果 树 学 报 2021,38(3):403-410
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20200382

抑制‘甜春橘柚’贮藏中失水的研究

黄华明[1],纪 颖[1*],刘 晔[1],黄静怡[2]

([1]福建林业职业技术学院,福建南平 353000;[2]吉林农业大学,长春 130118)

摘 要:【目的】控制‘甜春橘柚’采后失水现象,探究一种能有效减少‘甜春橘柚’枯水粒化的综合型保鲜方法。**【方法】**对采后‘甜春橘柚’果实用不同冷激时间、不同浓度的保鲜剂涂膜、不同厚度的保鲜袋包装和不同贮藏温度多种措施进行处理,定期测定各处理的失重率,并以外观性状、汁胞粒化指数和失重率等为‘甜春橘柚’果实失水控制效果的综合评价指标。**【结果】**‘甜春橘柚’果实经冷激、涂膜、包装、冷藏处理后,果实的失重率显著低于对照,能有效控制采后‘甜春橘柚’果实在贮藏期间失水现象的发生。冷激10 min以上的果实失重率能维持在10%以内。浓度越高的甲壳素涂膜‘甜春橘柚’,控制果实的失水效果越好。用厚度为0.01、0.02和0.04 mm薄膜袋包装‘甜春橘柚’,形成的自发气调环境能有效抑制水分蒸腾。适当的低温贮藏也能较好地控制‘甜春橘柚’失水失鲜现象。**【结论】**在单因素试验基础上,通过L18(3[5])正交试验选出的能控制‘甜春橘柚’果实枯水现象的发生、降低汁胞粒化程度的最佳方案为:冷激处理15 min后再用0.4%(*w*)甲壳素溶液浸果(10 min)涂膜处理,而后用厚度为0.04 mm薄膜袋包装‘甜春橘柚’果实并置于10 ℃下冷藏。

关键词:‘甜春橘柚’;失水控制;冷激;涂膜;包装;低温贮藏

中图分类号:S666.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-9980(2021)03-0403-08

Study on water loss control of postharvest ‘Sweetspring’ tangelo fruits

HUANG Huaming[1], JI Ying[1*], LIU Ye[1], HUANG Jingyi[2]

(*[1]Fujian Forestry Vocational Technical College, Nanping 353000, Fujian, China; [2]Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin, China*)

Abstract:【Objective】The quality of ‘Sweetspring’ tangelo (*Citrus reticulata* Blanco × *C. grandis* Osb. ‘Sweetspring’) is good, but it is easy to lose water and then becomes granulation under conventional storage (packaging) conditions, which seriously affects the quality and economic benefits of ‘Tianchun’ tangelo. A comprehensive preservation method, which can effectively reduce the granulation of ‘Sweetspring’ tangelo and elongate its storage time, was established by controlling the water loss of ‘Sweetspring’ tangelo.【Methods】‘Sweetspring’ tangelo was soaked in 2% sodium bicarbonate solution for 3 minutes as pretreatment after it was picked, then removed and dried naturally. The following 4 treatments were set up. (1) The tangelos were soaked respectively in 0 ℃ ice water mixture for 5, 10, 15 and 20 min, and stored at room temperature after natural air drying. (2) The fruits were soaked in 0.1%, 0.2%, 0.4% and 1% aqueous solution of chitin for 20 min, and stored at room temperature after natural air drying. (3) The fruits were individually packaged in the foil-type plastic bag with a thickness of 0.007, 0.01, 0.02 and 0.04 mm. (4) The fruits were stored at different temperatures of 6, 8, 10 ℃ and room temperature for 120 days. The weight loss rate in each treatment was determined regularly. The appearance evaluation, juice cell granulation index and weight loss rate were used as the indexes to evaluate the effect on water loss control. On the basis of single factor experiment, a $L_{18}(3^5)$ orthogonal test was conducted to control the occurrence of water loss and reduce the degree of juice cell granulation.【Results】The fruits were sterilized with 2% sodium bicarbonate solution after harvested. The weight

收稿日期:2020-09-08 接受日期:2020-10-20

基金项目:福建省教育厅教育科研项目(JA13390);南平市自然科学基金联合资助项目(2019J09)

作者简介:黄华明,男,副教授,硕士,研究方向:果树培育与栽培管理、农产品贮藏与保鲜。Tel:13599317009,E-mail:fjhhm@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13859381011,E-mail:jiying0599@163.com

