

# 不同解冻方法对速冻温州蜜柑橘瓣品质的影响

胡中海<sup>1,2</sup>, 孙 谦<sup>1,2</sup>, 马亚琴<sup>1</sup>, 朱攀攀<sup>1</sup>, 韩 智<sup>1</sup>, 吴厚玖<sup>1,\*</sup>

(1. 中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400712;

2. 西南大学食品科学学院, 重庆 400715)

**摘要:**速冻是一种优良的水果保藏方法,对速冻温州蜜柑橘瓣而言,其适宜的解冻方法仍在探索中。本文对比研究了冰箱缓慢解冻、自然解冻、流水解冻、温水解冻和微波解冻法对速冻温州蜜柑橘瓣品质的影响。结果表明:微波解冻时间较短,汁液流失率为3.89%, $V_c$ 损失率为12.39%,可滴定酸含量增加了9.52%,对还原糖、可溶性固形物、香气、弹性影响较小,对色泽、硬度、内聚性、胶着性、咀嚼性有显著影响,但只有对 $a^*$ 值的影响要显著大于其他几种解冻方法( $p < 0.05$ )。该研究结果表明,微波解冻是一种适合速冻温州蜜柑橘瓣解冻的有效方法。

**关键词:**温州蜜柑,速冻,解冻,品质

## Effect of different thawing methods on the quality of quick-freezing Satsuma mandarin (Citrus unshiu) segment

HU Zhong-hai<sup>1,2</sup>, SUN Qian<sup>1,2</sup>, MA Ya-qin<sup>1</sup>, ZHU Pan-pan<sup>1</sup>, HAN Zhi<sup>1</sup>, WU Hou-jiu<sup>1,\*</sup>

(1. Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China;

2. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract:** Quick-freezing was an excellent preservation method for fruits, and different thawing methods have notable effect on their quality. The effect of thawing methods using refrigerator, room temperature air, flowing water under room temperature, warm water, and microwave oven respectively on quality of quick-freezing Satsuma mandarin segments were compared in this study. The results indicated that microwave oven thawed the segments quickly, loss ratio of juice,  $V_c$  were 3.89%, 12.39%, respectively, increase ratio of titratable acid was 9.52%, and got reducing sugar, soluble solids, aroma, resilience well maintained, while the negative effect on color, hardness, cohesion, gumminess, and chewiness were slighter ( $p < 0.05$ ) than other methods except on  $a^*$  value. It was concluded that the thawing method using microwave oven was a suitable one for quick-freezing Satsuma mandarin segments.

**Key words:** Satsuma mandarin; quick-freezing; thawing; quality

中图分类号: TS255.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)14-0123-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.14.016

柑橘是世界第一大水果<sup>[1]</sup>。我国柑橘种类丰富,产量大,但由于其季节性较强,不耐贮运,特别是宽皮柑橘,大部分是中熟品种,短期内集中上市,供过于求,造成极大浪费,严重制约了我国的柑橘产业的发展,速冻技术将是解决该难题的一种有效手段,它能最大限度且经济有效地保存宽皮柑橘原有的风味和营养成分。

速冻产品的最终质量不仅取决于冷冻技术,而且取决于解冻技术。因此,研发解冻技术十分必要。目前对水果冷冻技术的研究较多,主要包括对水果

冻结规律的研究<sup>[2]</sup>、冻结工艺的研究<sup>[3]</sup>和冷冻对品质的影响研究<sup>[4-5]</sup>。而关于解冻技术的研究较少,而且主要集中在国外,Holzwarth<sup>[6]</sup>用三个温度(4、20、37℃)和微波对速冻草莓进行解冻,比较各种解冻方法对草莓颜色、多酚和 $V_c$ 的影响,发现微波解冻方法对草莓品质的影响最小:微波解冻后,草莓的花青素和 $V_c$ 的含量都最高,而在4℃下解冻后,草莓的色素和 $V_c$ 的含量都最低。DM Modise<sup>[7]</sup>比较了草莓在常温自然解冻和30℃水浴解冻后挥发性物质的变化,发现经常温自然解冻后,很多醛类物质,如乙醛化合物等会显著

