

复温速度对红元帅苹果品质影响研究

田津津¹, 毕新伟¹, 张哲^{1*}, 陈佳楠¹, 计宏伟¹, 赵恩惠¹, 郭旭¹, 朱志强²

(1. 天津商业大学 机械工程学院, 天津市制冷技术重点实验室, 天津 300314;

2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要:为了研究不同复温速度(1.5 °C/min和4.5 °C/min)冷冻处理的红元帅苹果其理化品质的影响,通过测定Vc含量以及亮度和硬度发现,复温速度会明显影响红元帅苹果的Vc含量以及亮度和硬度。复温速度越高,Vc含量以及亮度和硬度下降的速度会有所缓解。同时,在不同复温速度处理条件下,测定a*、b*和可滴定酸含量,复温速度更高,上述指标提升的速度也会有所缓解。较高复温速度处理对红元帅的硬度、亮度、Vc含量损伤更少,果实品质会保留更好。

关键词:冷冻处理;复温速度;红元帅苹果;果实品质

中图分类号:TS205.7

文献标志码:A

文章编号:1674-4942(2022)01-0063-06

Effect of Thawing Rate Strategy on the Quality of Frozen Red Marshal Apple

TIAN Jinjin¹, BI Xinwei¹, ZHANG Zhe^{1*}, CHEN Jianan¹, JI Hongwei¹, ZHAO Enhui¹, GUO Xu¹, ZHU Zhiqiang²

(1. Tianjin Key Laboratory of Refrigeration Technology, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China;

2. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products Tianjin Key Laboratory of Agricultural Products' Postharvest Physiology and Storage, Tianjin 300384, China)

Abstract:The effects of different thawing rate conditions on the physical and chemical quality of red Marshal apple under the same frozen conditions were experimentally studied. Under the same condition of freezing red Marshal apples, the thawing speed was controlled at 1.5°C/min and 4.5°C/min, which obviously affected the Vc content, brightness and hardness of red Marshal apples. The higher the thawing speed, the rate of decline of the above indicators relieved. On the other hand, under different thawing rate treatment conditions, the a*, b* and titratable acid content were also measured. the higher the thawing rate, the speed of the improvement of the above indicators alleviated. In conclusion, the higher thawing rate will cause less damage to the hardness, brightness, and Vc content of the red Marshal apple, and the quality of the fruit will be preserved.

Keywords: freezing treatment; thawing rate; red delicious apples; fruit quality

随着生活水平提高,果蔬消耗量日益增多,果蔬保鲜也得尤为重要^[1-2]。中国苹果果树的栽培面积居世界首位,已成为世界最大的苹果生产国和消费国^[3]。目前我国采用冷冻技术来延长苹果储藏时间,温度是影响果实呼吸强度最重要的因素,适宜低温可抑制呼吸作用,延长苹果的储存时间^[4-5]。冷冻苹果需要复温才能使用^[6],故复温速度策略对苹果品质的影响极为重要。

收稿日期:2021-08-21

基金项目:天津市自然科学基金项目(21YDTPJC00300);国家自然科学基金项目(12172254,11772225);天津市研究生科研创新项目(2020YJSS066)

