCP组>空白对照,且差异显著($P<0.05$)。说明柠檬汁处理比1-MCP处理更能有效地缓解果实中大分子物质的降解,同时减缓TSS的代谢消耗,使得后期TSS含量维持更高水平。



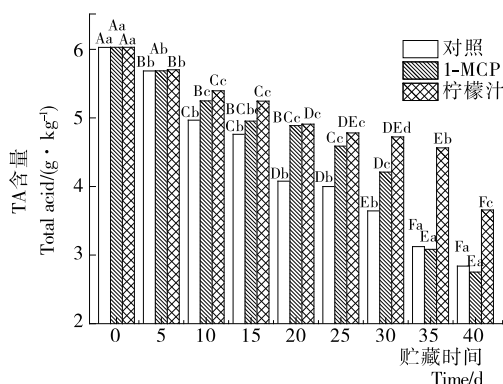
不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著($P<0.05$)

图4 猪腰枣贮藏期间TSS含量的变化

Figure 4 Changes of TSS content during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

2.5 对猪腰枣果实TA含量的影响

酸度是衡量果实采后风味程度的重要指标,酸度变化越小,则果实风味保持越好。在贮藏期内枣果的TA含量整体呈不断下降的趋势(见图5),柠檬汁组的下降幅度最小



不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著($P<0.05$)

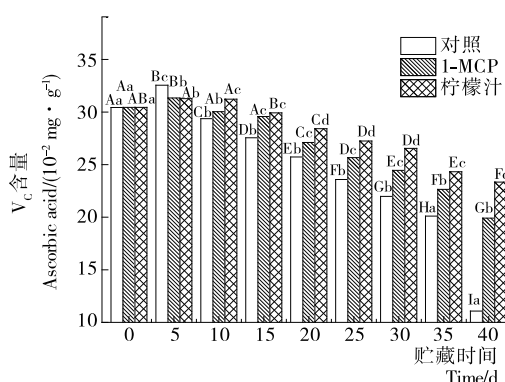
图5 猪腰枣贮藏期间TA含量的变化

Figure 5 Changes of TA content during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

(39.34%)。1-MCP在保鲜30 d后下降幅度显著($P<0.05$)变大(34.62%),是柠檬汁的1.53倍,说明1-MCP处理的枣果在后期有机酸被大量消耗。而整个贮藏期内柠檬汁组的TA含量变化最小且明显优于阳性对照1-MCP的,说明柠檬汁处理能通过缓解枣果TA含量的变化,以保持果实更好的风味品质。

2.6 对猪腰枣果实V_C含量的影响

在贮藏初期各组枣果的V_C含量出现上升的趋势,可能是由果实的后熟作用引起的。在贮藏中后期保鲜处理相对于空白对照均能有效延缓V_C含量的下降,且柠檬汁处理效果显著($P<0.05$)优于1-MCP的,贮藏结束后1-MCP和柠檬汁处理的V_C含量分别为19.91,23.34 mg/100 g(见图6),说明柠檬汁处理显著抑制了枣果内V_C的变化。



不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著($P<0.05$),不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著($P<0.05$)

图6 猪腰枣贮藏期间V_C含量的变化

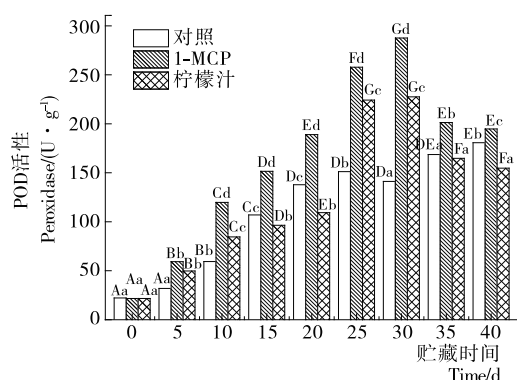
Figure 6 Changes of V_C content during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

2.7 对猪腰枣果实POD活性的影响

在贮藏期间果实POD活性出现先上升再下降的趋势,1-MCP处理的枣果POD活性值前期上升趋势快,中后期下降幅度较小,能保持一个较高的活性氧清除水平,在贮藏第30天达到最大值(287.6 U/g)后维持在较高浓度(190 U/g)范围,柠檬汁处理能抑制前期POD活性的增加,中期变化趋势变大,后期也能保持较高的酶活性,在第30天时出现最大值(227.5 U/g)(见图7)。因此,柠檬汁和1-MCP处理均能通过提高枣果POD的活性,进而促进对H₂O₂类物质的清除能力。