收稿日期: 2014-09-25

作者简介: 胡中海(1989-),男,硕士研究生,研究方向:食品化学与营养学。

\* 通讯作者: 吴厚玖(1948-),男,研究员,研究方向:果蔬加工技术及营养。

基金项目: 国家科技支撑计划-“甜橙饮料基质加工关键技术研究及产业化示范(2012BAD31B10)”;“2013重庆市两江学者计划柑橘加工岗位”。

增加,而丁酸乙酯则不受解冻方法的影响。Oszmiański等<sup>[8]</sup>研究了解冻方式对草莓多酚含量的影响,发现微波解冻比20℃下自然解冻后,其花色苷、花青素、儿茶酸和鞣花酸含量都更高。但目前对于速冻橘瓣解冻方法的研究,还鲜有报道。

本文以温州蜜柑为原料,经速冻,再用冰箱、常温空气、常温流水、温水和微波5种方法进行解冻,比较不同方式解冻后的橘瓣之间及其与新鲜橘瓣的品质差异,以期速冻橘瓣最佳解冻方式的确定提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

温州蜜柑 购于重庆市北碚区歇马镇农贸市场,选取大小均匀、色泽相近(即成熟度一致)、无病虫害的果实为实验原料;硫酸铜、氢氧化钠、无水葡萄糖、草酸、抗坏血酸、2,6-二氯靛酚 均为分析纯,成都市科龙化工试剂厂。

REVCO VALUE SERIES 超低温冰箱 美国 Thermo Fisher公司;WAY-2S阿贝折光仪 上海精密科学仪器有限公司;α-gemini电子鼻系统 法国Alpha.MOS公司;100~5000μL移液器 德国EPPENDORFF公司;Techne Dri-Block系列的DB-2D恒温器;WD900型微波炉 顺德市格兰仕电器实业有限公司;Color i5色差仪 瑞士Gretag Macbeth公司;USDA橙汁色标管 美国Intercit公司;DZKW4电子恒温水浴锅 上海双舜实业发展有限公司;CT3质构仪 美国BROOKFIELD公司;DeltaTRAK11036型数字显示温度计 美国DeltaTRAK公司

### 1.2 实验方法

1.2.1 速冻橘瓣制备 温州蜜柑进行手工剥皮,分瓣,挑取大小一致的橘瓣,装袋后在-80℃的超低温冰箱中速冻,用数显温度计测定橘瓣中心温度,直到橘瓣中心温度到达-18℃,取出放入-18℃冰箱中备用,整个冻结过程为27min 30s,在30min以内,属于速冻范畴<sup>[9]</sup>。除质构特性外,其余指标榨汁后进行测定。

1.2.2 解冻方法 冰箱解冻<sup>[10]</sup>:将橘瓣从-18℃冰箱中取出,放入4℃冰箱中,当中心温度为0℃时,解冻结束,记录解冻时间;自然解冻<sup>[11]</sup>:将橘瓣从-18℃冰箱中取出,当中心温度为0℃时,解冻结束,记录环境温度和解冻时间;流水解冻<sup>[12]</sup>:将橘瓣从-18℃冰箱中取出,放入水槽中,并通以流水(水温23.5℃),当中心温度为0℃时,解冻结束,记录流水温度和解冻时间;温水解冻<sup>[13]</sup>:将橘瓣从-18℃冰箱中取出,放入50℃恒温水浴锅中,当中心温度为0℃时,解冻结束,记录解冻时间;微波解冻<sup>[14]</sup>:将橘瓣从-18℃冰箱中取出,放入微波炉中,调节按钮到解冻状态,当中心温度为0℃时,解冻结束,记录解冻时间。

