

响应面法优化冬枣保鲜工艺研究

王萍¹, 魏岸¹, 尹莉¹, 郭东起¹, 吴翠云², 于军^{2*}

(1. 塔里木大学生命科学学院/新疆特色农产品深加工兵团重点实验室, 阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学植物科学学院/新疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室, 阿拉尔 843300)

摘要: **目的** 为了延长冬枣贮藏期, 并保持其在贮藏过程中的品质, 优化新疆绿糖心冬枣保鲜工艺。**方法** 以冬枣为原料, 以腐烂率和失水率为单因素的评价指标, 在此基础上根据 Box-Behnken 试验设计原理, 确定不同浓度次氯酸钠(NaClO)、环氧乙烷高级脂肪醇(oxyethylene higher aliphatic alcohol, OHAA)、1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)复合保鲜的最优工艺, 并以冬枣硬度评价指标, 分析优化前后复合保鲜剂对冬枣采收后保鲜效果的影响。**结果** 复合保鲜剂最佳的工艺配方为是 1.1% NaClO, 0.12% OHAA, 500 mg/L 1-MCP。并通过验证实验得出, 冬枣贮藏 80 d 后, 冬枣硬度值为 72.97 N, 腐烂率为 11.06%, 失重率为 0.59%, 明显优于空白组($P<0.05$)。**结论** 此条件下处理的冬枣在贮藏 80 d 后, 失重率, 腐烂率显著降低, 为冬枣复合保鲜剂的开发奠定了理论基础。

关键词: 次氯酸钠; 环氧乙烷高级脂肪醇; 1-甲基环丙烯; 响应面; 冬枣保鲜

Study on optimizing the preservation technology of Dongzao by response surface methodology

WANG Ping¹, WEI An¹, YIN Li¹, GUO Dong-Qi¹, WU Cui-Yun², YU Jun^{2*}

(1. Xinjiang Production & Construction Corps Key Laboratory of Deep Processing of Agricultural Products in South Xinjiang, College of Life Science, Tarim University, Alar 843300, China; 2. The National and Local Joint Engineering Laboratory of High Efficiency and Superior-Quality Cultivation and Fruit Deep Processing-Technology of Featured Fruit Trees in Southern Xinjiang College of Frosty, College of Plant Science, Tarim University, Alar 843300, China)

ABSTRACT: Objective In order to prolong the storage period of Dongzao jujube and maintain its quality during storage, the preservation process of Xinjiang LTX Dongzao jujube was studied. **Methods** Taking Dongzao as raw material, the rot rate and water loss rate were used as single factor evaluation indexes. The optimal process parameters of sodium hypochlorite (NaClO), oxyethylene higher aliphatic alcohol (OHAA), 1-methylcyclopropene (1-MCP) were determined based on the box-behnken experimental design principle. According to the hardness evaluation index of DongZao jujube, the influence of the compound preservative before and after optimization on the preservation effect of Dongzao after harvest was analyzed. **Results** The optimal process formula of the composite preservative was 1.1% NaClO, 0.12% OHAA, 500 mg/L 1-MCP. And through the verification experiment, the

基金项目: 新疆特色农产品深加工兵团重点实验室开放课题(AP1605)、塔里木大学校长基金硕士项目(TDZKCG201601)、兵团新疆重点产业发展支撑计划项目(2017DB006-1)

Fund: Supported by Project of Construction Corps Key Laboratory of Deep Processing of Agricultural Products in South Xinjiang (AP1605), Principal Fund Project of President of Tarim University (TDZKCG201601), XPCC South Xinjiang Key Industry Development Support Project (2017DB006-1)

***通讯作者:** 于军, 硕士, 教授, 主要研究方向为园艺产品加工。E-mail: tdakjc@163.com

***Corresponding author:** YU Jun, Master, Professor, The National and Local Joint Engineering Laboratory of High Efficiency and Superior-Quality Cultivation and Fruit Deep Processing-Technology of Featured Fruit Trees in Southern Xinjiang College of Frosty, Tarim University, Alar 843300, China. E-mail: tdakjc@163.com

hardness of Dongzao was 72.97 N, the rot rate was 11.06%, and the weight loss rate was 0.59% after 80 d of storage,, which was significantly better than the blank group($P<0.05$). **Conclusion** After storage for 80 days, the weight loss rate and decay rate of Dongzao treated under this condition were significantly reduced, which laid a theoretical foundation for the development of Dongzao composite preservatives.

