

## 缓慢降温对石榴果实冷害发生及生理变化的影响

赵迎丽, 李建华, 施俊凤, 张晓宇, 王亮, 王华瑞  
(山西省农业科学院农产品贮藏保鲜研究所, 太原 030031)

**摘要:**对缓慢降温处理后石榴果实在冷害温度下的生理反应进行了研究,旨在为石榴果实采后保鲜提供理论依据。以新疆大籽石榴为试材,研究了0℃低温胁迫及缓慢降温对石榴果实采后生理的影响,结果表明:与0℃的低温相比,缓慢降温处理减缓石榴果皮细胞膜透性的升高以及膜脂质过氧化产物丙二醛的积累,抑制了多酚氧化酶活性的增加及减少了酚类物质的氧化,明显推迟和减轻石榴果实冷害症状的发生,减轻了果皮的褐变,保持果实品质。

**关键词:**缓慢降温;石榴;冷害

中图分类号:S665.4

文献标识码:A

论文编号:2009-0860

### Effects of Slow Cooling Treatment on Chilling Injury and Physiological Changes of Pomegranate Fruit during Cold Storage

Zhao Yingli, Li Jianhua, Shi Junfeng, Zhang Xiaoyu, Wang Liang, Wang Huarui

(Institute of Farm Produce Storage and Freshening, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030031)

**Abstract:** Physiological changes of the 0℃ low temperature stress and slow cooling treatment on chilling injury of the pomegranate fruit were studied. The results indicated that the slow cooling treatment delayed the chilling-induced increase of membrane permeability and reduced the accumulation of malondialdehyde (MDA) content, inhibited the polyphenol oxidase activity and decreased the oxidation of phenolic substances of the pomegranate pericarp. Compared with the fruit stored at 0℃, the slow cooling treatment significantly postponed the symptom of chilling injury appearing and lightened the degree of chilling injury of pomegranate fruits and reduced pericarp browning and maintained fruit quality.

**Key words:** slow cooling treatment, pomegranate, chilling injury

### 0 引言

石榴(*Punica granatum* L.)是集食用、药用和观赏于一体的水果,特别是石榴中含有丰富的抗氧化物质,是延缓衰老、预防动脉硬化和减缓癌变进程的高水平抗氧化剂<sup>[1-2]</sup>。石榴果实采后极易出现果皮褐变,失水皱缩,籽粒花青素降解,异味和腐烂<sup>[3-4]</sup>,低温(0~5℃)贮藏虽然可以抑制果实腐烂的发生,但会出现表面凹陷、表皮褐变等低温冷害现象<sup>[4]</sup>。目前关于石榴果实采后的研究报告多数集中在贮藏保鲜技术方面,石榴果实冷藏过程中低温劣变的原因尚不清楚。有研究表明,通过间歇升温、贮前热处理等方法可以减轻黄瓜、芒果及枇杷等冷敏感型果蔬的冷害症

状<sup>[5-7]</sup>,但将缓慢降温处理用于减轻石榴果实低温贮藏期间冷害的研究尚未见报道。笔者对缓慢降温处理后石榴果实在冷害温度下的生理反应进行了研究,旨在为石榴果实采后保鲜提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试材

供试材料为新疆大籽石榴,采自山西省临猗县临晋镇,经运输并预冷后挑选无病虫害、无机械伤、大小均匀、成熟度相对一致的果实为试材。分选后的果实以0.03 mm厚的聚乙烯塑料薄膜保鲜袋包装后,进行处理: I.缓慢降温处理:预冷到15℃后,每2天降1℃,降至0℃后,贮于(0±0.5)℃恒温冷库; II.预冷

**基金项目:**山西省青年科技基金资助项目“石榴采后褐变机理及其防治技术的研究”(20051041)。

**第一作者简介:**赵迎丽,女,1973年出生,山西人,助研,硕士,工学学位,研究方向为果蔬采后生理及贮藏保鲜技术。通信地址:030031 山西省农科院农产品贮藏保鲜研究所,山西太原农科北路16号,山西省农科院农产品贮藏保鲜研究所, Tel: 0351-7126730(办公), E-mail: zhaoyingli@hotmail.com。