第一作者:田津津(1978—),天津人,高级实验师,研究方向为食品冷链。E-mail:tianjj@tjcu.edu.cn

*通信作者:张哲(1975—),天津人,教授,研究方向为食品冷链。E-mail:zhangzhe@tjcu.edu.cn

目前冷冻水果复温的相关研究较少,使得一些生产和科研工作的需要得不到满足。例如宋建飞等通过对洋葱切片的研究,发现随着冷冻速度增大,其细胞内结晶温度逐渐降低^[7]。张玉敏等采用空气自然对流冻结蔬菜,研究表明总体上冻结时间越短,蔬菜的成分变化就越小^[8]。KNOP K利用低温显微镜发现在快速冷冻作用下细胞内部快速结晶,减缓了细胞渗透压的变化,更好地保持其品质^[9]。赵静等通过低温台和DCS系统对葡萄进行切片观察,研究表明葡萄在相变过程中结冰点温度伴随冷冻速度的增大而降低^[10]。刘懿等探究解冻方式对苹果汁品质及挥发性成分的影响,发现在低温条件下采用超声解冻可缩短解冻时间,苹果汁的品质更好^[11]。在胡军祥等人的研究中,对低温保存的ICR小鼠骨髓有核细胞进行不同方式的复温研究,结果表明微波处理的复温能够提高复温速率,对细胞的损伤最小^[12]。Hunter等研究指出,12℃以下贮藏的番茄果实转至20℃的货架后会发生冷害,4℃温度处理下复温温度影响细胞壁拆解酶转录^[13]。马有川等研究表明,若要快速冷冻苹果,并且还不能对苹果质量造成严重影响,就需要保证干燥室真空度为70~90 Pa此时既可以促使干燥冷冻时间大幅度缩减,同时还不会降低苹果品质^[14]。在张克俭等人的研究中,慢速降温慢速复温的鱼类胚胎细胞结构受到严重冰晶损伤,而快速降温复温的胚胎细胞器保留最完整^[15]。目前关于水果冷冻的研究较为丰富,但水果的复温研究较为匮乏。因此,本文利用PLC系统控制恒温恒湿试验机对红元帅苹果进行冷冻复温实验,研究复温速率对苹果品质的影响。

1 材料及方法

1.1 实验材料

选用天津本地销售的红元帅苹果为实验材料,苹果成熟且外观相似,外无磕碰,内无虫害。

1.2 实验设备及仪器

HT-8045A 恒温恒湿试验机,深圳市银飞电子科技;FHM-5 果实硬度计,日本竹村;CR-400 型色差仪,日本柯尼卡美能达;UV-1780 型紫外分光光度计,日本岛津;PAL-1 型手持便携式折光仪,日本爱拓。

1.3 实验方案

所选取的红元帅研究样本均为新鲜水果,采摘之后直接运输到库,运输温度保持在25℃恒温状态。如表1和图1所示,把红元帅苹果分为3组,其中2组苹果通过3.5℃/min的降温速度,从25℃室温处理到-18℃冷冻温度并保持30 min,分别以1.5℃/min、4.5℃/min速度复温至4℃,其中每隔12 h对其取样检测,共计取样5次。测量并记录苹果的硬度、色泽、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、维生素C含量;另一组作为新鲜对照,直接把新鲜组苹果放入恒温箱保持4℃贮藏。

表1 实验方案

Table 1 Experimental scheme

组类	起始温度/℃	降温速度/(℃/min)	冷冻温度/℃	保温时间/min	复温速度/(℃/min)	复温终温/℃
第一组	25	3.5	-18	30	1.5	4
第二组	25	3.5	-18	30	4.5	4
新鲜组	25					4

1.4 指标测试方法

1.4.1 硬度测量

果实抗挤压的强弱程度就是果实硬度,可以作为果实品质优劣、果实成熟度的一个衡量标准。研究取苹果样品中间位置切开,用FHM-5果实硬度计测量4个位置的果肉硬度,求样品4个切点位置的平均硬度表示果实硬度值,单位为 $\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。在样品测量之前,需要对硬度计进行压力校正。

1.4.2 果实色泽测量

色泽是果蔬的重要质量指标。采用CR-400型色差仪测定色差,通过 L^* 、 a^* 、 b^* 值的变化可以判断出材料的明度和色调的变化。 L^* 值表示果实亮度,亮度随 L^* 增大而增大,红度随 a^* 增大而增大,底色黄度随 b^*