KEY WORDS: NaClO; oxyethylene higher aliphatic alcohol; 1-methylcyclopropene; response surface methodology; preservation of Dongzao

1 引言

冬枣又名鲁北冬枣、冻枣、雁过红、苹果枣、水枣、冰糖枣等,属于鼠李科,枣属,由于它成熟期晚,一般在 10 月中下旬,故而得名“冬枣”^[1]。近年来,随着消费者对枣果的鲜食营养和保健价值认识的不断提高,日益受到人们的青睐。但是由于冬枣水分含量高,对环境中的 CO₂ 特别敏感,且皮薄质脆,极易受机械损伤^[2]、微生物感染^[3]和运输条件的影响,使其腐烂变质,失去其商品价值和食用价值,造成冬枣供应期短,销售面窄^[4,5],严重制约了冬枣产业的发展。冬枣的保鲜研究已有大量报道,气调保鲜作为目前主流的保鲜技术,气体组成和含量对冬枣保鲜产生较大的影响,不同的果蔬和不同品种其理化成分的差异,导致很难做到气调库分隔保鲜,需要辅助其他保鲜手段。例如李述刚等^[6-8]的实验结果表明:1%环氧乙烷高级脂肪醇(oxyethylene higher aliphatic alcohol, OHAA)与 0.16%肉桂精油复合保鲜剂能在温度为(0±2) °C、相对湿度为 85%~90%的贮藏条件下,冬枣保鲜效果最佳。金童等^[9]研究表明 1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)复合 ClO₂ 处理能有效减少果实腐烂,保持果实较高的含水量、硬度、可溶性固形物含量、VC 含量、总酚含量、还原力和 DPPH 自由基清除率,提高采后冬枣果实的贮藏品质,可作为采后冬枣保鲜的有效手段。张顺和等^[10]的研究表明,经二氧化氯处理的冬枣在贮藏 80 d 后,其好果率、果实硬度、VC 均高于对照组。卞生珍等^[11]的研究表明,1000 nL/L 1-MCP 处理与普通冷藏相比能更好地保持冬枣的新鲜状态,减少 VC 等营养成分的损失,并能明显抑制果皮变红,能够在一定程度上减少果实的腐烂。现有的研究多集中单一方式处理沾化冬枣,鄂北冬枣等,对于新疆冬枣的复合保鲜报道较少。

NaClO 作为水果、蔬菜及食品加工设备的常用杀菌剂,已在众多果蔬保鲜中得到应用^[12],环氧乙烷高级脂肪醇是果蔬表皮被膜剂。用于果蔬贮藏、运输中抑制水分蒸发,降低重量损失、防止凋萎和枯死,保色、保鲜、延长贮藏时间,对冬枣有较好的保鲜效果^[7],1-MCP 能够明显降低呼吸速率,抑制果实衰老^[13,14],新疆作为冬枣的主产地,受地域条件和技术水平限制,储藏期间腐烂现象更为严重,因此本研究采用 NaClO 结合 OHAA 和 1-MCP 3 种复合剂处理新疆冬枣,得出最佳处理工艺,以期新疆冬枣的贮

运提供理论依据和技术支撑。

2 材料与方 法

2.1 材料与试剂

原料采于新疆第三师五十团绿糖心冬枣种植专业合作社,选取大小一致颜色均一的新鲜冬枣。

NaClO 溶液(分析纯 AR,天津市光复精细化工研究所);1-MCP(有效浓度 2%,西安北农华作物保护有限公司);OHAA 课题组自己研制^[7]。

2.2 仪器与设备

TMS-Pro 型质构仪(美国 FTC 公司);FA/JA2004N 型电子天平(上海恒平科学仪器有限公司);WCS-S 型色差仪(上海申光公司)。

2.3 实验方法

果实处理方案:第一组,果实用清水洗净后,晾干装入保鲜盒中,采用 1-MCP 熏蒸处理浓度为 200、300、400、500、600 mg/L 保鲜盒中熏蒸 12 h 后,置于冷库;第二组,果实用清水洗净后,晾干分别用 0.03%、0.06%、0.09%、0.12%、0.15%、0.18%的 OHAA 浸泡 1 min,晾干后,装入保鲜盒置于冷库。第三组,果实采用 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%的 NaClO 浸泡 1 min,晾干后,装入保鲜盒置于冷库。空白对照:果实用清水浸泡 1 min,晾干后,装入保鲜盒置于冷库。所有材料,每 20 d 取样一次。