**收稿日期:**2009-04-23, **修回日期:**2009-05-21。

后贮藏于 $0\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温冷库。定期取样测定果皮的多酚氧化酶活性(PPO)、酚类物质含量、相对电导率及丙二醛(MDA)含量,果实的可溶性固形物含量及可滴定酸含量,并观察贮藏效果,统计失重率、褐变指数、冷害指数、好果率。

### 1.2 测定项目和方法

可溶性固形物含量:以手持折光仪测定,单位以%计。

可滴定酸含量:碱滴定法,单位以%计。

果皮相对电导率:采用 DDS-11D 型电导仪测定,单位以%计。

果皮丙二醛含量:硫代巴比妥酸法测定,单位以 mmol/g FW。

果皮酚类物质含量:Folin 酚法,单位以 mg/g 计。

果皮多酚氧化酶活性:参照陈昆松<sup>[8]</sup>方法,单位以 0.01OD/(mg·min)计。

果皮褐变指数:据果面上褐变程度确定。颜色正常为0级,1/4以下面积褐变为1级,1/4~1/2为2级,1/2

以上为3级。检查结果按下列公式计算。

$$\text{果皮褐变指数} = \frac{\sum(\text{褐变果数} \times \text{褐变级别})}{\text{总果数} \times \text{最高褐变级别}}$$

果皮冷害指数:据果面上冷害斑程度确定。正常为0级,1/4以下冷害面积为1级,1/4~1/2为2级,1/2以上为3级。检查结果按下列公式计算。

$$\text{果皮冷害指数} = \frac{\sum(\text{冷害果数} \times \text{冷害级别})}{\text{总果数} \times \text{最高冷害级别}}$$

好果率:定期观察贮藏效果,统计好果(无褐变、无冷害、无腐烂)所占的比例,单位以%计。

## 2 结果分析

### 2.1 缓慢降温对果实贮藏品质及冷害发生的影响

石榴果实采后可溶性固形物与可滴定酸含量均呈递减的趋势(表1)。缓慢降温处理对果实采后的可滴定酸及可溶性固形物含量的影响不大,而果实的失重相对较高,达到了2.01%,这与前期贮藏环境温度较高,果实代谢较低温( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )贮藏旺盛有关。

$0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下的果实在贮藏4周后表面出现轻微凹陷

表1 缓慢降温对果实贮藏品质的影响

处理	可溶性固形物/%		可滴定酸/%		冷害指数		褐变指数		失重率/%	好果率/%
	初始	贮藏16周	初始	贮藏16周	贮藏8周	贮藏16周	贮藏8周	贮藏16周	贮藏16周	贮藏16周
$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	14.6	14.4	2.027	1.12	0.331	0.637	0.150	0.402	0.86	52.6%
缓慢降温	14.6	14.2	2.027	1.24	0	0.043	0.012	0.107	2.01	87.5%

班,而后日趋严重,至第8周时表面凹陷连成大面积褐色斑块,白色隔膜也出现轻微褐变,冷害指数达到了0.33;与 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相比,贮藏至16周后,缓慢降温显著的抑制了果实冷害的发生,冷害指数仅为对照果实的22.50%。

石榴果实采后极易褐变,不同处理石榴果实的褐变指数均随贮藏时间的延长而呈上升趋势,贮藏前期的 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的石榴果实褐变程度较轻,随着贮期延长,不适的低温对果实造成了伤害,果皮褐变指数在贮藏16周后达到了0.402;缓慢降温有效的降低了果实的冷感性,其褐变指数16周时仅为0.107,并且显著的提高了石榴贮藏效果,好果率达到了87.5%(表1)。