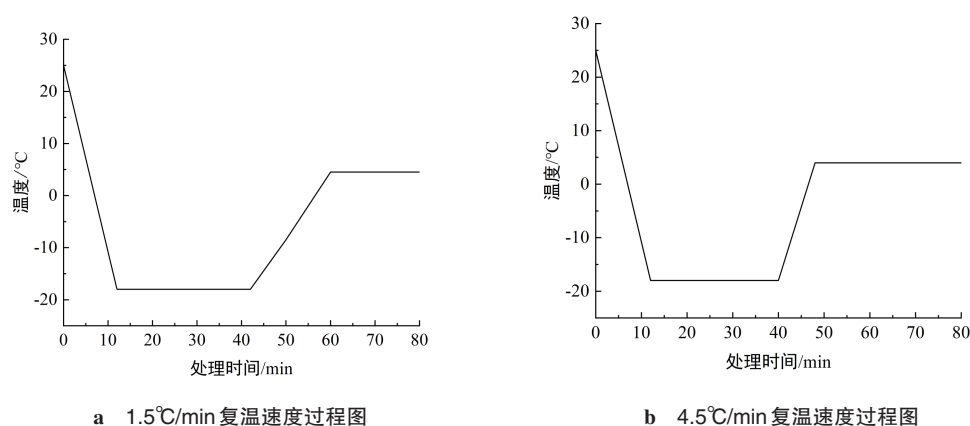


图1 1.5 °C/min 和 4.5 °C/min 复温速度过程图

Figure 1 Reheating process at 1.5°C/min and 4.5°C/min

增大而增大。

1.4.3 可溶性固形物(TSS)含量测量

本实验采用手持式折光仪测定法^[16]测定可溶性固溶物。测定时需要事先制备样品工作:选取果实的果肉样品 0.5 g,研磨处理,并在 4000 rpm 离心 10 min 后过滤,用于测定。

1.4.4 可滴定酸(TA)含量测量

本实验采用酸碱中和滴定法^[17]测量可滴定酸。选取苹果果肉 1 g 左右,研磨成均匀的浆状,倒入容量瓶(25 mL),用去离子水定容。取过滤好的待测液 5 mL 移至 50 mL 锥形瓶中,滴入酚酞指示剂(1%),用 0.01 mol/L 的氢氧化钠标定溶液滴定,待溶液有粉红色出现且维持 30 min,对氢氧化钠损耗量进行详细的记录,重复上述步骤 3 次。

1.4.5 维生素 C 含量测量

本实验采用 2,6-二氯酚酚滴定法^[18]测量维生素 C 含量。向研钵中移入苹果样品 10 g,滴入少许草酸并保持冰浴状态进行研磨,之后向容量瓶(10 mL)中转移待测液(转移之前需要冲洗量瓶,量瓶的冲洗液为草酸),移入待测液之后利用草酸进行稀释,最后定容至刻度线为止,将待测液摇匀,静置 10 min 后过滤。选取过滤液 10 mL 到烧瓶(100 mL)中,使用的 2,6-二氯酚酚溶液进行滴定,直至微微呈现粉红色,并且 15 s 内不褪色,记录滴定液的量。同时,用 10 mL 草酸溶液作为空白参比。实验 3 次,取平均值。

1.5 数据处理及制图

使用 Excel 记录实验数据^[19],导入到 Origin 进行数据分析并制图^[20],分析实验组与对照组在不同复温速度下的指标变化情况。

2 结果及分析

2.1 复温速度对果实硬度的影响

图 2 反映了在不同复温速度处理下苹果硬度随储藏时间的变化情况,与新鲜组相比较,经过复温处理的苹果硬度都会有所下降。在 12 h 内 2 种不同复温速度处理的苹果硬度都出现显著下降,4.5 °C/min 复温速度处理组下降了 27.8%,1.5 °C/min 复温速度处理组下降了 26.5%。在整个贮藏过程中,4.5 °C/min 复温速度处理组硬度普遍高于 1.5 °C/min 复温速度处理组,不同速度处理组苹果硬度明显低于新鲜组,且在 60 h 的处理过程中第一组和第二组苹果硬度下降幅度分别为 32.5% 和 30.6%,约为新鲜组苹果硬度的三分之二。相比较而言,苹果在 4.5 °C/min 复温速度下能更好地保持其硬度,苹果复温过程中会出现重结晶,复温速度越快减少甚至避免其出现,与前人的研究基本一致。