L 值的测定:运用 WCS-S 型色差仪对红枣果皮色差 *L* 值、*a* 值和 *b* 值进行测量,根据 *L* 值反映果面的明亮程度来衡量响应不同处理对红枣果皮的色差值的影响^[15]。

腐烂率的测定:腐烂率/%=腐烂果的质量/总质量×100^[16]。

失水率的测定:失水率/%=(总质量-贮藏后质量)/总质量×100^[17]。

果实硬度:采用 TMS-Pro 质构仪对冬枣果实赤道部位硬度进行测定。

3 结果与分析

3.1 单因素实验

3.1.1 1-MCP 熏蒸处理对冬枣失重率和腐烂率影响

如图 1A 所示,在冬枣贮藏过程中,贮藏 40 d 内失水

较慢, 40 d 后失水显著增加, 随着 1-MCP 浓度增加, 失水率降低; 腐烂率作为评价果实贮藏品质最直观的性状, 由图 1B 可以看出, 1-MCP 熏蒸处理冬枣的腐烂率显著 ($P<0.05$) 低于对照, 可知 1-MCP 熏蒸处理能有效降低冬枣贮藏过程的腐烂率, 随着熏蒸处理浓度增加腐烂率逐渐降低。当 1-MCP 熏蒸浓度为 500、600 mg/L 时, 腐烂率和失水率最低, 通过方差分析得出 2 个不同浓度处理最终结果差异不显著, 因此选取 500 mg/L 为最佳的处理浓度。

3.1.2 OHAA 涂膜处理对冬枣失重率和腐烂率影响

由图 2A 可知, 冬枣贮藏 40 d 后失水率急速上升, 经过涂膜处理失水率增加的速度低于对照, 随着 OHAA 涂膜浓度增加, 失水率逐步降低, 并且冬枣的腐烂率明显低于

对照, 但贮藏 60 d 后, 腐烂率迅速提高。当 OHAA 浓度为 0.12% 时, 冬枣的失水率和腐烂率变化最小, 说明该浓度能有效抑制冬枣水分的蒸发, 降低冬枣的腐烂率。

3.1.3 NaClO 杀菌处理对冬枣失重率和腐烂率影响

如图 3 可知经过 NaClO 杀菌处理能有效降低冬枣贮藏过程中的腐烂率, 但不能抑制失水率, 甚至会加速冬枣的失水率, 可能是由于 NaClO 浸泡杀菌过程中破坏了冬枣自身表皮保护层, 例如蜡质层, 角质层等结构的破坏导致自身防御系统破坏, 加速了蒸腾作用, 失水率增加, 减弱了病原菌侵害的抵抗力导致腐烂率的增加^[18-20]。通过浓度对比发现 1.0%NaClO 处理, 其失水率和腐烂率较低。因此选择 NaClO 1.0%作为最佳处理浓度。

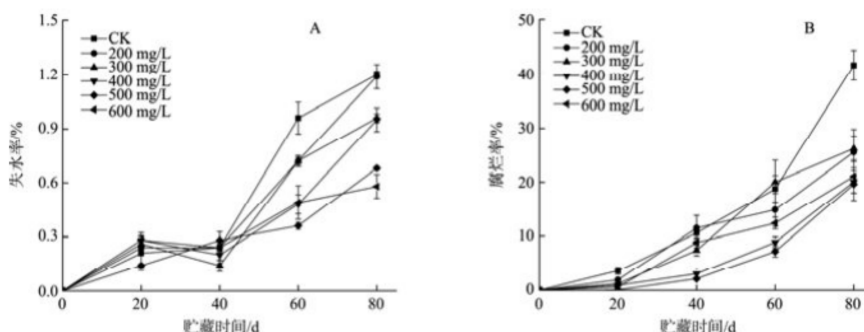


图 1 1-MCP 熏蒸处理冬枣低温贮藏过程中失重率和腐烂率的影响($n=3$)