loss rate of the fruit was significantly lower than that of the control. Fresh weight loss rate of the fruit was recorded on 30th, 60th, 90th and 120th days. The results showed that the weight loss rate of the treated fruit was significantly lower than that of the control ($p < 0.05$). The fruits were chilled in 0 ℃ ice water mixture for 5 min, 10 min, 15 min or 20 min and the weight loss rate was kept within 10% during storage; When fruits were coated with chitin at concentrations of 0.1%, 0.2%, 0.4% or 1%, the higher the concentration of chitin, the better the effect on controlling water loss. The average weight loss rate was 6.23% and the weight loss rate of the control group was 14.6%, which was 53.3% lower than that of the control. The results showed that water evaporation of 'Sweetspring' tangelo fruit could be inhibited by water solution containing chitin for 10 min, 20 min and 30 min, but there was no significant difference in water loss rate among three treatments; when fruits were packed in foil-type plastic bags at a thickness of 0.007 mm, 0.01 mm, 0.02 mm or 0.04 mm, it can effectively inhibit water transpiration, and the average weight loss rate of each treatment was 8.4%; When fruits were stored at low temperatures of 6 ℃, 8 ℃ or 10 ℃, it can also control the water loss and freshness of 'Sweetspring' tangelo. However, during the whole storage period, the weight loss rate of 'Sweetspring' tangelo fruits increased slowly, and could be controlled within 10% by 120 days.【Conclusion】Cold shocking, chitin coating, packaging and cold storing can effectively reduce the weight loss rate of 'Tianchun' tangelo. Based on the results of the single factor experiment, the $L_{18}(3^5)$ orthogonal test was carried out. The best scheme to control the occurrence of water loss and reduce the degree of juice granulation was cold-shocking the tangelo fruits for 15 min, coating them with 0.4% chitin solution (10 min), packaging them with 0.04 mm foil-type plastic bags and storing below 10 ℃. This method is not only efficient and convenient, but also low-cost, safe and environment-friendly. Therefore, it is a promising preservation method.

Key words: 'Sweetspring' tangelo; Water loss control; Cold shock; Coating; Packaging; Low temperature storage

新鲜果实中含水量可达80%，水分含量是衡量果实品质的重要指标，果实采后失水主要是由于呼吸作用和蒸腾作用，导致其失鲜、失重[1]。果蔬贮藏期间失水是一个复杂的生理过程，李宏建等[2]认为果皮的蜡质层会影响失水速率，果实蜡质层积累缓慢导致抑制失水能力降低[3]。袁海娜[4]认为柑橘果实枯水是一种生理病害，枯水、浮皮、粒化是柑橘采后枯水的三个阶段。杨少桧[5]认为柑橘类果实的枯水主要是由果实衰老引起的。

'甜春橘柚'（*Citrus reticulata* Blanco × *C. grandis* Osb. 'Sweetspring'）是我国优良柑橘类品种之一，原产于日本，是以'温州蜜柑'为母本，'八朔柑'为父本的杂交后代，果实大、质地细致，酸甜适口，富含多种维生素和矿物元素，深受广大消费者喜欢[6]。但随着贮藏期的延长，'甜春橘柚'容易出现枯水病，从果蒂附近开始干硬，囊瓣壁变厚变硬，汁胞失水粒化，口感干燥、淡而无味，失去原有的风味，严重影响果实的商品价值。'甜春橘柚'的失水是水分以水蒸气状态从体内向大气中散失的过程，不但受'甜春橘柚'自身条件作用的控制，还受外界环境影响。随着失水现象的发生，'甜春橘柚'果实的呼吸强度增大，果肉的营养物质大量消耗，而且随着果实的加速衰老，正常的生理代谢紊乱，降低了果实的耐贮性和抗病性，这是影响'甜春橘柚'产业进一步发展的因素之一。

近年来，防止果蔬失水的常用措施有：增加空气湿度、低温贮藏、控制空气流速、包装、打蜡、涂膜等。笔者以'甜春橘柚'为材料，探究用冷激[7-8]、涂膜[9-11]、包装[12-15]和冷藏[16-17]相结合的方法来减少'甜春橘柚'水分流失，以期为'甜春橘柚'的贮藏保鲜提供理论依据和技术参考。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 '甜春橘柚' 采自南平市延平区艳阳家庭农场；PE保鲜薄膜包装袋由湖南省怀化市城南塑料包装厂生产。

1.1.2 试剂 碳酸钠，食品级，潍坊海之源化工有限

公司生产；甲壳素，食品级，山东云之然生物科技有限公司生产；冰醋酸，食品级，河南誉恒化工有限公司生产。

1.1.3　主要仪器设备　多效蒸馏机，LDS，南京启瑞水处理设备工程有限公司生产；对开门冰箱，BCD-580WIPDCL，珠海格力电器股份有限公司生产；恒温恒湿培养箱，TY10HWS-260，浙江托普云农科技股份有限公司生产；电子天平，JM2000 g/0.01 g，绍兴市银河机械仪器有限公司生产。

1.2　方法

1.2.1　预处理　‘甜春橘柚’采摘后当日送实验室，挑选选择大小一致、颜色均一，无机械伤和病虫害的果实用2%(ρ)碳酸氢钠溶液浸泡3 min后，捞出自然风干，备用。

1.2.2　单因素试验　研究冷激对控制‘甜春橘柚’失水的影响：‘甜春橘柚’在0 ℃冰水混合液冷激浸泡5、10、15、20 min后自然风干，之后将‘甜春橘柚’置于室温下贮藏120 d，每30 d测1次各处理组的失重率。

研究甲壳素涂膜对控制‘甜春橘柚’失水的影响：分别用含甲壳素(w)0.1%、0.2%、0.4%、1%的水溶液浸泡‘甜春橘柚’20 min后取出自然风干后将‘甜春橘柚’置于室温下贮藏120 d，每30 d测1次各处理组的失重率。同时甲壳素0.5%的水溶液浸泡甜春‘甜春橘柚’10、20、30 min后取出自然风干后将‘甜春橘柚’置于室温下贮藏120 d，每30 d测1次各处理的失重率。