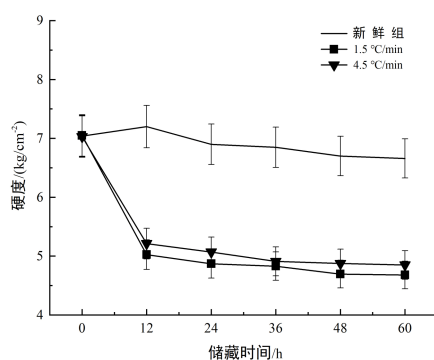


图2 不同复温速度处理对硬度的影响

Figure 2 Effect of different reheating rates on hardness

2.2 复温速度对果实色泽的影响

图3(a)为在不同复温速度下苹果色泽随储藏时间的变化情况,不同复温速度处理在前12 h内亮度值 L^* 逐渐降低。苹果在前12 h处于复温过程,苹果体积有明显改变,故亮度有明显变化。在12 h后苹果亮度值 L^* 趋于稳定,这是因为苹果在之后的时间内体积变化很小,故亮度值 L^* 在一定范围内趋于稳定。由图3(a)可知1.5 °C/min复温速度处理组的亮度值下降了6.6%,而4.5 °C/min复温速度处理组的亮度值下降了6.3%,结果表明较高的复温速度有利于保持其亮度。图3(b)、(c)表示不同复温速度处理下果实颜色参数 a^* 、 b^* 值随贮藏时间变化情况。如图所示,前12 h不同复温速度处理的苹果 a^* 、 b^* 均呈上升趋势,12 h后在一定范围内保持相对稳定。4.5 °C/min复温速度处理的苹果比1.5 °C/min复温速度处理的苹果 a^* 、 b^* 值更低,表明在较高的复温速度下果实颜色保持得更鲜艳。

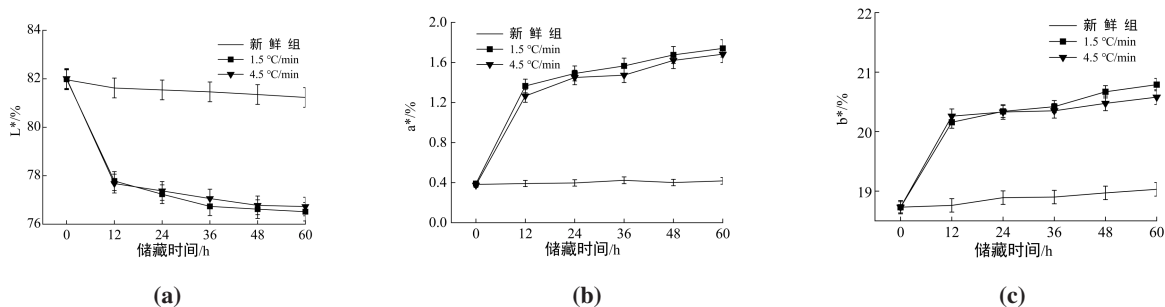


图3 不同复温处理对色泽的影响

Figure 3 Effect of different thawing treatments on colour

2.3 复温速度对果实可溶性固形物(TSS)含量的影响

图4为不同复温速度处理下苹果中TSS含量随储藏时间的变化图,TSS含量在24 h内都有明显增加,而且前12 h变化最为迅速。前12 h内1.5 °C/min复温处理组的TSS含量增加较4.5 °C/min复温速度处理组快,且复温速度1.5 °C/min复温处理组的TSS含量较高。不同复温速度处理下的苹果TSS含量都在12 h后在一定范围内维持稳定,且1.5 °C/min复温速度处理组的苹果TSS含量较4.5 °C/min复温速度处理组始终要高,在第60 h苹果TSS含量一致。1.5 °C/min复温速度处理组的苹果TSS含量在60 h内增长了13.8%而4.5 °C/min复温速度处理组增长了14.2%。故较高的复温速度更有利于保持苹果风味,可以减缓果实可溶性固形物含量的增长,营养价值更高。