Fig.1 Changes in weight loss rate and decay rate of Dongzao during low temperature storage by 1-MCP fumigation($n=3$)

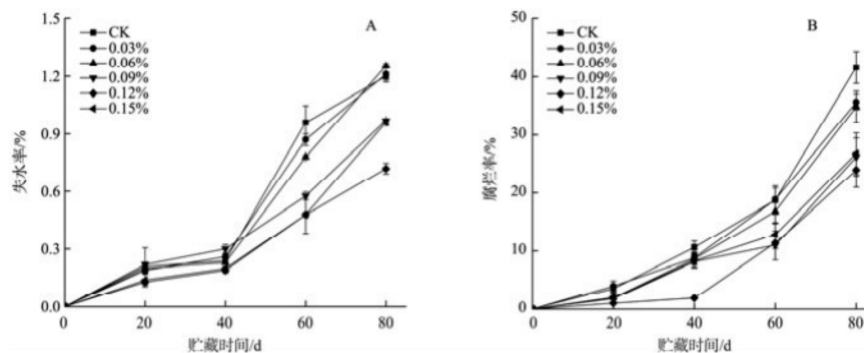


图 2 OHAA 涂膜处理冬枣低温贮藏过程中失重率和腐烂率的影响($n=3$)

Fig.2 Changes in weight loss rate and decay rate of Dongzao during low temperature storage by OHAA fumigation($n=3$)

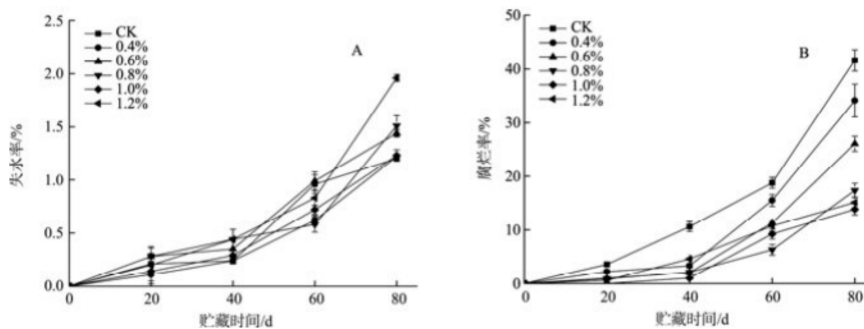


图 3 NaClO 杀菌处理冬枣低温贮藏过程中失重率和腐烂率的影响($n=3$)

Fig.3 Changes in weight loss rate and decay rate of Dongzao during low temperature storage by NaClO fumigation($n=3$)

3.2 响应面分析法实验

在单因素实验的基础上,采用 Design-Expert 软件设计实验,根据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理。选取 1-MCP、OHAA、NaClO 3 个因素的最佳处理浓度进行优化组合,先用 NaClO 溶液浸泡 1 min,晾干;再 OHAA 浸泡 1 min,晾干;最后用 1-MCP 进行熏蒸处理。实验方案见表 1。

3.2.1 响应面实验结果

根据设计的优化组合进行试验,响应面共 17 个试验点,测定对应硬度,实验结果如表 2,硬度(Y)与 1-MCP(A)、OHAA(B)和 NaClO(C)之间通过 Design-Expert 8.0.6 软件对数据进行多元回归拟合分析,得到如下模型, $Y=109.42-4.24A-6.48B+3.49C+1.83AB-0.69AC-3.74BC-8.38A^2-1.12B^2-4.12C^2$ 。

表 1 中心组合实验方案

Table 1 Center combination experimental program

因素	水平		
	-1	0	1
1-MCP/(mg/L)	450	500	550
OHAA/%	1.05	1.2	1.35
NaClO/%	0.9	1.0	1.1

3.2.2 回归方程显著性分析

为验证模型拟合度,对回归方程进行方差分析,结果如表 3 所示:响应面优化拟合出的方程回归项的模型 $P < 0.05$,有差异显著性,失拟项($P=0.1908 > 0.05$)差异不显著,模型选择合适。A, B, C 影响显著,AC 影响极显著,3 个因素对红枣硬度影响大小排列顺序为: C(NaClO) > B(OHAA) > A(1-MCP)。