2.8 对猪腰枣果实SOD活性的影响

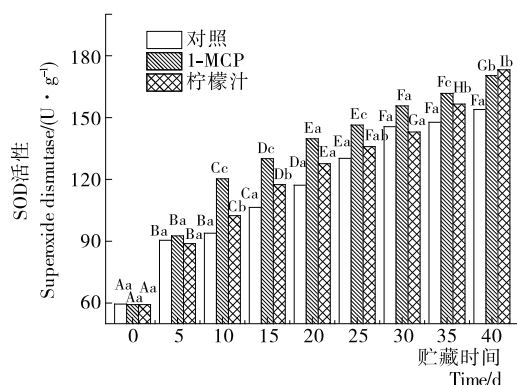
贮藏期内,猪腰枣果实体内的SOD酶活性均逐渐上升(见图8),经处理的果实SOD活性较高。前期以1-MCP处理的果实中SOD活性上升速率最快;中后期柠檬汁处理的果实中SOD活性显著升高,在贮藏后期柠檬汁处理与1-MCP处理的果实中SOD活性差异不显著,且在贮藏结束时,经柠檬汁处理的果实中SOD活性达到183.19 U/g,是1-MCP处理的1.08倍。说明柠檬汁和1-MCP处理均能有效提高枣内SOD的活性,用以清除枣果内积累的O₂⁻类物质。



不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著 ($P < 0.05$)

图 7 猪腰枣贮藏期间 POD 活性的变化

Figure 7 Changes of POD activity during storage of Wulongzhuyao jujube fruits



不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著 ($P < 0.05$)

图 8 猪腰枣贮藏期间 SOD 活性的变化

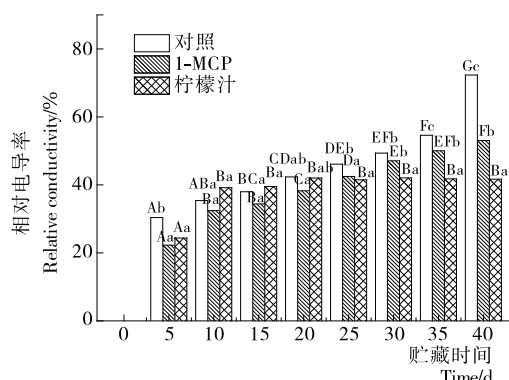
Figure 8 Changes of SOD activity during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

2.9 对猪腰枣果实细胞膜透性的影响

相对电导率是反映果实细胞膜受到伤害程度的重要指标。武隆猪腰枣贮藏前期,各试验组电导率上升缓慢,且没有显著性 ($P > 0.05$) 差异(见图 9)。在贮藏后期,经柠檬汁处理的果实电导率值变化最小,维持在 41% 左右;经 1-MCP 处理的枣果电导率值变化相对较大,在 50% 范围内;空白对照的枣果电导率值变化最大。贮藏结束时 1-MCP 处理组相对电导率是柠檬汁处理组的 1.27 倍。表明柠檬汁比 1-MCP 能更好地缓解电解质外渗,降低细胞膜透性上升的速度。

2.10 对猪腰枣果实 MDA 含量的影响

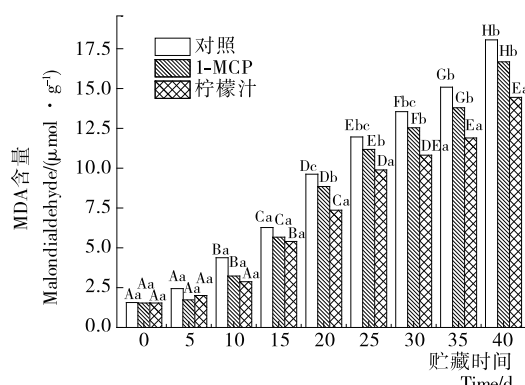
随着贮藏时间的延长,猪腰枣果实中 MDA 含量均呈上升的趋势,但 2 处理组 MDA 含量上升的速度均低于空白对照(见图 10)。经柠檬汁处理的果实中 MDA 含量变化最小。贮藏第 20 天与第 1 天相比,柠檬汁处理上升了 3.79 倍,而 1-MCP 处理上升了 4.76 倍,两组处理间有显著性 ($P < 0.05$) 差异。贮藏结束时,柠檬汁处理的 MDA 含量为 1-MCP 处理的 86.63%。说明保鲜处理后的果实体内活性氧 (H_2O_2) 的积累被缓解,降低了果实膜脂过氧化程度,使 MDA 含量处



不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著 ($P < 0.05$)

图 9 猪腰枣贮藏期间细胞膜透性的变化

Figure 9 Changes of membrane permeability during storage of Wulongzhuyao jujube fruits