### 2.2 缓慢降温对果实细胞膜透性及丙二醛含量的影响

果实在衰老或发生冷害时细胞膜的流动性和完整性受到破坏,膜透性增大。如图1所示,贮藏前期,缓慢降温处理和 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏石榴果皮细胞膜透性逐渐增加,在4周后, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的持续低温对石榴的细胞膜系统产生了伤害,其果皮相对电导率增幅变大,12周时达到了23.20%,这时石榴的冷害症状已经表现的很明显。缓慢降温处理延缓了膜透性的增加,12周时石榴果皮

相对电导率较 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的低27.58%,有效延缓石榴果实冷害的发生,并减轻果实冷害发生程度。

逆境胁迫使植物自由基产生和清除的平衡系统遭到破坏,导致膜脂的过氧化加剧,脂质过氧化产物MDA的累积的程度可以反映细胞膜系统受到伤害的程度。由图2看出,贮藏前期,缓慢降温处理和 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的石榴果皮的MDA含量开始缓慢积累,贮藏至8周时, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的石榴果皮的MDA累积水平呈明显的上升趋势,比贮藏初始指标高出38%,说明此时的膜系统遭到了严重的破坏。与 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理相比缓慢降温处理减轻了膜脂过氧化程度,MDA含量积累较缓慢。相关性分析表明,贮藏期间MDA含量与细胞膜透性变化呈正相关( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冷藏 $r=0.9397$ ,缓慢降温 $r=0.7712$ )。

### 2.3 缓慢降温对果实多酚氧化酶活性、酚类物质含量的影响

缓慢降温处理和 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 贮藏的石榴果皮的多酚氧化酶活性均呈现出先升后降的趋势(图3), $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下贮藏的石榴果皮的PPO活性在贮藏8周后达到了峰值,随后下降。缓慢降温处理有效的延缓了石榴果皮PPO活性的增长,并降低了其PPO活性高峰。