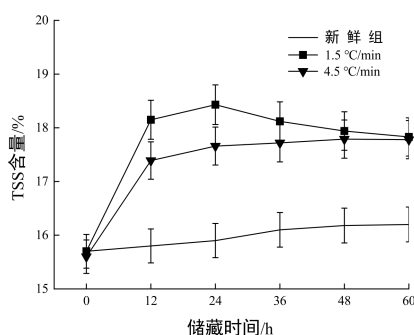


图4 不同复温处理对可溶性固形物的影响

Figure 4 Effect of different thawing treatments on soluble solids

2.4 复温速度对果实可滴定酸(TA)含量的影响

图5为不同复温速度处理下苹果可滴定酸含量随储藏时间变化的变化图。结果表明不同复温速度处理下苹果中的可滴定酸含量在前12 h内均显著增加。在12 h后可滴定酸含量在0.55 ~ 0.58 g/100g范围内趋于稳定。在60 h的储藏过程中,1.5 °C/min复温速度处理组苹果可滴定酸含量增长了67.2%,而4.5 °C/min复温速度处理组增长了57.8%。实验结果表明,较高的复温速度更有利于减缓果实可滴定酸含量的增加,更好地保持果实风味。

2.5 复温速度对果实维生素C含量的影响

图6为不同复温速度下苹果维生素C含量随时间变化情况。第一组和第二组苹果内的维生素C含量在整个过程中都处在下降趋势,其中4.5 °C/min复温速度处理组的苹果维生素C含量下降较为缓慢。在60 h内,4.5 °C/min复温速度处理组的苹果维生素C含量减少了0.15 mg/100g,而1.5 °C/min复温速度处理组减少了0.18 mg/100g。结果表明较高的复温速度能够更好地减缓维生素C的损失,能更好地保持营养物质。

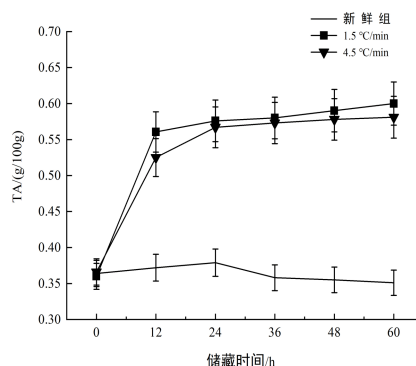


图5 不同复温处理对可滴定酸的影响

Figure 5 Effect of different thawing treatments

3 结论

本文通过对冷冻后的苹果进行不同复温速度处理,研究苹果在不同复温速度下的品质变化情况,实验结论如下:

(1)不同复温速度处理下的苹果硬度、亮度和维生素C含量均显著下降,在前12 h内果实硬度、亮度、维生素C含量大幅度变化最后趋于稳定,苹果在储藏12 h内比储藏12 h外的营养物质消耗量少,风味好、营养价值高;(2)较高的复温速率对上述品质损伤更小,能更好地保持苹果营养价值;(3)较快的复温速率会减缓苹果可溶性固形物(TSS)和可滴定酸(TA)的增长,两种物质含量在12 h后分别在17.2% ~ 18%和0.55 ~ 0.58 g/100g范围内保持稳定,较高的复温速度能更好地保持苹果风味。