1.2.3 汁液流失率的测定 分别测定样品取出解冻

前的质量以及解冻后再用滤纸吸去表面汁液后的质量,二者的质量差与解冻前样品的质量之比即为汁液流失率<sup>[15]</sup>。

1.2.4  $V_C$ 含量的测定 依照GB/T 8210—2011《柑橘鲜果检验方法》中的2,6-二氯靛酚滴定法测定。

1.2.5 可滴定酸的测定 依照GB/T 8210—2011《柑橘鲜果检验方法》中的指示剂法测定。

1.2.6 还原糖的测定 依照GB/T 8210—2011《柑橘鲜果检验方法》中的斐林氏容量法测定。

1.2.7 可溶性固形物的测定 用阿贝折光仪测定。

1.2.8 色泽的测定 Color i5色差仪测定。主要把 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $c^*$ 值做为分析指标,各个值的具体含义见参考文献[12]。

1.2.9 质构的测定 CT3质构仪测定。测试类型:TPA质构分析;目标类型:距离;目标值:5mm;触发点负载:5g;测试速度:1mm/s;探头:TA41。

1.2.10 香气的测定 采用电子鼻进行测定,参照田学琴等<sup>[16]</sup>的方法。数据信息分析采用主成分分析法(PCA)。

### 1.3 数据分析

各种解冻方法做3次重复,结果以 $\bar{x} \pm s$ d表示。用SPSS 18.0和Excel处理相关数据,采用Duncan's新复极差测验(SSR法)检验 $p=0.05$ 水平下的显著性差异。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同解冻方法的解冻时间

由表1可知,不同解冻方法的解冻时间有较大差异,冰箱解冻所需时间最长,分别为自然解冻的3.89倍、流水解冻的45.76倍、温水解冻的81.71倍和微波解冻的51.53倍,总的来说与环境温差越大,解冻时间越短。因为冰箱解冻和自然解冻主要是依靠空气与样品表面对流换热以及样品表面水蒸汽凝固换热,流水解冻和温水解冻是主要依靠流水与样品表面对流换热以及样品内部与外表的温差换热,而微波解冻除了表面传热外,样品中的水、蛋白质、碳水化合物等极性分子对微波有很大的吸收能力<sup>[17]</sup>。

### 2.2 不同解冻方法的汁液流失率

由图1可知,速冻橘瓣解冻后的汁液流失率都在4%以下,说明速冻橘瓣的汁液流失并不严重,而不同解冻方法对汁液流失有不同的影响:流水解冻和温水解冻的汁液流失率都较小,分别为1.51%、2.08%;冰箱解冻和自然解冻次之,两者无显著差异,分别为2.95%、2.93%;微波解冻的汁液流失率最大,为3.89%,与其余四种解冻方法的汁液流失率的差异达到显著水平( $p < 0.05$ )。原因可能是微波解冻速度较快,融化的水没能及时渗入组织内,而且微波的热效应也加剧了汁液的流水<sup>[18]</sup>,而流水解冻和温水解冻过程中,则可能有外界水渗入到组织中,在一定程度上

表1 不同解冻方法的解冻时间

Table 1 The time of each thawing method

解冻方法	冰箱解冻	自然解冻	流水解冻	温水解冻	微波解冻
解冻条件	环境温度4℃	室温26.3℃	水温23.5℃	水温50℃	-
解冻时间	9h 32min	2h 27min	12min 30s	6min 50s	11min 11s

弥补了汁液的流失。

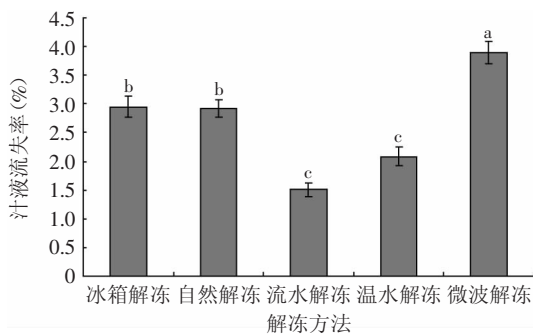


图1 不同解冻方法的汁液流失率

Fig.1 Effect of different thawing methods on juice loss  
注:不同小写字母表示差异显著 ( $p < 0.05$ ), 图2~图5同。