3.2.3 响应面曲面分析

由图 4~6 可知,当自变量为 NaClO 和 1-MCP,因变量为硬度值时,两因素之间的交互作用较显著,硬度值为 99.38 N; OHAA 结合 1-MCP 和 NaClO 结合 OHAA 处理两者交互作用均不显著。因此得出最佳的处理组合为 450 mg/L 1-MCP 熏蒸, 1.1% NaClO 浸泡, 0.12% OHAA 涂膜处理

对冬枣的硬度和色泽都能较好的保留。

3.3 优化方案的验证

由图 7A 可知,复合处理的冬枣在储藏后 20 d 内没有腐烂现象,而空白组在储藏 20 d 就已出现了腐烂现象,且复合处理的冬枣储藏期间的腐烂率一直低于空白组,说明复合处理可以在一定程度上抑制冬枣的腐烂;从失水率结果得出,复合处理的冬枣在储藏期间失水率一直低于空白组,并且经过处理快速失水期晚于空白组,但最终失水率和空白组差异不显著。因此综上所述,经复合处理能有效维持冬枣的贮藏性能。

由图 7B 可知,复合处理冬枣在色差值(L 值)变化比对照组缓慢,由此可知复合保鲜处理能有效保持冬枣的色泽,并对冬枣的转色有明显抑制作用;贮藏过程中冬枣的硬度逐步降低,经过处理的冬枣硬度降低的速度明显低于空白组,得出冬枣经过复合处理能较好地保持冬枣果实的硬度,减缓冬枣软化速率。

表 2 响应面分析方案及实验结果

Table 2 Response surface analysis scheme and experimental results

序列号	A	B	C	硬度/N
1	0	0	0	109.618
2	-1	1	0	93.4189
3	0	-1	-1	101.53
4	0	-1	1	119.109
5	-1	-1	0	110.73
6	0	0	0	99.3807
7	1	-1	0	102.768
8	0	1	1	99.3583
9	0	0	0	106.738
10	0	0	0	112.304
11	-1	0	-1	100.642
12	1	1	0	92.7847
13	1	0	1	91.8296
14	-1	0	1	105.865
15	0	1	-1	96.7318
16	0	0	0	119.079
17	1	0	-1	89.3673

表 3 响应面二次模型的硬度方差分析结果

Table 3 Results of hardness variance analysis of response surface quadratic model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
总模型	1045.44	9	116.16	33.07	0.00168	*
A-1-MCP	143.7	1	143.7	13.79	0.00124	*
B-OHAA	335.97	1	335.97	18.87	0.0206	*
C-NaClO	97.24	1	97.24	22.57	0.01531	--
AB	13.42	1	13.42	0.35	0.05703	--
AC	1.91	1	1.91	0.05	0.00289	**
BC	55.89	1	55.89	1.48	0.2638	--
A ²	295.5	1	295.5	7.8	0.0268	--
B ²	5.29	1	5.29	0.14	0.7196	--
C ²	71.49	1	71.49	1.89	0.2118	--
残差	265.09	7	37.87	--	--	--
失拟项	55.46	3	18.49	0.35	0.1908	--
纯误差	209.63	4	52.41	--	--	--
总变异	1310.53	16	--	--	--	--

注: **表示差异极显著($P < 0.01$); *表示差异显著($P < 0.05$); -表示差异不显著($P > 0.05$)。

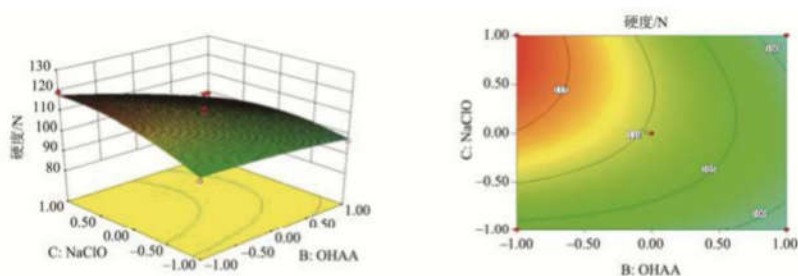


图 4 NaClO 结合 OHAA 处理对冬枣硬度影响的响应曲面和等高线图

Fig.4 Response surface and contour map of the effect of NaClO combined with OHAA treatment on the hardness of Dongzao