不同大写字母表示同一处理不同时间之间的差异显著 ($P < 0.05$), 不同小写字母表示同一时间不同处理之间的差异显著 ($P < 0.05$)

图 10 猪腰枣贮藏期间 MDA 活性的变化

Figure 10 Changes of MDA activity during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

于相对较低的水平,柠檬汁处理的降低效果更显著。

柠檬汁处理的枣果相对于阳性对照 1-MCP 处理其自身的防御酶活性变化不大,但 MDA 含量和膜透性变化却相对较低,可能是由于柠檬汁内含有的类黄酮等多羟基酚类化合物能提供质子结合自由基离子,使得枣果内的活性氧物质在贮藏前期被大量清除,加强了果实的抗氧化能力,从而在自我保护酶含量较低的状况下,更好地维持了果实的生理变化,延缓了果实的成熟衰老^[31-32]。

2.11 猪腰枣保鲜品质主成分分析及综合评价

主成分分析法属于多元统计分析中的一种处理降维的方法,能实现以少数的主成分代替大量原复杂多样的变量信息,从而建立一个简单的数据模型。为了更全面地反映猪腰枣保鲜品质的优劣,试验采用主成分分析法对各项猪腰枣品质变化指标进行主成分分析并建立综合评价模型。根据表 1 的分析结果可以看出,前 2 个主成分累计方差贡献率已达 93.457% > 85%,即包含了 10 个指标中 93.457% 的信息量,具有很好的代表性,因此选取前 2 个主成分进行评价。第 1 主成分的特征根为 7.494,方差贡献率为 74.937%;第 2 主成分

表 1 主成分方差分析
Table 1 Analysis of variance for PCA

成份	特征根	初始特征值		提取平方和载入		
		方差贡献率/%	累积方差贡献率/%	特征根	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
1	7.494	74.937	74.937	7.494	74.937	74.937
2	1.787	17.866	92.803	1.787	17.866	92.803
3	0.239	2.388	95.191			
4	0.210	2.099	97.290			
5	0.119	1.193	98.483			
6	0.078	0.778	99.261			
7	0.037	0.365	99.626			
8	0.017	0.174	99.800			
9	0.015	0.155	99.955			
10	0.005	0.045	100.000			

分的特征根为 1.787,方差贡献率为 17.866%。

TA、MDA、V_c、硬度、质量损失率、腐烂指数、相对电导率在第 1 主成分上在正坐标处载荷较高,SOD 在负坐标有较高载荷,说明第 1 主成分主要反映这 8 个成分指标的信息,比较其主成分贡献率大小顺序为 MDA>V_c>TA>质量损失率>硬度>相对电导率>腐烂指数>SOD;TSS 在第 2 主成分正坐标处有较高载荷,是第 2 主成分反映的主要信息(表 2)。

通过计算不同保鲜处理对武隆猪腰枣贮藏期间的综合得分显示,随着贮藏时间的延长,各不同处理的猪腰枣果实综合得分均逐渐下降,前 10 d 得分与对照相差不大,10~22 d 时柠檬汁处理的枣果得分低于 1-MCP,但此后柠檬汁处理组的保鲜效果更为持久,1-MCP 处理组在第 27 天以后出现负值,而柠檬汁处理组持续到第 33 天左右才出现负值,比 1-MCP 延长了 6 d(见图 11)。说明柠檬汁在保鲜过程中的综合得分情况优于 1-MCP 处理,能更好地延长果实的品质与贮藏期,这与上文中柠檬汁处理组在抑制 V_c、TA、TSS 含量和硬度的降低,保持更高的 SOD 活性,同时在缓解腐烂率、MDA 含量的增长上优于阳性对照 1-MCP 处理组的结果一致。

表 2 成分载荷矩阵
Table 2 Component Matrix

指标	第 1 主成分	第 2 主成分
TA	0.963 0	0.040
MDA	0.981 0	-0.151
SOD	-0.851 0	0.390
硬度	0.946 0	0.264
TSS	0.000 1	0.956
POD	-0.676 0	0.644
V _c	0.967 0	0.150
质量损失率	0.959 0	-0.015
腐烂指数	0.897 0	0.412
相对电导率	0.931 0	0.136

