

# 不同低温贮藏对砀山酥梨货架期组织褐变和品质的影响

王志华, 姜云斌, 王文辉\*, 杭 博, 杜艳民, 佟 伟, 贾晓辉

(中国农业科学院果树研究所, 辽宁兴城 125100)

**摘 要:** 以山西太谷和临猗地区的砀山酥梨果实为材料, 研究了 -1、0、1.5 和 5 °C 低温对贮藏后 20 °C 货架期砀山酥梨虎皮病、果心褐变以及果实品质的影响。结果表明: 砀山酥梨虎皮病主要出现在低温贮藏后期(200 d 以后)出库的货架期果实上, 而且贮藏温度越低, 货架期间虎皮病越严重。在 -1 和 5 °C 贮藏条件下砀山酥梨的果心褐变指数明显高于 0 和 1.5 °C。0 和 1.5 °C 能较好保持果实的硬度和可溶性固形物含量, 保持果实较好的口感和风味; 5 °C 果实硬度最低, 腐烂率最高; -1 °C 虽然可以降低果实的腐烂率, 但贮藏后期果实硬度和可溶性固形物含量下降, 果实风味异常。山西太谷和临猗两个地区生产的砀山酥梨在不同低温条件下品质变化规律基本一致。研究结果表明, 酥梨中长期贮藏温度以 0~1.5 °C 为宜, 中短期贮藏(120 d 之内)可采用 1.5~5 °C。

**关键词:** 梨; 贮藏; 低温; 货架期; 虎皮病; 果心褐变; 品质

**中图分类号:** S 661.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2014) 12-2393-09

## Effects of Different Low Storage Temperatures on Tissue Browning and Quality of ‘Dangshan Suli’ Pears During Shelf-life

WANG Zhi-hua, JIANG Yun-bin, WANG Wen-hui\*, HANG Bo, DU Yan-min, TONG Wei, and JIA Xiao-hui

(*Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng, Liaoning 125100, China*)

**Abstract:** The effects of cold storage temperature (-1, 0, 1.5 and 5 °C) on superficial scald, core browning and fruit quality of ‘Dangshan Suli’ pears (shelf-life at 20 °C) harvested from Taigu and Linyi districts in Shanxi Province were investigated. The results showed that the superficial scald was mainly detected during shelf-life at 20 °C after 200 days cold storage, and the lower the storage temperature, the worse the superficial scald disease. The core browning index of fruit stored at -1 °C and 5 °C was obviously higher than that at 0 °C and 1.5 °C. The fruit firmness and soluble solids content (SSC) kept well when stored at 0 °C and 1.5 °C, as well as the taste and flavor. For the fruit stored at 5 °C, the fruit firmness was the lowest and the decay rate was the highest. While for that stored at -1 °C, the fruit firmness and SSC decreased, and the fruit flavor became worse, although the decay rate declined. The effects of low temperature on fruit quality of ‘Dangshan Suli’ pears harvested from Taigu and Linyi were

收稿日期: 2014-07-15; 修回日期: 2014-10-24

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201303075); 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-29-19)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wangwenhui@caas.cn)

consistent. The research indicated that the optimum temperature was 0 – 1.5 °C for long time storage and 1.5 – 5 °C for short time storage (120 days or less), respectively.

**Key words:** pear; storage; low temperature; shelf-life; superficial scald; core browning; quality

砀山酥梨 (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) 贮藏中后期 (春节前后至翌年 4 月份左右) 以及出库后货架销售期间会出现果实腐烂 (如青霉病等侵染性病害) 以及组织褐变 (如虎皮病和果心褐变等生理性病害) 等问题。近年来, 砀山酥梨的贮藏保鲜报道多集中在保鲜剂处理和采收期上, 采用的贮藏温度主要是生产上的经验温度 0 °C 左右, 有关砀山酥梨贮藏的精准温度缺少较系统研究。尽管低温贮藏能够有效抑制果实呼吸作用, 减少乙烯释放, 延缓衰老, 延长保鲜期 (马海军, 2007; 高雪 等, 2011), 但不适宜的低温会引起果实贮藏期及货架期果皮 (胡位荣 等, 2004)、果心 (王志华 等, 2009) 和果肉 (寇莉苹, 2001) 组织的褐变, 果实细胞膜透性、呼吸速率和乙烯释放量异常升高 (赵华 等, 1992; 周云 等, 1997; 罗自生和席玟芳, 2005), 在桃上甚至出现不能正常软化 (王贵禧 等, 2005) 等问题。因此, 研究不同贮藏温度对货架期酥梨果实组织褐变和品质及风味的影响对实际生产具有重要的指导意义。