研究不同保鲜薄膜袋包装对控制‘甜春橘柚’失水的影响：分别用厚度为0.007、0.01、0.02、0.04 mm薄膜袋包装‘甜春橘柚’后置于室温下贮藏120 d，每30 d测1次各处理组的失重率。

研究不同冷藏温度对控制‘甜春橘柚’失水的影响：将‘甜春橘柚’分别置于6、8、10 ℃的冰箱中贮藏120 d，每30 d测1次各处理组的失重率。

1.2.3　正交试验　在单因素试验基础上，以冷激时间、甲壳素质量分数、涂膜时间、保鲜薄膜袋厚度、冷藏时间进行$L_{18}(3^5)$进行正交试验。

1.2.4　失水指标　(1)外观评价：以‘甜春橘柚’表皮的光泽、皱缩干瘪程度、褐斑程度为评价指标，每30 d由4人按表1要求给‘甜春橘柚’的外观评价打分，取其平均值。

表1　外观评价标准

Table 1　Appearance evaluation standard

评分标准 Scoring criteria	分值 Score
表皮光亮、无褐斑，无皱缩 Bright skin, no brown spots, no shrinkage	10
表皮光泽度不高、有轻微皱缩，干缩小于20% The glossiness of the epidermis is not high, with slight shrinkage and dry shrinkage less than 20%	7~9
表皮暗淡、有少许褐斑，皱缩显著，干缩为20%~50% The epidermis is dull, with little brown spots, and the shrinkage is obvious, and the dry shrinkage is 20%-50%	4~6
褐斑显著、表皮皱缩干瘪，干缩大于50% The skin was shrunken and shriveled, and the shrinkage was more than 50%	0~3

(2)失重率：采用电子天平对每一组样品进行称重，每组30个果实，每30 d称重果实质量。失重率/%=(贮藏前‘甜春橘柚’质量−不同贮藏期‘甜春橘柚’质量)/贮藏前‘甜春橘柚’质量×100。

(3)汁胞粒化指数：依果实纵切面上下汁胞枯水程度划分枯水级别[11]：无枯水为0级，轻微枯水至10%为1级，＞10%~25%为2级，＞25%~50%为3级，＞50%为4级。粒化指数=Σ(枯水级数×该级别果数)/(4×检查果数)。

(4)失水情况综合评价：按外观评价、汁胞粒化指数和失重率3个指标，三者权重分别为10%、40%和50%，枯水情况综合得分=外观评价得分+(1−汁胞粒化指数)×40＋(1−失重率)×50。

1.3　统计分析

以上所得数据采用Excel 2010软件进行作图，并采用SPSS 22.0软件进行方差分析和差异显著性分析。

2　结果与分析

2.1　控制‘甜春橘柚’失水的单因素试验

2.1.1　冷激时间对‘甜春橘柚’失水情况的影响　冷激处理果实可胁迫诱发果实自身的生理抗性，有助于延缓果实的成熟，延长贮藏寿命[18]。由图1可知，

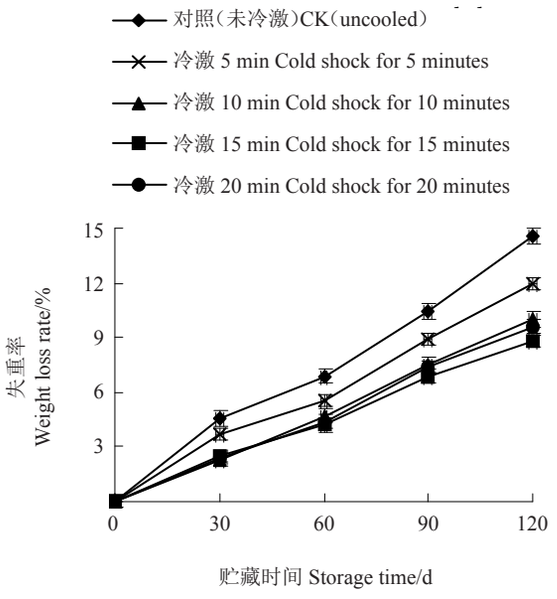


图 1 冷激对‘甜春橘柚’失重率的影响

Fig. 1 Effect of cold shock on weight loss rate of ‘Sweetspring’ tangelo

‘甜春橘柚’经过0 ℃冰水混合液浸泡后的各冷激处理失重率显著低于对照($p < 0.05$)，120 d时，对照的失重率达14.6%，而冷激的失重率低于12%，说明冷激处理可减缓果实呼吸作用，减少失水现象，抑制果蔬的成熟和衰老[19]。特别是冷激10、15、20 min的失重率在贮藏期间一直维持在10%以内。