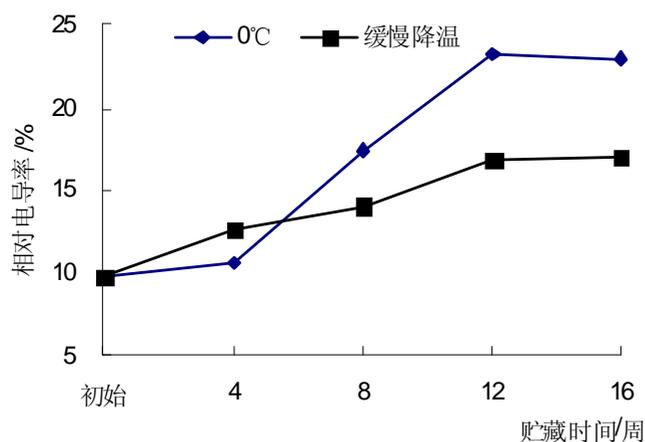


图1 缓慢降温对石榴冷藏期间细胞膜透性的影响

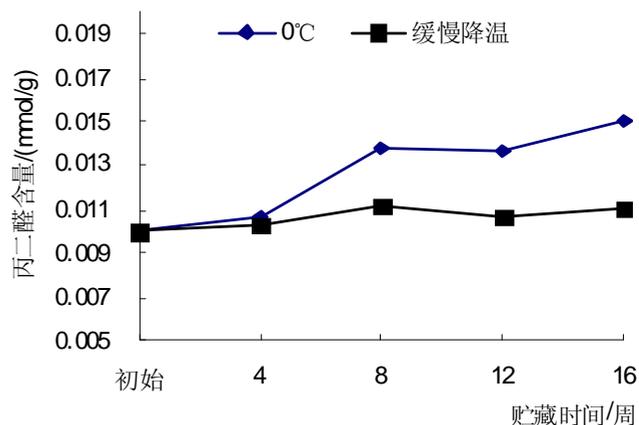


图2 缓慢降温对石榴冷藏期间丙二醛含量的影响

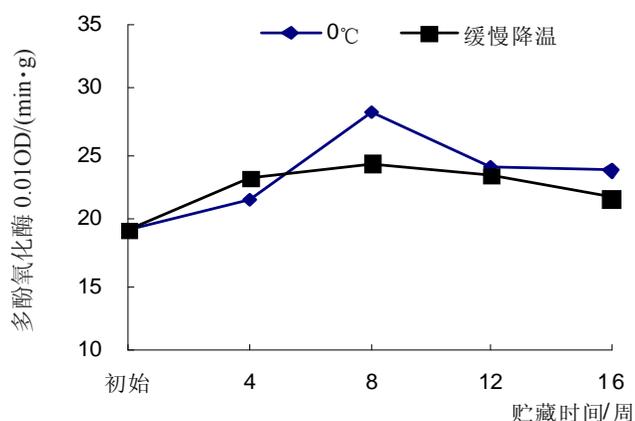


图3 缓慢降温对石榴冷藏期间多酚氧化酶活性的影响

酚类物质是果蔬酶促褐变的底物,如图4所示,缓慢降温处理和0℃贮藏石榴果皮的酚类物质在贮藏前期小幅上升后,4周后0℃贮藏石榴果皮的酚类物质在开始迅速下降,12周时达到最小值,此时石榴的褐变指数也急剧增大,而这种变化主要是由于冷害破坏了果实的细胞膜结构的完整性,区域化被打破,作为底物的酚类物质酶促氧化,从而使果实发生褐变。与0℃贮藏,缓慢降温处理减缓了石榴果皮酚类物质氧化降解的速度,贮藏后期酚类物质呈缓慢下降的趋势。

### 3 讨论

石榴对冷害较为敏感,冷害的发生和发展程度依贮藏温度和持续时间而定,且伴随着石榴果实表面凹陷、表皮褐变等冷害症状。这种由于贮藏温度过低而引起的褐变,与衰老、机械伤、不适宜的气体成分等胁迫因子引起的石榴果皮褐变症状很难区分,褐变一旦发生,其诱发因素就很难确定。

研究发现,0℃下,果实在贮藏8周时表面凹陷连成大面积褐色斑块,贮藏后期,冷害发展严重时,内部症状表现为,籽粒发白,白色隔膜褐变,并且冷害部位果皮组织开始坏死并滋生病菌。这是区别于其他因素

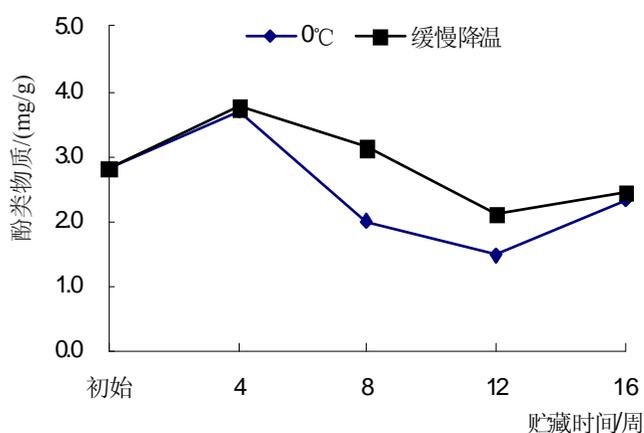


图4 缓慢降温对石榴冷藏期间酚类物质含量的影响

引起石榴果皮褐变发生的主要症状。从石榴果实的生理测定指标与贮藏品质中发现,膜脂过氧化产物MDA及细胞膜透性的变化均发生在冷害症状之前,果实在冷害温度下的褐变过程中,首先是由于果实内部生理的变化,其次才是果实外观症状的表现。0℃的低温会导致细胞膜完整性的破坏,膜脂过氧化作用增强<sup>[9-10]</sup>,细胞区域化分布被打破,导致为PPO及其底物提供了接触机会,利于褐变反应的进行,最终导致冷害的发生和加剧。因此低温胁迫下上述生理变化可以作为预测石榴果实冷害发生的生理指标,且结合果实外观症状可以作为区分褐变诱因的主要手段。