### 2.3 不同解冻方法对V<sub>C</sub>的影响

柑橘中V<sub>C</sub>含量丰富,但是很不稳定。由图2可知,橘瓣经过速冻处理后,无论用何种方法解冻,V<sub>C</sub>含量均会显著下降 ( $p < 0.05$ )。五种解冻方法当中,以冰箱解冻对V<sub>C</sub>的损失最小,V<sub>C</sub>损失率为8.45%,自然解冻、流水解冻、温水解冻和微波解冻对V<sub>C</sub>的损失作用无明显差别,V<sub>C</sub>损失率分别为:15.11%、13.88%、15.11%、12.39%。这可能是因为V<sub>C</sub>是一种热敏性的水溶性维生素,流水以及较高的温度差都会加速V<sub>C</sub>的损失<sup>[14]</sup>,因而在4℃的冰箱中缓慢解冻,V<sub>C</sub>的保存则较好。

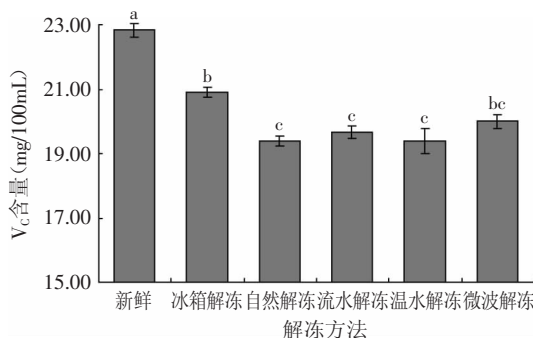


图2 不同方法解冻后的V<sub>C</sub>含量

Fig.2 V<sub>C</sub> content after each thawing method

### 2.4 不同解冻方法对可滴定酸的影响

由图3可知,经不同解冻方法解冻后,柑橘的可滴定酸含量反而比新鲜柑橘的含量要高,这可能是

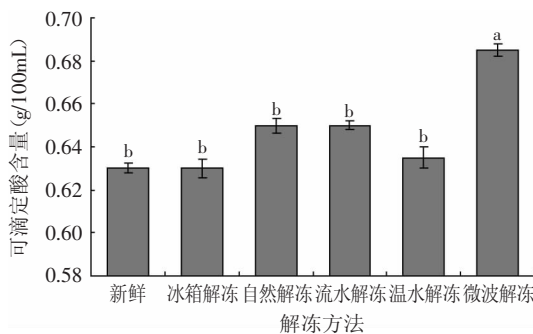


图3 不同解冻方法解冻后的可滴定酸含量

Fig.3 Titratable acid content after each thawing method

冷冻过程所引起的,但是只有微波解冻后的含量差异达到显著水平 ( $p < 0.05$ ),含量增加了9.52%,其余各种解冻方法之间无显著性差异。这一结果与邓永燕等<sup>[11]</sup>的研究结果相一致,但关于微波解冻提高可滴定酸含量的机理还有待进一步探究。

### 2.5 不同解冻方法对还原糖的影响

由图4可知,新鲜柑橘的还原糖与各种解冻方法的还原糖含量无显著性差别,而微波解冻与自然解冻、流水解冻、温水解冻之间则有显著性差别 ( $p < 0.05$ )。冰箱解冻和微波解冻会增加柑橘的还原糖含量,增加量分别为1.46%、3.65%;而自然解冻、流水解冻和温水解冻则会使还原糖含量降低,损失率为1.46%、1.82%、1.82%。这可能是因为冰箱解冻和微波解冻的汁液流失率较高,导致还原糖浓度较大,另一方面,流水解冻和温水解冻过程中,水分的渗入,会降低还原糖含量。