本试验对山西太谷和临猗地区生产的砀山酥梨贮藏适温和冷藏后货架期组织褐变和品质变化进行较为系统地研究, 以期确定适宜的贮藏温度, 为冷藏和冷链运输技术体系提供理论依据和技术参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与处理

供试材料为 ‘砀山酥梨’ (套袋) 果实 (共进行两年, 3 批试验)。分别于 2010 年和 2011 年的 9 月 21 日采自山西太谷 (采自同一个果园, 树龄 10 年, 采收时硬度分别为 5.62 和 5.88 kg · cm<sup>-2</sup>, 可溶性固形物含量分别为 12.64% 和 12.95%); 2011 年 9 月 11 日采自山西临猗 (树龄 15 年, 采收时硬度为 5.80 kg · cm<sup>-2</sup>, 可溶性固形物含量为 11.80%)。两个地区的果园栽培条件和日常管理基本一致, 均为常规生产管理。

果实采收后运回中国农业科学院果树研究所 (辽宁兴城), 选大小均匀、无病虫害、无机械伤的果实进行不同低温处理。

共设 4 种低温处理: -1、0、1.5 和 5 °C, 温度变幅控制在 0.5 °C 以内, 相对湿度均为 90% ~ 95%。2010 年每种温度处理每次重复用果量为 150 个, 3 次重复, 贮藏 150、210 和 270 d 后取出; 2011 年每种温度处理每次重复用果量为 60 个, 3 次重复, 贮藏 200 d 后取出, 在 20 °C 货架期 (2010 年 9 d, 2011 年 7 d) 观察测定。

### 1.2 测定方法

#### 1.2.1 病害指标

果实虎皮病: 根据果实虎皮面积占整个果实总面积的百分比分为 4 级。0 级: 无虎皮现象发生; 1 级: 虎皮面积 ≤ 25%; 2 级: 虎皮面积为 25% ~ 50%; 3 级: 虎皮面积 > 50%。虎皮病指数 =  $[\sum (\text{虎皮级数} \times \text{该级果数}) / (\text{调查总果数} \times 3)] \times 100$ 。虎皮病果率 (%) = (虎皮病果数 / 调查总果数) × 100。

果心褐变: 参考王文辉等 (2005) 的方法, 分为 5 级。0 级: 果心无褐变; 1 级: 果心有轻微

褐斑；2 级：果心 1/3 左右变褐；3 级：果心 2/3 左右变褐；4 级：整个果心全部褐变。果心褐变指数 =  $[\sum (\text{褐心级数} \times \text{该级果数}) / (\text{调查总果数} \times 4)] \times 100$ 。果心褐变率 (%) = (果心褐变果数/调查总果数)  $\times 100$ 。

果实腐烂（指真菌病害引起的腐烂）：腐烂率 (%) = (腐烂果数/调查总果数)  $\times 100$ 。

每个处理每次重复调查 30 个果实，3 次重复共 90 个果实。

### 1.2.2 品质指标

果皮色差：采用 CR-400 色差计（日本，MINOLTA 公司）测定。 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  色度空间模式，漫射照明，0° 观察角，测量直径 8 mm，D65 光源，白色标准色校准。在“CIE Lab”表色系统中， $L^*$  值越大，果皮颜色越亮； $a^*$  值负值越小越偏向绿色； $b^*$  值正值越大越偏向黄色； $h^\circ$ （色调角）越大表示果皮色泽绿， $h^\circ$  值小表示果皮变黄。

果肉硬度（去皮）采用 GS-15 水果质地分析仪（南非，GUSS 公司）测定。果肉可溶性固形物含量（SSC）采用 PR-101 $\alpha$  折糖仪（日本，ATAGO 公司）测定。

每个处理每次重复取 20 个果实，3 次重复共 60 个果实，每个果实在赤道线相反方向取两个点进行单果测定。

### 1.2.3 生理指标

乙醇含量：采用 GC-2010 气相色谱仪（日本，岛津公司）测定；组织膜透性（相对电导率）：采用 DDS-320 电导仪（上海，康仪公司）测定。每个处理每次重复用果 20 个，3 次重复。