2.1.2 涂膜处理对‘甜春橘柚’失水情况的影响 甲壳素是天然碱性多糖，具有安全无毒、方便廉价、成膜性能好的特点。如图2所示，‘甜春橘柚’用甲壳素浸泡后能减少果实的水分流失，各处理的失重率显著低于对照($p < 0.05$)，120 d时，涂膜处理的平均失重率为6.23%，比对照低了53.3%，这表明甲壳素涂膜处理形成的液态薄膜可以产生半封闭小环境，从而减少产品水分蒸发，还能隔离果实与空气进行气体交换，从而抑制果实的呼吸作用，延缓衰老[20]。从图2还能看出甲壳素质量分数越高，控制失水效果越好，主要是因为甲壳素质量分数太低时成膜性不好，抑制水分蒸发的效果不佳。

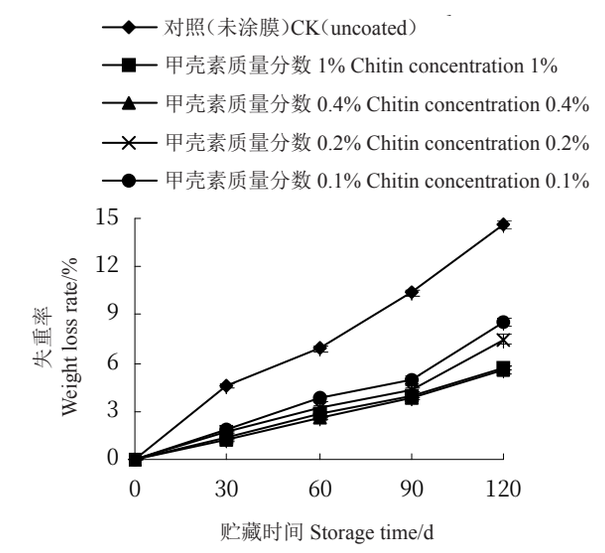


图 2 甲壳素浓度对‘甜春橘柚’失重率的影响

Fig. 2 Effect of chitin coating on weight loss rate of ‘Sweetspring’ tangelo

如图3可知，用含甲壳素的水溶液浸泡‘甜春橘柚’10 min以上均能抑制果实水分蒸发，各处理的失重率显著低于对照($p < 0.05$)，但是3个处理浸泡时间的失水率差别不明显。

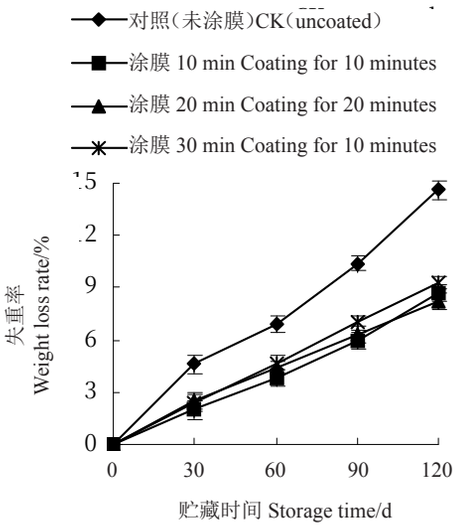


图 3 涂膜时间对‘甜春橘柚’失重率的影响

Fig. 3 Effect of coating time on weight loss rate of ‘Sweetspring’ tangelo

2.1.3 保鲜薄膜袋厚度对‘甜春橘柚’失水情况的影响 自发气调包装成为一种简便、经济、有效的采后保鲜方法，其保湿作用显著，可有效抑制果实的蒸腾失水，降低失重率，减缓后熟软化，有效保持果实的品质与鲜度[21]。由图4可知，对照的失重率显著高于薄膜袋包装的‘甜春橘柚’失重率($p < 0.05$)，贮藏的前60 d中，薄膜袋包装的‘甜春橘柚’失重率控制在5%以内，到120 d时，各处理的平均失重率为8.4%，说明薄膜袋包装能抑制果实失水现象，其中薄膜袋厚度为0.01、0.02、0.04 mm效果比较好，可能是因为0.007 mm厚度的这种薄膜袋的透气性较大，水蒸气蒸发较快，而且这种薄膜袋太薄，贮藏和运输期间容易造成破损，抑制失水效果显著降低。

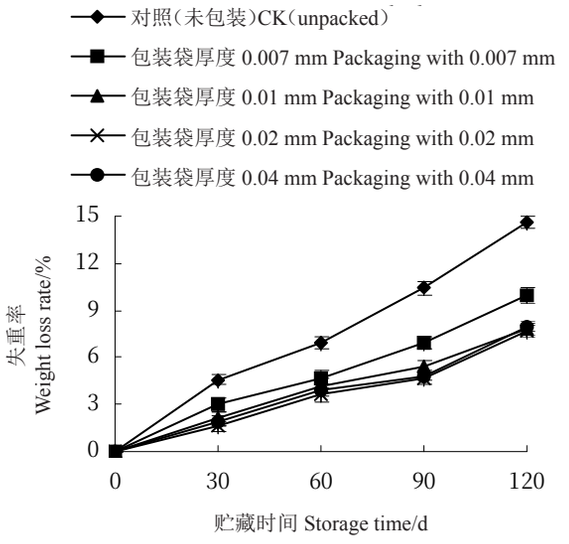


图4　薄膜袋厚度对‘甜春橘柚’失重率的影响

Fig. 4　Effect of packing film thickness on weight loss rate of ‘Sweetspring’ tangelo