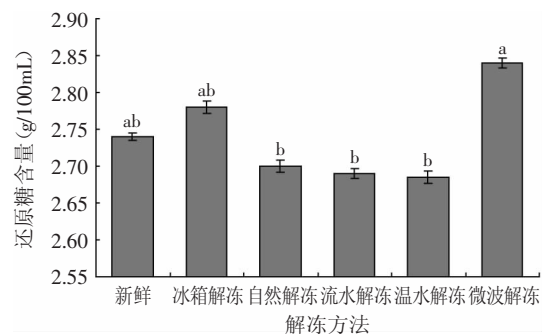


图4 不同解冻方法解冻后的还原糖含量

Fig.4 Reducing sugar content after each thawing method

### 2.6 不同解冻方法对可溶性固形物的影响

由图5可知,新鲜柑橘与冰箱解冻、微波解冻的可溶性固形物含量无显著性差异,而其余三种解冻方法均会显著降低可溶性固形物含量 ( $p < 0.05$ ),其中自然解冻与流水解冻、温水解冻也具有显著性差异 ( $p < 0.05$ ),后两种解冻方法对可溶性固形物的影响更大,损失率分别为5.23%和5.81%。这是因为流水解冻和温水解冻过程中,水分渗入柑橘组织中,导致可溶性固形物含量降低。

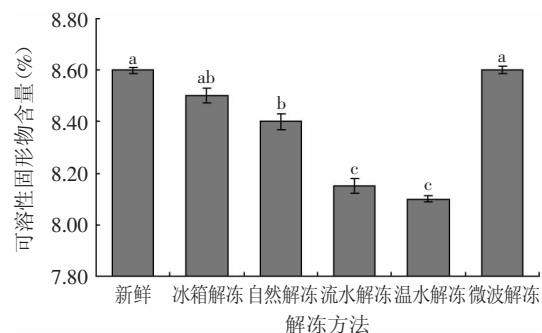


图5 不同解冻方法解冻后的可溶性固形物含量

Fig.5 Soluble solids content after each thawing method

### 2.7 不同解冻方法对色泽的影响

由表2可知,橘瓣经过速冻处理后,无论何种方法解冻,其L\*、a\*、b\*、c\*值都会显著下降 ( $p < 0.05$ ),即

橘瓣会变得更暗,红色和黄色变淡,饱和度降低。但不同解冻方法对各种色泽的影响并不一致。其中,冰箱解冻、流水解冻比温水解冻、微波解冻对 $L^*$ 值的影响更大;微波解冻对 $a^*$ 的影响最大,其值为负,说明样品已偏绿色,该结果与侯晓荣等关于解冻方式对中国对虾品质影响的研究结果一致<sup>[15]</sup>,并解释为微波加速了色素的酶促降解。影响其次的为流水解冻,而冰箱解冻、自然解冻和温水解冻则对 $a^*$ 影响较小;不同解冻方法对 $b^*$ 和 $c^*$ 的影响趋势几乎一致:温水解冻影响最小,其次分别是自然解冻、微波解冻和流水解冻,影响最大的为冰箱解冻。

表2 不同解冻方法对色泽的影响

Table 2 Effect of different thawing methods on the color of citrus

解冻方法	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$c^*$
新鲜	46.07±0.10 <sup>a</sup>	1.99±0.04 <sup>a</sup>	25.84±0.30 <sup>a</sup>	25.92±0.30 <sup>a</sup>
冰箱解冻	43.23±0.38 <sup>c</sup>	0.77±0.57 <sup>b</sup>	21.37±1.55 <sup>d</sup>	21.39±1.57 <sup>d</sup>
自然解冻	43.62±0.15 <sup>bc</sup>	0.80±0.34 <sup>b</sup>	24.50±0.75 <sup>b</sup>	24.51±0.76 <sup>b</sup>
流水解冻	42.78±0.50 <sup>c</sup>	0.11±0.33 <sup>c</sup>	22.81±0.33 <sup>c</sup>	22.81±0.33 <sup>c</sup>
温水解冻	44.32±0.16 <sup>b</sup>	0.59±0.03 <sup>b</sup>	25.09±0.26 <sup>ab</sup>	25.09±0.26 <sup>ab</sup>
微波解冻	43.97±0.35 <sup>b</sup>	-0.56±0.15 <sup>d</sup>	23.55±0.50 <sup>bc</sup>	23.56±0.49 <sup>bc</sup>