## 1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 处理，用 STATGRAPHICS Plus 统计软件对数据进行差异显著性分析。所有数据均为 3 次重复的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 低温贮藏对砀山酥梨果实组织褐变和采后生理的影响

#### 2.1.1 果心褐变和虎皮病

两年的调查结果（表 1）表明，来自太谷的砀山酥梨果实 2010 年贮藏 210 d 以及 2011 年贮藏 200 d 和 200 d + 7 d 货架期时，未出现果心褐变；但在 210 d + 9 d 货架期时，4 种温度处理果实的果心均发生了不同程度的褐变，0 °C 和 1.5 °C 相对较轻；在贮藏 270 d 和 270 d + 9 d 时，不同温度处理的砀山酥梨果实果心褐变均明显加重，即使程度最轻的 0 °C 贮藏的果实果心褐变指数都超过了 30，果心褐变率超过了 50%，严重影响了商品价值。来自临猗的砀山酥梨在 -1、0、1.5 和 5 °C 处理下，果实贮藏 200 d 时就出现果心褐变；在 200 d + 7 d 货架期时，4 种温度处理的果实果心褐变指数和褐变率进一步升高、褐变加重。但是，在 0 °C 和 1.5 °C 贮藏的果实果心褐变指数和果心褐变率都显著低于 -1 °C 和 5 °C 处理（表 1）。

在 2010 年，来自太谷的果实在不同温度下贮藏至 270 d 时均未发生虎皮病，但是在随后的 9 d 货架期发生了不同程度的虎皮病；在 2011 年，两个地区果实在贮藏 200 d 时，-1 °C 和 0 °C 果实都发生了轻微虎皮病，而 1.5 °C 和 5 °C 未发生；在 200 d + 7 d 货架期时，虎皮病进一步发展（表 2）。综合分析两年、两个地区砀山酥梨果实在不同温度下的贮藏情况及货架期表现，发现贮藏温度越低，出库后 20 °C 货架期果实虎皮病越严重。

表 1 不同低温贮藏对砀山酥梨果实果心褐变的影响

Table 1 Effect of different low storage temperature on core browning of ‘Dangshan Suli’ pears

年份 Year	产地 Origin	温度/ ℃ Temp.	不同贮藏天数的果心褐变指数						不同贮藏天数的果心褐变率/%					
			Core browning index of difference storage days						Core browning rate of difference storage days					
			200	200 + 7*	210	210 + 9*	270	270 + 9*	200	200 + 7*	210	210 + 9*	270	270 + 9*
2010	太谷 Taigu	-1			0	15.0 a	45.3 a	54.4 a			0	40.0 a	90.0 a	100.0 a
		0			0	7.0 b	30.6 b	39.5 b			0	10.0 b	50.0 b	55.3 b
		1.5			0	3.0 b	35.3 b	39.2 b			0	13.0 b	56.5 b	60.0 b
		5			0	14.5 a	41.0 a	49.0 a			0	35.3 a	95.3 a	100.0 a
2011	太谷 Taigu	-1	0	0					0	0				
		0	0	0					0	0				
		1.5	0	0					0	0				
		5	0	0					0	0				
	临猗 Linyi	-1	25.0 a	40.0 a					60.0 a	85.0 a				
		0	12.5 b	20.5 c					30.0 b	40.0 c				
		1.5	10.5 b	18.0 c					25.0 b	45.0 c				
		5	20.5 a	32.5 b					55.0 a	70.0 b				

注：\* 表示低温贮藏后常温 20 ℃ 条件下放置的天数。同一列不同小写字母表示不同处理间差异显著（ $P < 0.05$ ）。下同。

Note: \* denotes the loaded days of fruits at 20 ℃ after cold storage. Different lowercase letters in the same column indicate the significant differences among various treatments at 0.05 level. The same below.