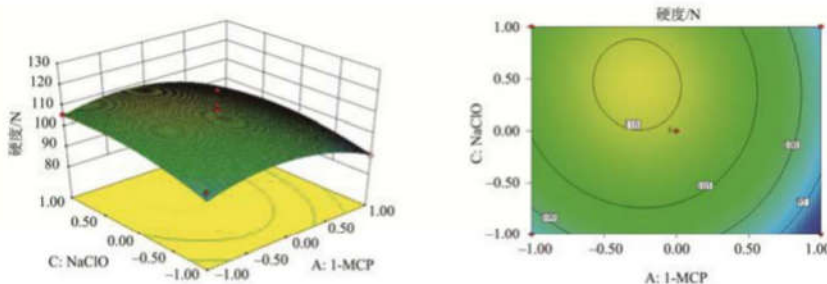


图 5 NaClO 结合 1-MCP 处理对冬枣硬度影响的响应曲面和等高线图

Fig.5 Response surface and contour map of the effect of NaClO combined with 1-MCP treatment on the hardness of Dongzao

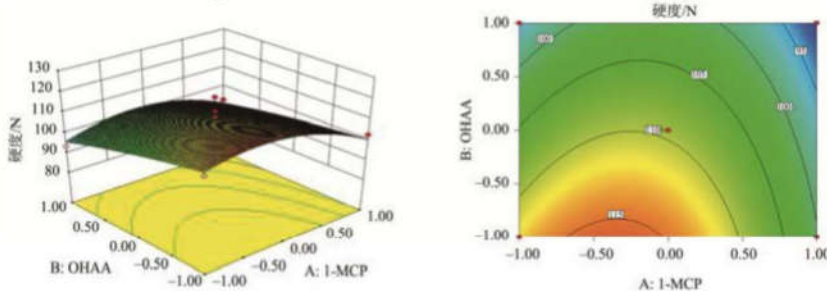


图 6 1-MCP 结合 OHAA 处理对冬枣硬度影响的响应曲面和等高线图

Fig.6 Response surface and contour map of 1-MCP combined with OHAA treatment on the hardness of Dongzao

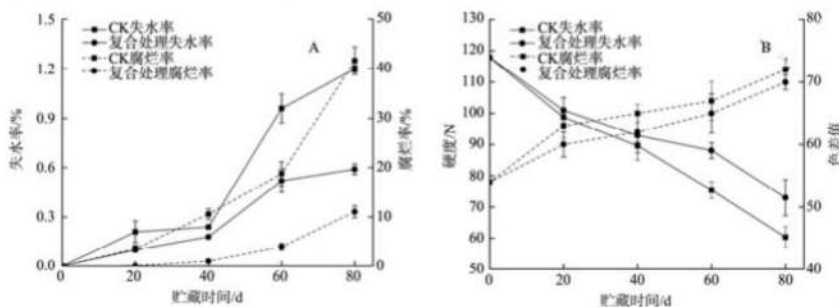


图 7 冬枣贮藏过程中基本贮藏指标变化(n=3)

Fig.7 Changes in basic storage indexes during storage of Dongzao (n=3)

4 结论与讨论

本试验采用产自南疆的冬枣新鲜果实为原料, 通过 3 种保鲜剂(1-MCP、OHAA、NaClO)在不同处理浓度下冷藏冬枣, 经过单因素实验选出每种因素的最佳处理浓度, 分别为 500 mg/L 1-MCP、0.12%OHAA、1.0%NaClO。经过 1-MCP熏蒸处理冬枣贮藏 40 d 后, 腐烂率为 14.06%, 失重率为 0.96%; 0.12%OHAA 处理的冬枣储藏 40 d 后, 腐烂率