注:同列上标不同字母表示具有显著性差异( $p<0.05$ );表4同。

## 2.8 不同解冻方法对质构特性的影响

由表3可知,新鲜样品的硬度与各种解冻方法之间的差异都达到显著水平( $p<0.05$ ),而各种解冻方法之间,除冰箱解冻与微波解冻的差异不显著外,其余各种方法之间均有显著差异,对硬度影响最小的为冰箱解冻,最大的为温水解冻,说明温度越高,对柑橘组织的破坏越严重;橘瓣经过速冻再解冻后,其内聚性均会增加,以冰箱解冻、自然解冻和微波解冻较为显著( $p<0.05$ );冰箱解冻和微波解冻会增加样品的弹性,而其余三种方法会降低样品弹性,但差异均不显著。解冻方法对胶着性的影响与对硬度的影响几乎相同,只有自然解冻和流水解冻不一致。样品的咀嚼性在解冻后也会显著降低( $p<0.05$ ),其中以冰箱解冻和微波解冻的影响较小。综上,冰箱解冻和微波解冻对样品的质构特性影响较小。

## 2.9 不同解冻方法对香气的影响

电子鼻对新鲜样品及不同解冻方法样品香气成分变化的PCA辨别见图6,从图6中可知,主成分分析图中前两维主成分的累计贡献达到97.55%,说明保

留了原始数据大部分信息,因而不同处理的样品之间的差异能在PC1和PC2构建的平面上充分展示出来。从图6中还可以看出,冰箱解冻、自然解冻、流水解冻、温水解冻的区域与新鲜样品的区域能完全区分开,无重合,而这些解冻方法之间则有一定的重合,说明经这些方法解冻后,橘瓣香气的主成分都发生了明显的变化,而这几种解冻方法之间的变化差异却不是非常显著。另外,这几种解冻方法的区域位于新鲜样品区域的右侧,说明解冻后发生变化的主要是香气中的第一类主成分。微波解冻样品的区域最接近新鲜样品区域且有部分重合,说明微波解冻对香气主成分影响较小。原因可能是微波解冻时间较短,且解冻过程不与水接触,对香味影响小。

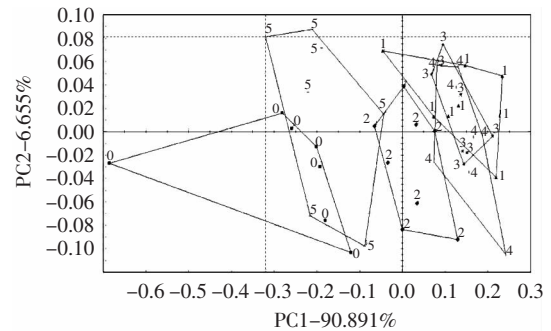


图6 不同解冻方法后香气成分变化的PCA图

Fig.6 PCA diagram of aroma component change after each thawing method

注:0:新鲜样品;1:冰箱解冻;2:自然解冻;3:流水解冻;4:温水解冻;5:微波解冻。

## 3 结论

相比冷冻技术,解冻技术的发展较缓慢,相关研究也较少,但通过以上实验可以看出解冻方法对速冻橘瓣质量的影响较大,且不同方法对不同理化指标有不同的影响。微波解冻作为一种新型高效的解冻方法,已逐渐运用到速冻果蔬的解冻中。本实验比较了微波解冻与其他几种常规解冻方法对速冻温州蜜柑橘瓣品质的影响,发现微波解冻的解冻时间短; $V_c$ 损失率较低,为12.39%;可滴定酸含量较高,比新鲜样品增加了9.52%;对还原糖、可溶性固形物含量、香气、弹性的影响不显著;虽然对色泽、硬度、内聚性、胶着性、咀嚼性有显著影响,但只有对 $a^*$ 值的影响要显著大于其他几种解冻方法,另外,微波解冻的