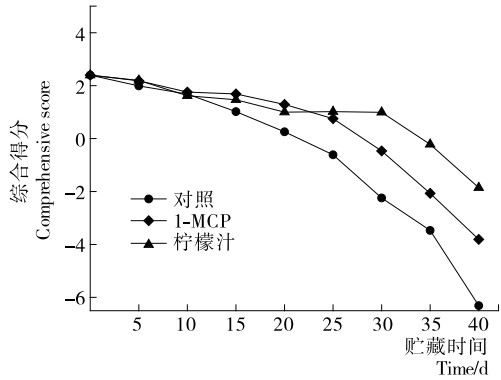


图 11 猪腰枣贮藏期间采后综合得分的变化
Figure 11 Changes of comprehensive score during storage of Wulongzhuyao jujube fruits

3 结论

本试验以鲜柠檬汁为保鲜材料,1-MCP 为阳性对照,在 4℃条件下(相对湿度 95%)将猪腰枣低温贮藏 40 d,通过观测枣果连续时间内各品质和生理指标的变化。结果表明,经柠檬汁保鲜处理比 1-MCP 处理的猪腰枣能保持更低腐烂率,并且果实硬度、TSS、V_c、TA 等品质指标都维持在较高范围。通过综合评价结果发现,柠檬汁处理的枣果较 1-MCP 保鲜时间更为持久,能更好地延长猪腰枣的品质与贮藏期。

柠檬汁作为一种潜在生物源保鲜剂被广泛用于果汁和食品的加工工艺中,但目前还没有直接用于果品保鲜的研究。根据本试验结果可以认为柠檬汁对延缓采后枣果的衰老,保持枣果品质较常用保鲜剂(1-MCP)有更好的保鲜效果,今后可通过试验进一步探讨柠檬汁在不同果品保鲜上的作用,为柠檬资源在果品保鲜应用上提供理论依据。

参考文献

[1] 辜夕容,陈勇,李洪飞,等. 武隆猪腰枣优良单株果实品质的主成分分析及综合评选[J]. 食品科学, 2012, 33(15): 79-82.

[2] 辜夕容,陈勇,邓雪梅,等. 武隆猪腰枣果实品质变异分析与优良种质筛选[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(3): 124-128.

[3] 程红,吴习宇,徐丹,等. 壳聚糖涂膜处理对猪腰枣保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 113-116.

[4] 沈雅珉,何三宁. 鲜枣采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(5): 134-138.

[5] HAI Su, GUBLER W D. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on reducing postharvest decay in tomatoes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 1(64): 133-137.

[6] CHOI S T H D J. Influence of aqueous 1-methylcyclopropene concentration, immersion duration, and solution longevity on the postharvest ripening of breaker-turning tomato fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 1(49): 147-154.

[7] 王文辉,王志华,李志强,等. 1-MCP 对鲜枣采后生理及保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2003, 3(1): 21-23.

[8] 胡波,李国元,谢志兵,等. 不同浓度的 1-MCP 处理对鄂北冬枣低温贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(20): 1-3.