为 23.98%, 失重率为 0.72%; 1.0%NaClO 处理的冬枣储藏 40 d 后, 腐烂率为 13.11%, 失重率为 0.96%。

通过响应面实验验证 3 种保鲜剂的交互作用, 选出 3 种处理方式最佳的组合工艺为: 450 mg/L 1-MCP 熏蒸, 1.1%NaClO 浸泡, 0.12%OHAA 涂膜处理。通过验证实验经过组合工艺处理冬枣贮藏性能优于空白和单种工艺, 经过 80 d 贮藏观察, 经过处理的色差值为 70, 硬度值为 72.97 N, 腐烂率为 11.06%, 失重率为 0.59%, 明显优于空白组色差 L 值为 72, 硬

度值为 60.33 N, 腐烂率为 41.64%, 失重率为 1.20%。进一步证明复合处理能较好的保持冬枣的贮藏性能。

冬枣做为鲜食水果之一, 采后呼吸强度大, 产生大量 CO₂, 造成果肉乙醇积累, 产生酒化、腐软、褐变等现象, 导致其保鲜困难。气调保鲜作为主流的保鲜方式, 采用 O₂ 和 CO₂ 的适当配比抑制贮藏果实的呼吸强度, 但冬枣贮藏期间易产生过高的 CO₂ 而很难保证维持一定气调的比例。金童等^[9,21]对于气调保鲜的研究取得了一定的进展, 但由于不同品种, 不同地域所生产冬枣品质差异导致其保鲜技术手段具有差异, 因此本研究采用复合保鲜剂, 为冬枣的贮藏保鲜提供可行性参考。但由于整个处理过程中需要 2 次浸泡, 工艺成本增加, 与此同时能否将保鲜剂和气调保鲜结合, 是否能提高冬枣的保鲜性能还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 常雪花, 王振菊, 陈振涛, 等. 不同成熟度对冬枣采后贮藏品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(6): 890-895.
Chang XH, Wang ZJ, Chen ZT, et al. Effect of different maturity on postharvest storage quality of winter jujube fruits [J]. J Henan Agric Univ, 2018, 52(6): 890-895.
- [2] 汤乐金, 杨钦沾, 屈杰光. 水果贮藏保鲜技术研究现状及前景展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(9): 2474-2480.
Tang LJ, Yang QZ, Qu JG. Research status and prospects of fruit storage and preservation technology [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(9): 2474-2480.
- [3] 李颖, 郭东起. 非传统保鲜方法控制冬枣采后病害研究进展[J]. 北方园艺, 2018, (23): 164-169.
Li Y, Guo DQ. Research progress of non-conventional method for control of post-harvest winter jujubes diseases [J]. North Horticult, 2018, (23): 164-169.
- [4] 李忠, 董成虎, 高元惠, 等. 不同处理方法对冬枣贮藏效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(3): 49-53.
Li Z, Dong CH, Gao YH, et al. Effects of different treatment methods on the storage of winter jujube [J]. Stor Process, 2018, 18(3): 49-53.
- [5] Fu MR, Zhang XM, Jin T, et al. Inhibitory of grey mold on green pepper and winter jujube by chlorine dioxide (ClO₂) fumigation and its mechanisms [J]. LWT, 2019, 100.
- [6] 李述刚, 黄芳, 许倩, 等. OHAA·肉桂在冬枣保鲜中的应用研究[J]. 塔里木大学学报, 2011, 23(3): 1-8.
Li SG, Huang F, Xu Q, et al. Applied study of ohaa and cinnamon used in the preservation among winter jujube [J]. J Tarim Univ, 2011, 23(3): 1-8.
- [7] 李述刚, 侯旭杰, 王转生, 等. OHAA 涂膜保鲜冬枣[J]. 食品工业, 2012, (1): 90-93.
Li SG, Hou XJ, Wang ZS, et al. OHAA coating preservatives used in the preservation among winter jujube [J]. Food Ind, 2012, (1): 90-93.
- [8] 于军, 高翔, 侯旭杰, 等. OHAA 在圆脆鲜枣涂膜保鲜中的应用研究[J]. 食品工业科技, 2011, (7): 371-374.
Yu J, Gao X, Hou XJ, et al. Application of OHAA in coating preservation of fresh yuancui jujubes [J]. Sci Technol Food Ind, 2011, (7): 371-374.
- [9] 金童, 韩聪, 杨晓颖, 等. 1-甲基环丙烷和二氧化氯复合处理对冬枣采后生理及贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(6): 25-31.
Jin T, Han C, Yang XY, et al. Effects of combined treatment of 1-methylcyclopropene(1-MCP) and chlorine dioxide(ClO₂) on postharvest physiology and storage quality of winter jujube [J]. Food Res Dev, 2020, 41(6): 25-31.
- [10] 张顺和, 张超. ClO₂ 对冬枣贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2006, 22(3): 84-86.