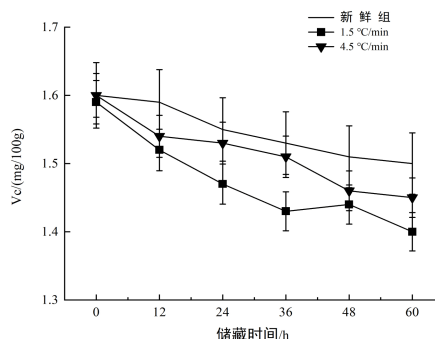


图6 不同复温处理对维生素C的影响

Figure 6 Effect of different thawing treatments on titrate acid on vitamin C

参考文献：

- [1] 赵树南,张丽芬,陈复生,等. 超声波技术在采后果蔬贮藏保鲜中的应用研究[J]. 食品工业,2016,37(11):249-253.
- [2] 高海生,赵希艳,李润丰. 果蔬采后处理与贮藏保鲜技术研究进展[J]. 农业工程学报,2007,23(2):273-278.
- [3] 常倩,李瑾. 2000年以来中国苹果产业发展趋势分析[J]. 北方园艺,2021(3):155-160.
- [4] 葛笑笑,曾凯芳,邓丽莉. 温度处理在柑橘果实采后保鲜中的应用研究进展[J]. 保鲜与加工,2022,22(2):99-106.
- [5] 常亚飞,何云华,黄淑萍,等. 不同存储温度对苹果多酚和黄酮类化合物含量的影响[J]. 应用化工,2015,44(2):217-219.
- [6] 胡中海,孙谦,龙勇,等. 水果速冻保鲜技术研究进展[J]. 食品与发酵工业,2015,41(2):242-247.
- [7] 宋健飞,刘斌,关文强,等. 直流磁场对洋葱细胞冻结过程的影响[J]. 制冷学报,2016,37(2):107-112.
- [8] 张玉敏. 冻结时间对蔬菜质量的影响[J]. 制冷学报,1987,8(3):48-52.
- [9] KNOP K, HOFFMANN N, RATH D, et al. Evaluation of slow cooling after centrifugation and glycerol addition at 22 degrees C versus direct freezing of semen in stallions with good and poor sperm longevity[J]. Animal Reproduction Science, 2005, 89(1/2/3/4): 299-302.
- [10] 张哲,郝俊杰,赵静,等. 冷冻—复温过程中葡萄相变过程研究[J]. 农业机械学报,2016,47(9):241-248.
- [11] 刘懿,蒲云峰,张婷婷,等. 解冻方式对苹果汁理化品质及挥发性成分的影响[J]. 中国食品学报,2020,20(7):88-97.
- [12] 胡军祥,杨琼霞,黄佩龙,等. 微波复温对玻璃化冻存小鼠骨髓有核细胞活性的影响[J]. 制冷学报,2008,29(4):38-41.
- [13] HUNTER D A, NAPIER N J, ERRIDGE Z A, et al. Transcriptome responses of ripe cherry tomato fruit exposed to chilling and re-warming identify reversible and irreversible gene expression changes[J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12:685416.
- [14] 马有川,毕金峰,易建勇,等. 预冻对苹果片真空冷冻干燥特性及品质的影响[J]. 农业工程学报,2020,36(18):241-250.
- [15] 张克俭,楼允东,张饮江,等. 三种淡水鱼类胚胎低温保存及其降温 and 复温速率的研究[J]. 水产学报,1997,21(4): 366-372.
- [16] 劳于根,张英. “手持式折光仪”测定方法的改进[J]. 酿酒科技,1992(1):51-52.
- [17] 郭永刚,王莉娟,宋召鉴. 电位滴定与酸碱中和滴定测定酸值数据对比及分析[J]. 润滑油与燃料,2013(2):33-36.
- [18] 陈洁,陈敏,刘齐. 三种测定水果中维生素C含量方法的比较[J]. 广东化工,2017,44(19):164-166.
- [19] 朱斌,马峰旺. 覆草年份对苹果生长、品质和产量的影响[J]. 陕西农业科学,2016,62(3):31-33.
- [20] 孙承锋,朱亮,周楠,等. 基于多元分析的11种烟台中、晚熟品种苹果香气成分比较[J]. 现代食品科技,2015,31(9): 268-277.

责任编辑:刘 红