2.1.4　冷藏温度对‘甜春橘柚’失水情况的影响　低温能够降低果实的生理代谢活动，抑制酶活性，减少果实营养成分的消耗，控制果实枯水粒化，保持较高的商品价值[22]。由图5可知，对照的失重率显著高于冷藏后的‘甜春橘柚’失重率（$p < 0.05$），整个贮藏期间，冷藏中的‘甜春橘柚’失重率上升缓慢，到120 d时，失重率还能控制在10%以内，说明适当的低温贮藏‘甜春橘柚’均能抑制果实水分蒸发。

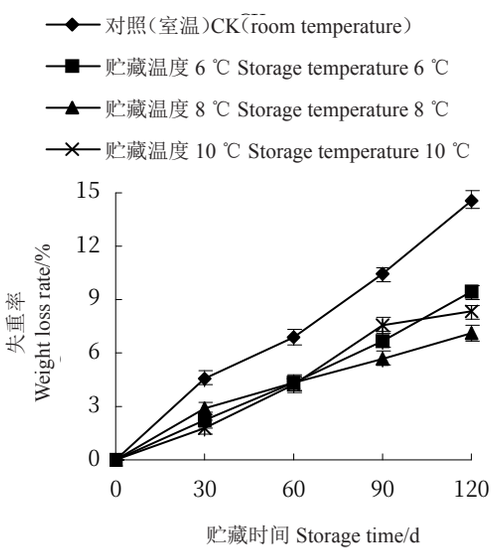


图5　贮藏温度对‘甜春橘柚’失重率的影响

Fig. 5　Effect of storage temperature on weight loss rate of ‘Sweetspring’ tangelo

2.2　控制‘甜春橘柚’失水的正交试验

根据上述单因素试验结果，确定正交试验因素和水平，如表2所示。采用$L_{18}(3^5)$进行正交试验，正交试验结果与分析见表3。用冷激+涂膜+包装+冷藏处理的‘甜春橘柚’贮藏120 d的保鲜效果如图6所示，试验5号的‘甜春橘柚’外皮整齐完整、色泽均匀，基本无明显的皱缩现象，切分后的果粒组织饱满、汁液丰富，无枯水粒化；而对照的‘甜春橘柚’果梗附件出现塌陷，果皮干枯褶皱较多，切分后的果粒严重粒化。

表2　正交试验因素与水平设计

Table 2　Orthogonal experiment factors and level design

水平 Level	因素 Factor				
	A 冷激时间 Cold shock time/min	B 甲壳素质量分数 Chitin concentration/%	C 涂膜时间 Coating time/min	D 包装袋厚度 Bag thickness/mm	E 贮藏温度 Storage temperature/℃
1	10	1.0	10	0.01	6
2	15	0.7	20	0.02	8
3	20	0.4	30	0.04	10

从表3可知，抑制‘甜春橘柚’失水的主次因素为：贮藏温度（E）>冷激时间（A）>涂膜时间（C）>薄膜袋厚度（D）>甲壳素质量分数（B），控制失重率的最佳参数为：$E_3A_2C_1D_3B_3$，即贮藏温度为10 ℃、冷激时间为15 min、涂膜时间为10 min、薄膜袋厚度为0.04 mm、甲壳素质量分数为0.4%。

3　讨　论

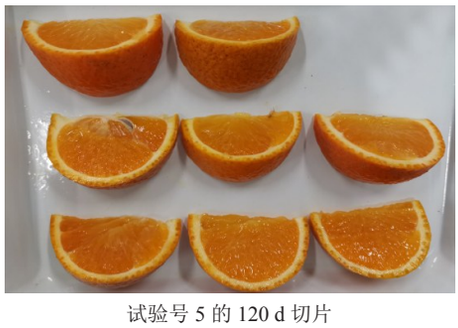
3.1　涂膜和薄膜包装对抑制果实枯水的影响

涂膜处理就是在果实表面涂上一层高分子的保鲜剂，形成的液态薄膜可以产生半封闭小环境，从而减少产品水分蒸发，还能隔离果实与空气进行气体交换，从而抑制果实的呼吸作用，延缓衰老[20]。近年来，涂膜保鲜剂多选用蛋白质、多糖等天然可食性物质，具有可降解、绿色环保、无毒无害等特性。甲壳素是天然碱性多糖，成膜性稳定，能在食品表面形成一层透明保护性薄膜，堵塞果皮上的裂纹和皮孔，从而一定程度上减少果皮水分蒸腾，防止果实失水，应用前景广阔。

薄膜包装是一类自发气调保鲜技术，其保湿作用显著，可有效抑制果实的蒸腾失水，降低失重率，减缓后熟软化，有效保持果实的品质与鲜度。不同类型的果蔬有各自适宜的气调环境，因此采用不同