Zhang SH, Zhang C. The effects of chlorine dioxide (ClO₂) on quality of winter jujube [J]. Mod Food Sci Technol, 2006, 22(3): 84-86.
- [11] 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: 1-4.
Bian SZ, Dou YL, Li Y, et al. Effects of 1-MCP on physiology and quality of Xinjiang-produced winter jujube during cold storage [J]. Farm Prod Process, 2016, 11: 1-4.
- [12] 陈兆星, 吴武, 张洪铭, 等. 次氯酸钠结合磷酸不同方式处理对早熟蜜橘防腐保鲜的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(1): 66-69.
Chen ZX, Wu W, Zhang HM, et al. Effect of sodium chlorate with phosphoric acid on the antisepsis and preservation of early matured citrus unshiu marc [J]. Food Sci Technol, 2017, 42(1): 66-69.
- [13] 董生忠, 张可莹, 赵新刚, 等. 超声波结合 1-MCP 处理延缓苹果果实成熟与衰老[J]. 食品工业, 2019, (3): 165-167.
Dong SZ, Zhang KX, Zhao XG, et al. The delay of apple fruit ripening and senescence by using ultrasonic and 1-MCP treatment [J]. Food Ind, 2019, (3): 165-167.
- [14] Anastasios I, Darras, Vasiliki K. Postharvest physiology and handling of cut *Spartium junceum* inflorescences [J]. Sci Horticult, 2019, 2019: 252.
- [15] 尹蓉, 张倩茹, 孟庆玲, 等. 不同红枣品种果实表面色差的研究[J]. 林业科技通讯, 2017, (7): 66-70.
Yin R, Zhang QR, Meng QL, et al. Study on chromatic aberration of fruit surface for different jujube varieties [J]. Forest Sci Technol, 2017, (7): 66-70.
- [16] 金童, 傅茂润, 韩聪, 等. 二氧化氯与 1-甲基环丙烷联合处理对“萨米脱”樱桃低温贮藏效果的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(18): 4864-4869.
Jin T, Fu MR, Han C, et al. Effect of the combination of chlorine dioxide and 1-methylcyclopropene treatments on low-temperature storage quality of cherry (*Cerasus pseudocerasus*) [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(18): 4864-4869.
- [17] 林炎娟, 叶新福, 梁华伟, 等. 贮藏温度对芙蓉李采后保鲜效果的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(5): 1520-1523.
Lin YJ, Ye XF, Liang HD, et al. The effects of storage temperature on the postharvest preservation of Furong plum [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(5): 1520-1523.
- [18] 王凯悦, 陈芳泉, 邵惠芳, 等. 植物角质膜研究进展[J]. 植物学报, 2018, (4): 556-564.
Wang KY, Chen FQ, Shao HF, et al. Research progress of plant cuticle [J]. Chin Bull Bot, 2018, (4): 556-564.
- [19] 丁涓, 张莉, 刘丽艳, 等. 不同保鲜方法对白玉菇保鲜品质及货架期的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 151-156.
Ding J, Zhang L, Liu LY, et al. Influence of different preservation methods on quality and shelf life of *Hypsizygos marmoreus* [J]. Food Res Dev, 2018, 39(22): 151-156.
- [20] Rafaela VF, Poliana CS, Eduardo P, et al. Combined application of ethylene and 1-methylcyclopropene on ripening and volatile compound production of 'Golden' papaya [J]. Postharv Biol Technol, 2019, 11: 151
- [21] 张小康. 早中熟鲜食红枣保鲜措施及其生理机制研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
Zhang XK. Study on the preservation measures and physiological mechanism of early-mid-matured jujube [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



王萍, 硕士, 副教授, 主要研究方向为农产品贮藏与加工。

E-mail: wpaing513@163.com

于军, 硕士, 教授, 主要研究方向为园艺产品加工。

E-mail: tdakjc@163.com