表 2 不同低温贮藏对砀山酥梨果实虎皮病的影响

Table 2 Effect of different low storage temperature on superficial scald of ‘Dangshan Suli’ pears

年份 Year	产地 Origin	温度/ ℃ Temp.	不同贮藏天数的虎皮病指数						不同贮藏天数的虎皮病果率/%					
			Superficial scald index of difference storage days						Superficial scald rate of difference storage days					
			200	200 + 7*	210	210 + 9*	270	270 + 9*	200	200 + 7*	210	210 + 9*	270	270 + 9*
2010	太谷 Taigu	-1			0	20.0 a	0	32.0 a			0	60.0 a	0	90.0 a
		0			0	11.0 b	0	20.0 b			0	40.2 b	0	60.0 b
		1.5			0	3.0 c	0	13.0 c			0	10.3 c	0	30.2 c
		5			0	1.0 c	0	5.0 d			0	7.0 c	0	15.0 d
2011	太谷 Taigu	-1	7.0 a	36.7 a					20.0 a	80.0 a				
		0	5.0 a	20.7 b					15.0 a	50.0 b				
		1.5	0	10.3 c					0.0	25.0 c				
		5	0	5.0 d					0.0	10.0 d				
	临猗 Linyi	-1	10.0 a	46.0 a					25.0 a	95.0 a				
		0	5.0 a	30.1 b					20.0 a	70.0 b				
		1.5	0	20.5 c					0.0	40.0 c				
		5	0	8.0 d					0.0	20.3 d				

2.1.2 乙醇含量和细胞膜透性

从图 1 可以看出，随着贮藏时间的延长，4 种温度处理的果实乙醇含量均呈逐渐升高的趋势，与采收时的乙醇含量（ $5.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）相比，-1 ℃ 升高幅度最大，其次为 5 ℃。无论冷藏还是相应的 9 d 货架期，0 ℃ 和 1.5 ℃ 的果实乙醇含量，明显低于 -1 ℃ 和 5 ℃（ $P < 0.05$ ）。0 ℃ 和 1.5 ℃ 果实在 210 d 和 210 d + 9 d 货架期，两者差异达到显著水平（ $P < 0.05$ ），其余时间差异不显著。-1 ℃ 和 5 ℃ 果实在 150 d 和 210 d 以及相应的 9 d 货架期，两者差异不显著，但贮藏 270 d 和 270 d + 9 d 货架期时，-1 ℃ 果实的乙醇含量明显高于 5 ℃（ $P < 0.05$ ）。

细胞膜透性的高低在一定程度上反映了细胞受伤害的状况。从图 2 可以看出，4 种低温处理的果实相对电导率都随贮藏时间的延长而上升，与采收时的相对电导率（35.26 %）相比，-1 ℃ 和 5 ℃ 的果实相对电导率上升幅度较大，与乙醇含量的变化规律基本一致。无论冷藏还是相应的 9 d 货架期，0 ℃ 和 1.5 ℃ 相对电导率明显低于 -1 ℃ 和 5 ℃（ $P < 0.05$ ），-1 ℃ 和 5 ℃ 间差异不显著，0 ℃ 和 1.5 ℃ 间差异不显著。表明了较长的贮藏时间内，不适宜的低温（-1 ℃，低温伤害）和相对高的温度（5 ℃）导致细胞内膜遭到破坏，细胞膜透性增大，导致组织褐变。

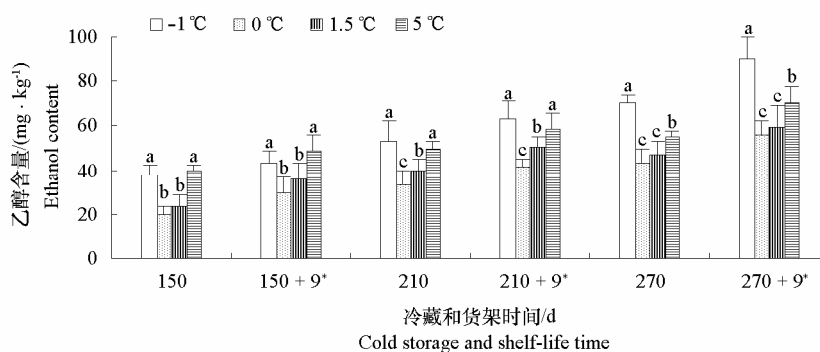


图1 不同低温贮藏对砀山酥梨果实乙醇含量的影响

\*表示低温贮藏后常温 20 °C 条件下放置的天数。图中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Fig. 1 Effect of low storage temperature on ethanol contents of 'Dangshan Suli' pears

\* denotes the loaded days of fruits at 20 °C after cold storage. Different lowercase letters indicate the significant differences among various treatments at 0.05 level.