试验号 5 的 120 d 外观
Test No.5 120 d appearance picture

对照(CK)的 120 d 外观
Control (CK) 120 d appearance picture



试验号 5 的 120 d 切片
Test No.5 120 d slice picture

对照(CK)的 120 d 切片
Control (CK) 120 d slice picture

图 6 ‘甜春橘柚’贮藏 120 d 的对比

Fig. 6 Comparison of ‘Sweetspring’ tangelo stored for 120 days

表 3 正交试验结果与分析

Table 3 Results and analysis of orthogonal test

试验号 Test number		A	B	C	D	E	空列1 Empty column 1	空列2 Empty column 2	外观评价 Appearance evaluation	粒化指数 Granulation index	失重率 Weight loss rate/%	综合评分 Comprehensive score
1		1	1	1	1	1	1	1	9	0.25	10.36	83.8
2		1	2	2	2	2	2	2	9	0.05	12.27	82.9
3		1	3	3	3	3	3	3	8	0.1	8.91	89.5
4		2	1	1	2	2	3	3	10	0.1	6.65	94.7
5		2	2	2	3	3	1	1	10	0	4.94	97.5
6		2	3	3	1	1	2	2	9	0.15	10.58	87.7
7		3	1	2	1	3	2	3	9	0.2	7.48	93.3
8		3	2	3	2	1	3	1	9	0	12.15	84.9
9		3	3	1	3	2	1	2	9	0.2	9.28	88.4
10		1	1	3	3	2	2	1	9	0.15	10.13	87.9
11		1	2	1	1	3	3	2	9	0.2	8.82	90.6
12		1	3	2	2	1	1	3	7	0	11.56	85.2
13		2	1	2	3	1	3	2	9	0.05	11.14	87.4
14		2	2	3	1	2	1	3	7	0.1	8.47	88.8
15		2	3	1	2	3	2	1	9	0	6.33	95.8
16		3	1	3	2	3	1	2	7	0	9.07	88.5
17		3	2	1	3	1	2	3	6	0.05	8.84	89.6
18		3	3	2	1	2	3	1	10	0.15	5.55	95.2
综合评分 Comprehensive score	K1	519.9	535.6	543.2	539.4	518.6						
	K2	551.9	534.3	541.5	531.1	537.9						
	K3	539.9	541.8	527.3	540.3	555.2						
	k1	86.7	89.3	90.5	89.9	86.4						
	k2	92.0	89.1	90.3	88.5	89.7						
	k3	90.0	90.3	87.9	90.1	92.5						
	R	5.3	1.2	2.6	1.6	6.1						
主次因素影响大小 Influence of primary and secondary factors							RE>RA>RC>RD>RB					
最佳控制失水率组合 Optimal combination of control water loss rate							E3A2C1D3B3					

厚度、不同透气性的薄膜袋包装果蔬，筛选最合适的膜，以期通过调节果实微环境气体条件来控制果实枯水失鲜问题。

3.2　冷激和冷藏对抑制果实枯水的影响

冷激是用0~5 ℃的冰水短时处理果实，通过冷胁迫诱发果实自身的生理抗性，有助于延缓果实的成熟，延长贮藏寿命，可明显减缓果实呼吸作用，减少失水现象，抑制果蔬的成熟和衰老[23]。目前，冷激处理广泛应用于蜜柚[7]、甜樱桃[8]、枇杷[19]等，均能提高果实品质，抑制失水老化，延长果蔬的贮藏期。

冷藏是将果实保持在冷却或冻结终了温度的条件下，将果实低温贮藏一定的时间。低温能够降低果实的生理代谢活动，抑制酶活性，减少果实营养成分的消耗，控制果实枯水粒化，保持较高的商品价值[22]。但是不同类型和品种的果蔬耐受低温的阈值不同，所有柑橘类果实对低温敏感，贮藏在不适合的低温环境中会发生冷害。

3.3　‘甜春橘柚’枯水机制与控制措施

‘甜春橘柚’采后离开树枝，阻断了水分供应，由于呼吸代谢和蒸腾作用会使其逐渐失水粒化，降低果实的饱满度、光泽、营养物质含量，进而失去商品价值。‘甜春橘柚’的枯水原因可能有以下几种：(1)贮藏期间的呼吸消耗；(2)果皮SOD减弱果肉SOD上升，果皮POD上升，而导致汁胞粒化；(3)果皮出现二次生长，过早衰老，促使果皮组织间出现一些较大的孔隙，加速水分蒸腾[24]。研究表明，涂膜、包装形成的气调环境能有效地调节酶系统，延缓果实衰老，减少失水；低温可以缩小果皮气孔，延缓呼吸作用，减少蒸腾作用。控制‘甜春橘柚’枯水的方法可以化学保鲜、冷激、涂膜处理、自发气调包装、低温冷藏等，这些方法均能一定程度地抑制‘甜春橘柚’失水粒化的发生。但是，单一处理方法有各自的优点和缺点，例如冷激可以收缩果皮气孔但是不能抑制果皮蜡质层减弱，涂膜保鲜的成膜稳定性不足等，联合多种保鲜方法，能弥补各自功能上的不足，将成为‘甜春橘柚’保鲜的发展趋势。本文采用冷激、涂膜、包装和冷藏相结合的方法，冷激处理可在一定程度上抑制‘甜春橘柚’贮藏期间呼吸强度，降低‘甜春橘柚’果皮气孔的透气性，减轻粒化发生程度。甲壳素涂膜处理可以在‘甜春橘柚’果实表面形成薄膜，造成一个半封闭的自发气调小环境，不但可以减少水分蒸腾，还能抑制果实衰老，控制汁胞粒化的出现。薄膜包装处理能在一定程度上减少‘甜春橘柚’果实水分的散失，减少采后蒸腾，隔离氧气，降低呼吸强度，减少采后损耗，延缓果实衰老。低温贮藏能有效抑制果实的呼吸作用，还能保护酶体统较好地延缓果实的衰老，抑制失水胁迫。这些处理方法均能不同程度地控制‘甜春橘柚’果实的呼吸强度，调节酶的活性，减少水分蒸发，从而抑制果实的汁胞粒化。