[9] 郝晓玲,王如福,庞侯英,等. 1-甲基环丙烯处理对不同成熟度

- 梨枣贮藏品质的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(11): 119-121.
- [10] 陈莲, 王璐璐, 林河通, 等. 1-MCP 延缓采后台湾青枣果实衰老及其与能量代谢的关系[J]. 热带作物学报, 2017, 38(1): 175-182.
- [11] 张小康. 早中熟鲜食红枣保鲜措施及其生理机制研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2017: 24-36.
- [12] 王刚霞, 席冬华, 吴忠红, 等. 生物保鲜技术在果蔬防腐中的应用及研究进展[J]. 生物技术进展, 2014, 4(1): 12-16.
- [13] 周玥, 张娜, 林太凤, 等. 柠檬汁清除 DPPH 自由基能力及实验方法比较研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 176-178, 182.
- [14] 廖玉琴. 柠檬果皮精油提取、微胶囊化工艺及抑菌性研究[D]. 成都: 西华大学, 2013: 1-3.
- [15] 张纬, 黄海, 孙晓明, 等. 柠檬提取物抑菌、杀灭病毒作用机制研究[J]. 中国微生态学杂志, 2009, 21(5): 430-434.
- [16] WATKINS C B. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops[J]. Hort Science, 2008, 1(43): 86-94.
- [17] 张莉, 王森, 杜德俊, 等. 柠檬汁对甘蔗汁保鲜工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(3): 201-205.
- [18] 周会玲, 柏广玲, 张欢, 等. 柠檬汁对梨汁褐变作用的研究[J]. 北方园艺, 2013(3): 149-151.
- [19] 曹建康, 陈文化, 赵玉梅, 等. 壳聚糖结合 1-甲基环丙烯处理对李果实货架期品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 366-368.
- [20] WANG S, CHEN C T, WANG C. The influence of light and maturity on fruit quality and flavonoid content of red raspberries.[J]. Food Chemistry, 2009, 112(3): 676-684.
- [21] 张立华, 张元湖, 曹慧, 等. 石榴皮提取液对草莓的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 361-365.
- [22] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 218-220.
- [23] 喻泽莉, 何平, 张春平, 等. 干旱胁迫对决明种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2012, 34(2): 39-44.
- [24] 郑炳松. 现代植物生理生化技术[M]. 北京: 气象出版社, 2006: 265-268.
- [25] 张蜀秋. 植物生理学实验技术教程[M]. 北京: 科学出版社, 2011: 201-202.
- [26] POLAT K, GÜNE S. Automatic determination of diseases related to lymph system from lymphography data using principles component analysis (PCA), fuzzy weighting pre-processing and ANFIS[J]. Expert Systems with Applications, 2007, 33(3): 636-641.
- [27] ITO H, KONO T. Quantitative analysis of organic additive content in a polymer by ToF-SIMS with PCA[J]. Applied Surface Science, 2008, 255(4): 1 044-1 047.
- [28] 谢丽源, 郑林用, 彭卫红, 等. 基于主成分分析法对不同温度处理下香菇的品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(6): 80-85.
- [29] 卞生珍, 豆一玲, 李阳, 等. 1-MCP 处理对低温贮藏新疆冬枣生理和品质的影响[J]. 农产品加工, 2016, 11(21): 1-4.
- [30] 尚艳双, 刘玉民, 刘亚敏, 等. 枫香叶精油对枇杷低温贮藏的防腐保鲜效果[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 266-270.
- [31] 李鹏飞. 柠檬生物活性成分分析及其组织培养技术研究[D]. 成都: 西华大学, 2014: 3-4.
- [32] MIYAKE Y, MOCHIZUKI M, OKADA M, et al. Isolation of antioxidative phenolic glucosides from lemon juice and their suppressive effect on the expression of blood adhesion molecules[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2007, 71(8): 1 911-1 919.

(上接第 119 页)

算法的基础上,引入论域伸缩因子使模糊控制输入输出变量的论域范围随温度误差及误差变化率进行伸缩,解决了因模糊论域固定而引起的控制精度降低的问题,同时制定 ΔK_P 、 ΔK_I 、 ΔK_D 的模糊控制规则查询表,设计变论域模糊 PID 啤酒发酵温度控制器,提高温度控制系统的精确性和稳定性,通过啤酒发酵温度控制试验得出:温度误差范围为 $\pm 0.09\text{ }^\circ\text{C}$,温度控制精度为 0.75% ,满足啤酒发酵温度精确要求。

参考文献

- [1] 苗荣霞, 王彬. 啤酒发酵温度的参数自整定模糊 PID 控制[J]. 西安工业大学学报, 2016, 36(2): 167-172.
- [2] 潘玉成, 林高飞, 陈小利, 等. 基于模糊专家控制的茶叶炒制温度控制系统[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 79-84.
- [3] 张震. 模糊控制在啤酒发酵系统中的研究与应用[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2014: 31-34.
- [4] 徐洋洋. 精酿啤酒生产控制系统的设计与研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017: 26-28.
- [5] 王永会, 王增才, 郑洲, 等. S7-1200PLC 在离合器控制系统的应用研究[J]. 现代制造工程, 2017(2): 109-113.
- [6] 王磐, 洪苑乾, 黄汉英, 等. 基于 PLC 的模糊 PID 控制器在热风干燥箱上的应用[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 100-104.
- [7] 徐佳. 智能控制在啤酒发酵系统温度优化控制中的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2016: 56-57.
- [8] 揭海宝, 康积涛, 李平. 基于变论域模糊 PID 控制的同步发电机励磁研究[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(6): 101-104.
- [9] 胡亚南, 祈广利, 霍蛟飞. 基于模糊 PID 的 FDM 型 3D 打印机喷头温度控制系统[J]. 包装工程, 2017, 38(19): 173-178.
- [10] 张鹏, 冯显英, 霍睿, 等. 基于变论域自适应模糊 PID 的注塑机温度控制系统研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2017(7): 107-109, 115.
- [11] TOLIC B, ANNA G. Optimal control of beer fermentation processes with Lipschitz-constraint on the control [J]. Journal of the Institute of Brewing, 2014, 120(4): 444-458.
- [12] 阮文韬. 关于啤酒酿造过程 PLC 自动控制系统的研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(20): 111-114.
- [13] 洪云飞. WinCC flexible 组态软件在砂光机控制系统中的应用[J]. 工业仪表与自动化装置, 2016(1): 94-96.