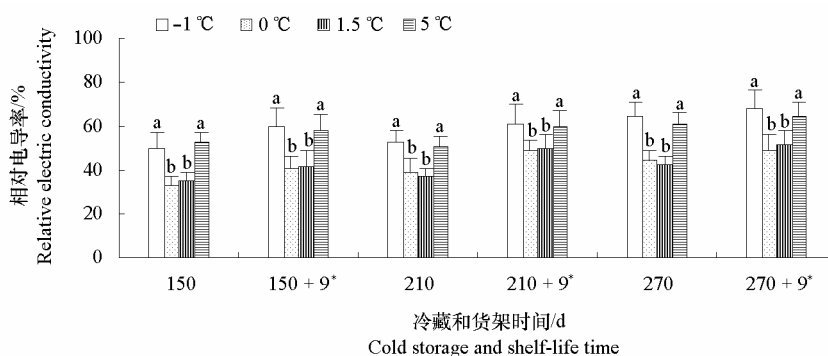


图2 不同低温贮藏对砀山酥梨果实相对电导率的影响

\*表示低温贮藏后常温 20 °C 条件下放置的天数。图中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Fig. 2 Effect of low storage temperature on relative electric conductivity of 'Dangshan Suli' pears

\* denotes the loaded days of fruits at 20 °C after cold storage. Different lowercase letters indicate the significant differences among various treatments at 0.05 level.

## 2.2 低温贮藏对砀山酥梨果实品质和保鲜效果的影响

### 2.2.1 果皮颜色

从图3可以看出,砀山酥梨于-1 °C和0 °C贮藏后的 $a^*$ 值明显低于1.5 °C和5 °C ( $P < 0.05$ );  $b^*$ 值和 $h^*$ 明显高于1.5 °C和5 °C ( $P < 0.05$ );  $L^*$ 值低于或明显低于1.5 °C和5 °C ( $P < 0.05$ )。

综合4个颜色指标以及感官观察,发现砀山酥梨果实经4种低温贮藏150、210和270 d出库后相应的20 °C货架期,-1 °C贮藏的果实果皮颜色偏绿,不能正常转黄( $a^*$ 值低、 $h^*$ 高),0 °C贮藏的大部分果实果皮颜色也不能正常转黄,这两种低温贮藏果实的果皮颜色都发暗( $L^*$ 值低);1.5 °C和5 °C贮藏的果实果皮颜色亮( $L^*$ 值高)、黄色褪去( $b^*$ 值低),底色呈现浅白色。

对贮藏210 d + 9 d货架期时砀山酥梨的果皮颜色( $L^*$ 值、 $a^*$ 值、 $b^*$ 值和 $h^*$ )与虎皮病指数进行相关性分析,发现虎皮病指数与 $a^*$ 值和 $L^*$ 值有负相关性,相关系数分别为-0.9628\* ( $P < 0.05$ )和0.9457,与 $h^*$ 和 $b^*$ 值有正相关性,相关系数分别为0.9667\* ( $P < 0.05$ )和0.9230。因此采用色差计可预测虎皮病发病情况。