4　结　论

本试验用冷激、涂膜、包装和冷藏的方法处理‘甜春橘柚’，果实的失重率显著低于对照。通过正交试验，综合考虑上述处理方法对抑制‘甜春橘柚’失水的影响，从而得出抑制‘甜春橘柚’失水的最佳试验方案：冷激15 min后用甲壳素质量分数为0.4%的水溶液将‘甜春橘柚’浸果涂膜10 min，再装入厚度为0.04 mm薄膜袋中置于10 ℃下贮藏。该方法不但高效便捷，而且具有成本低、操作性强、安全、绿色的优点，是一种前景良好的保鲜方法。

参考文献 References：

[1] WANG J Q，SUN L，XIE L，HE Y Z，LUO T，SHENG L，LUO Y，ZENG Y L，XU J，DENG X X，CHEN Y J. Regulation of cuticle formation during fuit development and ripening in ‘Newhall’ navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck) revealed by transcriptomic and metabolomic profiling[J]. Plant Science，2016，243: 131-144.

[2] 李宏建，刘志，王宏，徐贵轩，宋哲，何明莉，张春波 . 苹果果实组织结构与果实失重率和硬度变化的关系[J]. 果树学报，2013，30(5)：753-758.
LI Hongjian，LIU Zhi，WANG Hong，XU Guixuan，SONG Zhe，HE Mingli，ZHANG Chunbo. Study on the relationship between organizational structure and firmness weight lose rate of apple fruit[J]. Journal of Fruit Science，2013，30(5): 753-758.

[3] EUGENE P P，SIGAL P，GREGORY T L，SHARON A T，YAACOV P，PAUL B，PENELOPE J B，ILAN P，ELAZAR F，MATTHEW A J. Fruit cuticle lipid composition and water loss in a diverse collection of pepper (*Capsicum*) [J]. Physiologia Plantarum，2013，149(2): 160-174.

[4] 袁海娜 . 柑桔采后枯水机理研究进展[J]. 食品研究与开发，2004，25(3)：138-141.
YUAN Haina. Research progress in the mechanism of granulation of postharvest *Citrus* fruit[J]. Food Research and Development，2004，25(3): 138-141.

[5] 杨少桧 . 柑橙橘柚类水果采后处理和贮藏风险控制(上)[J]. 保鲜与加工，2010，10(3)：1-4.
YANG Shaohui. Risk control for postharvest handling and storage of *Citrus* fruit(A)[J]. Storage and Process，2010，10(3): 1-4.

[6] 纪颖，林河通，蒋璇靓，黄华明，李娜，肖烟云 . 壳聚糖处理对

采后‘建阳橘柚’果实品质和贮藏特性的影响[J]. 热带作物学报，2019，40(4)：758-765.
JI Ying，LIN Hetong，JIANG Xuanliang，HUANG Huaming，LI Na，XIAO Yanyun. Effects of different concentrations of chitosan treatment on quality attributes and storage behavior of harvested ‘Jianyang Tangelo’ fruit[J]. Chinese Journal of Tropical Crops，2019，40(4): 758-765.

[7] 郑艺梅，张小希，曾萍萍，陆亚洲，卢肖林，曾娇梅 . 冷激对琯溪蜜柚室温贮藏效果的影响[J]. 食品科学，2010，31(22)：496-499.
ZHENG Yimei，ZHANG Xiaoxi，ZENG Pingping，LU Yazhou，LU Xiaolin，ZENG Jiaomei. Effect of cold shock on quality of Guanxi Honey Pomelo fruits stored at room temperature[J]. Food Science，2010，31(22): 496-499.

[8] 魏然，胡文忠，姜爱丽，顾思彤，杨洁，罗丽波，温雪玲，李麟 . 冷激处理在甜樱桃采后保鲜中的应用及展望[J]. 现代园艺，2019(23)：6-8.
WEI Ran，HU Wenzhong，JIANG Aili，GU Sitong，YANG Jie，LUO Libo，WEN Xuelin，LI Lin. Application and prospect of cold shock treatment in postharvest preservation of sweet cherry [J]. Modern Horticulture，2019(23): 6-8.

[9] 常虹，吴毓炜，唐明，商飞飞，韦高萍 . 贡柑的复合涂膜保鲜效果研究[J]. 安徽农业科学，2020，48(6)：163-169.
CHANG Hong，WU Yuwei，TANG Ming，SHANG Feifei，WEI Gaoping. Preservation effects of compound coating on the Tribute Citrus[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2020，48 (6): 163-169.