缓慢降温过程是逐渐适应低温防止冷害发生的冷锻炼过程,但就其对果实冷害生理的影响报道甚少且观点各异。张银志对黑琥珀李低温胁迫的生理特性研究发现,逐步降温处理在贮藏后期与0℃冷藏均有明显冷害症状,贮藏末期果肉褐变风味劣变,冷害相当严重,并且伴随果胶质代谢紊乱,细胞壁快速降解<sup>[11]</sup>。闫师杰对缓慢降温对鸭梨贮藏中褐变的影响研究表明,缓慢降温明显提高了早采果果肉和果心的可溶性蛋白、亚油酸、亚麻酸含量和不饱和脂肪酸与饱和脂肪

酸比值(U/S)值,降低了鸭梨果心的相变温度,提高了鸭梨果实的抗性;且缓慢降温延缓了果实 LOX, PPO 活性的升高,脯氨酸、 $H_2O_2$ ,  $O_2\cdot$  自由基的积累和膜脂过氧化,从而很好抑制了早采果实的褐变<sup>[12]</sup>。试验中,与 0 °C 的低温相比,缓慢降温处理减缓果皮细胞膜透性的升高以及膜脂质过氧化物 MDA 的积累,抑制了 PPO 活性及减少了酚类物质的氧化,明显推迟和减轻石榴果实冷害症状的发生,减轻了果皮的褐变,保持果实品质。但对于冷敏性的石榴果实在缓慢降温中其膜脂组分的变化及对自由基清除系统影响的研究还有待深入。

### 参考文献

- [1] Gil, M.I., Tom'as-Barber'an, F.A., Hess-Pierce, B. et al. Antioxidant activity of pomegranate juice and its relationship with phenolic composition and processing[J]. *J. Agric. Food Chem.* 2000, 48:4581 - 4589.
- [2] Chung, C.P., Park, J.B., Bae, K.H. Pharmacological effect of methanolic extract from the foot of *Scutellaria baicalensis* and its flavonoids on human gingival fibroblasts. *Planta Med.* 1995, 61(2):15.
- [3] Ben-Arie, R., Or, E. Development and control of husk scald on Wonderful pomegranate fruit during storage[J]. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 1986, 111:395 - 399.
- [4] Elyatem, S.M., Kader, A.A. Post-harvest physiology and storage behaviour of pomegranate fruits[J]. *Scientia Hort.* 1984, 24:287 - 298.
- [5] 潘永贵,李正国.变温处理降低黄瓜果实冷害机理研究[J]. *西南农业大学学报*, 2002, 24(2):121-123.
- [6] 戴宏芬,季作梁,张昭其.间歇升温对芒果果实冷害及谷胱甘肽、抗坏血酸代谢的影响[J]. *华南农业大学学报*, 1999, 20(2):51-54.
- [7] 吴光斌,陈发河,张其标,等.热激处理对冷藏枇杷果实冷害的生理作用[J]. *植物资源与环境学报*, 2004, 13(2):1 - 5.
- [8] 陈昆松,于梁,周山涛.鸭梨果实气调贮藏过程  $CO_2$  伤害机理初探[J]. *中国农业科学*, 1991, 24(5):83-88.
- [9] 陆旺金,张昭其,季作梁.热带、亚热带果蔬低温贮藏及御冷技术[J]. *植物生理学通讯*, 1991, (2):158-163.
- [10] 王毅.园艺植物冷害和抗冷性的研究—文献综述[J]. *园艺学报*, 1994, 21(3):239-244.
- [11] 张银志,孙秀兰,刘兴华,等.低温胁迫和变温处理对李子生理特性的影响[J]. *食品科学*, 2003, 24(2):134-138.
- [12] 闫师杰.鸭梨采后果实褐变的影响因素及发生机理的研究[D].北京:中国农业大学, 2005:66-75.