表3 不同解冻方法对质构特性的影响

Table 3 Effect of different thawing methods on the texture of citrus

解冻方法	硬度(g)	内聚性(mJ)	弹性(mm)	胶着性(g)	咀嚼性(mJ)
新鲜	576.25±11.03 <sup>a</sup>	0.70±0.07 <sup>b</sup>	3.97±0.11 <sup>a</sup>	380.00±10.23 <sup>a</sup>	15.45±3.59 <sup>a</sup>
冰箱解冻	206.50±9.26 <sup>b</sup>	0.78±0.01 <sup>a</sup>	4.09±0.08 <sup>a</sup>	160.50±9.68 <sup>b</sup>	6.43±0.50 <sup>b</sup>
自然解冻	144.50±12.37 <sup>d</sup>	0.79±0.05 <sup>a</sup>	3.79±0.32 <sup>a</sup>	114.00±4.55 <sup>d</sup>	4.25±0.42 <sup>bc</sup>
流水解冻	170.50±12.37 <sup>c</sup>	0.76±0.05 <sup>ab</sup>	3.92±0.32 <sup>a</sup>	128.75±4.55 <sup>c</sup>	4.95±0.42 <sup>bc</sup>
温水解冻	117.25±7.37 <sup>e</sup>	0.76±0.08 <sup>ab</sup>	3.80±0.21 <sup>a</sup>	89.00±11.05 <sup>e</sup>	3.35±0.58 <sup>c</sup>
微波解冻	196.00±10.42 <sup>b</sup>	0.81±0.04 <sup>a</sup>	4.13±0.28 <sup>a</sup>	159.50±5.80 <sup>b</sup>	6.48±0.48 <sup>b</sup>

(下转第130页)

## 参考文献

- [1] Wu J H, Cahill L E, Mozaffarian D. Effect of fish oil on circulating adiponectin: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 2013, 98(6):2451-2459.
- [2] Dyerberg J, Bang H O, Stoffersen E, et al. Eicosapentaenoic acid and prevention of thrombosis and atherosclerosis[J]. *The Lancet*, 1978, 312(8081):117-119.
- [3] 张静姝. 深海鱼油辅助改善记忆功能的研究[D]. 天津: 天津医科大学, 2011.
- [4] 刘伟民, 马海乐, 李国文. 鱼油生理活性物质EPA和DHA分离进展[J]. *食品科学*, 2002, 23(10):125-127.
- [5] 郑美瑜, 李国文. 超临界CO<sub>2</sub>萃取鱼油中EPA, DHA的研究进展[J]. *江苏大学学报: 自然科学版*, 2002, 23(3):37-40.
- [6] 黄丽燕, 韩磊, 刘青, 等. 枇杷叶总黄酮的提取及其脂质体的抗氧化活性[J]. *华侨大学学报: 自然科学版*, 2012, 33(1):61-65.
- [7] 王琳. 脂质体制备方法的研究进展[J]. *西北药学杂志*, 2010, 42(5):F0002-F0004.
- [8] 刘晓谦, 王锦玉, 仝燕, 等. 脂质体制备技术及其研究进展[J]. *中国药理学杂志*, 2011, 46(14):1084-1088.
- [9] 涂宗财, 张朋, 王辉, 等. 鱼油纳米脂质体的制备及其性质测定[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(2):50-55.
- [10] Yang L, Yang W, Bi D, et al. A novel method to prepare highly encapsulated interferon- $\alpha$ -2b containing liposomes for intramuscular sustained release[J]. *European Journal of*

- Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2006, 64(1):9-15.
- [11] 刘红梅, 褚慧媛, 崔金霞, 等. 薄膜-超声分散法制备 $\beta$ -榄香烯固体脂质纳米粒[J]. *中草药*, 2008, 39(2):193-195.
- [12] 刘伟, 刘伟琳, 刘成梅, 等. 高压微射流制备纳米中链脂肪酸脂质体的研究[J]. *高压物理学报*, 2010, 24(4):293-299.
- [13] 孙庆雪, 黄桂华, 邵伟. 褪黑素脂质体的制备及理化性质研究[J]. *山东大学学报: 医学版*, 2010, 48(1):159-163.
- [14] Ding B, Zhang X M, Hayat K, et al. Preparation, characterization and the stability of ferrous glycinate nanoliposomes[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 102(2):202-208.
- [15] 孙润广, 齐浩, 张静. 脂质体结构特性的原子力显微镜研究[J]. *物理学报*, 2002, 51(6):1203-1207.
- [16] 何泓良, 王卫国, 甘勇, 等. 喷雾冷冻干燥技术制备盐酸伊立替康脂质体冻干微粒及其理化性质考察[J]. *中国药房*, 2010, 21(45):4274-4278.
- [17] 张晶, 杨静, 吴基良, 等. 异甘草素脂质体的制备及稳定性考察[J]. *中国医院药学杂志*, 2005, 25(11):1046-1048.
- [18] 邱瑞桂, 靳世英, 徐和, 等. 薄膜分散联合冻融法制备小菜蛾抗菌肽脂质体研究[J]. *环球中医药*, 2012, 5(12):904-907.
- [19] 郑会娟. 羧甲基壳聚糖包覆的中链脂肪酸纳米脂质体的制备及其性质研究[D]. 江西: 南昌大学, 2012.
- [20] Takahashi M, Inafuku K-I, Miyagi T, et al. Efficient preparation of liposomes encapsulating food materials using lecithins by a mechanochemical method[J]. *Journal of Oleo Science*, 2007, 56(1):35-42.

(上接第126页)

汁液流失率比其他解冻方法的流失率大, 为3.89%。综合考虑, 微波解冻是一种较优良的适合于速冻温州蜜柑的解冻方法。而目前关于不同解冻方法对其他速冻水果影响的研究还很少, 有待进行更全面更深入的研究, 以促进速冻水果行业的发展。

## 参考文献

- [1] 单杨. 我国柑橘工业现状及发展趋势[J]. *农业工程技术-农产品加工业*, 2014(4):13-17.
- [2] Wang Jie, Li Lite, Dan Yang. The correlation between freezing point and soluble solids of fruits[J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 60(4):481-484.
- [3] Carolina D, Galetto, Roxana A. Freezing of strawberries by immersion in CaCl<sub>2</sub> solutions[J]. *Food Chemistry*, 2010, 123:243-248.
- [4] W L Kerr, C J Clark, M J McCarthy. Freezing effects in fruit tissue of kiwifruit observed by magnetic resonance imaging[J]. *Scientia Horticulturae*, 1997, 69:169-179.
- [5] Min Zhang, Zhen-Hua Duan, Jian-Feng Zhang. Effects of freezing conditions on quality of areca fruits[J]. *Journal of Food Engineering*, 2004, 61:393-397.
- [6] Holzwarth M, Korhummel S, Carle R. Evaluation of the effects of different freezing and thawing methods on color, polyphenol

- and ascorbic acid retention in strawberries[J]. *Food Research International*, 2012, 48:241-248.
- [7] D M Modise. Does freezing and thawing affect the volatile profile of strawberry fruit?[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 50:25-30.
- [8] Oszmiański, J Wojdyło, A Kolniak. Effect of L-ascorbic acid, sugar, pectin and freeze-thaw treatment on polyphenol content of frozen strawberries[J]. *Food Science and Technology*, 2009, 42:581-586.
- [9] 隋继学. 速冻食品加工技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
- [10] 尤瑜敏. 冷冻食品的解冻技术[J]. *食品科学*, 2001, 22(8):87-90.
- [11] 邓永燕. 速冻橘瓣罐头生产工艺与品质改进研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.
- [12] 王华, 刘俊轩, 马亚琴, 等. 哈姆林橙汁在贮藏过程中的理化指标及色泽变化[J]. *食品科学*, 2012, 33(24):321-324.
- [13] 田学琴, 郭丽琼, 焦晓磊, 等. 基于电子鼻分析夏橙汁在贮藏过程中香气的变化[J]. *食品工业科技*, 2013(11):298-302.
- [14] 焦凌霄, 高愿军. 温度对猕猴桃V<sub>C</sub>降解途径和降解速度影响的研究[J]. *安徽农业科学*, 2006, 34(12):2847-2850.
- [15] 侯晓荣, 米红波, 茅林春. 解冻方式对中国对虾物理性质和化学性质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(4):243-247.