[10] YUAN G F，CHEN X E，LI D. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity，and application in food systems[J]. Food Research International，2016，89(1): 117-128.

[11] SANTACRUZ S，CASTRO M. Viability of free and encapsulated，*Lactobacillus acidophilus*，incorporated to cassava starch edible films and its application to Manaba fresh white cheese[J]. LWT-Food Science and Technology，2018，93: 570-572.

[12] 刘佰霖，贾晓辉，王阳，杜艳民，马风丽，王文辉 . 自发气调包装对‘新梨 7 号’果实品质及耐贮性的影响[J]. 果树学报，2020，37(5)：743-753.
LIU Bailin，JIA Xiaohui，WANG Yang，DU Yanmin，MA Fengli，WANG Wenhui. Effect of modified atmosphere packaging on postharvest physiology and quality of ‘Xinli No.7’ pears during storage[J]. Journal of Fruit Science，2020，37(5): 743-753.

[13] 李灿，饶景萍，李善菊 . 薄膜包装在果蔬采后保鲜上的应用[J]. 北方园艺，2010(3)：162-165.
LI Can，RAO Jingping，LI Shanju. Application of film packaging in postharvest preservation of fruits and vegetables[J]. Northern Horticulture，2010(3): 162-165.

[14] WANG Y，DAVID S. Internal browning disorder and fruit quality in modified atmosphere packaged ‘Bartlett’ pears during storage and transit[J]. Postharvest Biology and Technology，2013，83: 72-82.

[15] ROBERT C，SOLIVA F. Microbiological and biochemical changes in minimally processed fresh-cut conference pears[J]. European Food Research and Technology，2003，217(1): 4-9.

[16] 潘腾飞，朱学亮，潘东明，曾志雄 . 低温贮藏对琯溪蜜柚汁胞粒化与木质素代谢的影响[J]. 热带作物学报，2013，34(4)：710-714.
PAN Tengfei，ZHU Xueliang，PAN Dongming，ZENG Zhixiong. Effects of low temperature on the relationship between granulation and lignin metabolism in pummelo fruit during storage[J]. Chinese Journal of Tropical Crops，2013，34(4): 710-714.

[17] 王志华，姜云斌，王文辉，杜艳明，杭博，姜修成，佟伟，贾晓辉 . 高渗 CO_2 和 PE 保鲜袋对冷藏及货架期‘砀山酥梨’果实品质的影响[J]. 果树学报，2015，32(1)：128-135.
WANG Zhihua，JIANG Yunbin，WANG Wenhui，DU Yanming，HANG Bo，JIANG Xiucheng，TONG Wei，JIA Xiaohui. Effects of high carbon dioxide permeability and PE film bags on quality of ‘Dangshansu pear’ after cold storage[J]. Journal of Fruit Science，2015，32(1): 128-135.

[18] 邵志鹏，应铁进，王阳光 . 番茄果实采后冷激处理的生理研究[J]. 南京农业大学学报，2002，25(2)：97-100.
SHAO Zhipeng，YING Tiejin，WANG Yangguang. Effects of cold shock on postharvest physiology of tomato[J]. Journal of Nanjing Agricultural University，2002，25(2): 97-100.

[19] TANG W L，ZHANG Z W，ZHU S J，MA L Y，XU J W，LIU D J. Effect of BTH treatment on storability and activity of related enzymes of harvested loquat fruit[J]. Acta Horticulturae，2007，750: 445-450.

[20] 吴依莎，郦丹妮，周夏，许依能，柳佳玲，余作龙，马新生 . γ- 聚谷氨酸/淀粉复合膜对樱桃保鲜效果的影响[J]. 现代食品，2019(23)：168-172.
WU Yisha，LI Danni，ZHOU Xia，XU Yineng，LIU Jialing，YU Zuolong，MA Xinsheng. Preservative effect of γ-poly glutamic acid/starch composite film on cherry[J]. Modern Food，2019 (23): 168-172.

[21] GEMMA O，ISABEL O，ROBERT S，OLGA M. Antioxidant content of fresh cut pears stored in high-O_2 active packages compared with conventional low-O_2 active and passive modified atmosphere packaging[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry，2008，56(3): 932-940.

[22] 孙金金 . 杨桃冷藏保鲜及冷激处理技术研究[D]. 福州：福建农林大学，2017.
SUN Jinjin. Carambola storage at low temperature and research on technology of cold shock treatment[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University，2017.

[23] ZHANG H Y，YANG S Y，DARYL C J，JIANG Y M，QU H X，DUAN X W. Physiology and quality response of harvested banana fruit to cold shock[J]. Postharvest Biology and Technology，2010，55(3): 154-159.

[24] 谢建华，叶文武，庞杰 . 柑橘类果实枯水机理及控制措施的研究进展[J]. 保鲜与加工，2004，4(5)：3-6.
XIE Jianhua，YE Wenwu，PANG Jie. Advances in research on pummelo fruit grannulation mechanism and its control measure [J]. Storage and Process，2004，4(5): 3-6.