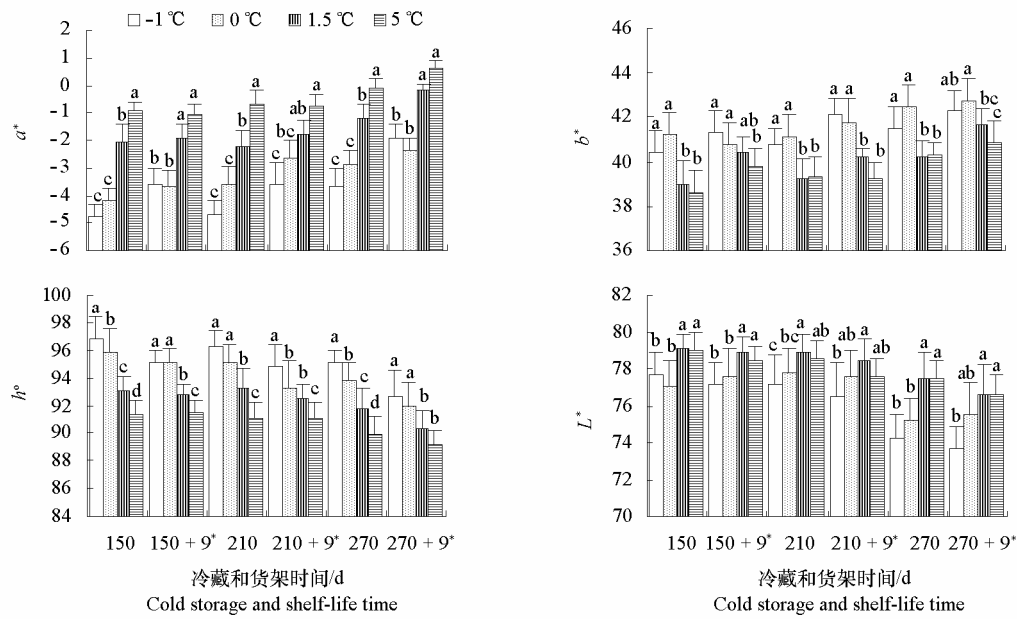


图3 不同低温贮藏对砀山酥梨果实果皮颜色的影响

\*表示低温贮藏后常温 20 °C 条件下放置的天数。图中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Fig. 3 Effect of different low storage temperature on peel color of 'Dangshan Suli' pears

\* denotes the loaded days of fruits at 20 °C after cold storage. Different lowercase letters indicate the significant differences among various treatments at 0.05 level.

2.2.2 果实硬度和可溶性固形物含量 (SSC)

由表 3 可以看出, 2010 年来自太谷的砀山酥梨贮藏 150、210 和 270 d 以及相应的 20 °C 货架期, 0 °C 和 1.5 °C 的果实硬度差异均不显著; 贮藏 270 d 和 270 d + 9 d 时, -1 °C 的果实硬度显著低于 0 °C 和 1.5 °C, 但在贮藏 150 d 和 210 d 以及相应的 9 d 货架期, -1 °C 与 0 °C 差异不显著 ( $P < 0.05$ )。在 2011 年, 贮藏 200 d 时, 两个地区都表现为 -1 °C 和 0 °C 的果实硬度显著高于 1.5 °C 和 5 °C, 但 200 d + 7 d 货架期时, -1 °C、0 °C 和 1.5 °C 的果实硬度差异不显著。两年的结果表明, 5 °C 的果实硬度始终保持最低。

表 3 不同低温贮藏对砀山酥梨果实硬度的影响

Table 3 Effect of different low storage temperature on firmness of 'Dangshan Suli' pears

kg · cm<sup>-2</sup>

年份 Year	产地 Origin	温度/°C Temperature	贮藏天数 Days of storage							
			150	150 + 9*	200	200 + 7*	210	210 + 9*	270	270 + 9*
2010	太谷 Taigu	-1	5.21 a	4.75 a			4.72 a	4.43 a	4.09 b	4.00 b
		0	5.20 a	4.60 ab			4.57 ab	4.41 a	4.60 a	4.76 a
		1.5	5.10 ab	4.34 b			4.35 b	4.30 a	4.45 a	4.69 a
		5	4.75 b	3.97 c			3.84 c	3.95 b	3.70 c	3.87 c
2011	太谷 Taigu	-1			5.31 a	5.22 a				
		0			5.54 a	5.23 a				
		1.5			5.08 b	5.05 a				
		5			4.86 b	4.69 b				
	临猗 Linyi	-1			4.68 a	4.77 a				
		0			4.84 a	4.62 a				
		1.5			4.39 b	4.55 a				
		5			4.11 b	4.00 b				

由表 4 可以看出，2010 年来自太谷的砀山酥梨果实贮藏 150 d 和 150 d + 9 d 货架期时，4 种温度处理的果实 SSC 差异不显著，但随着贮藏时间的延长，在 210 d 和 270 d 以及相应的 9 d 货架期，- 1 ℃的果实 SSC 下降明显，显著低于其他 3 个温度（ $P < 0.05$ ）。

表 4 不同低温贮藏对 2010 年山西太谷砀山酥梨果实可溶性固形物含量的影响  
Table 4 Effect of different low storage temperature on SSC of ‘Dangshan Suli’ pears %

温度/℃ Temperature	贮藏天数 Days of storage					
	150	150 + 9 <sup>*</sup>	210	210 + 9 <sup>*</sup>	270	270 + 9 <sup>*</sup>
- 1	12.5 a	12.7 a	11.2 b	11.0 c	10.9 b	10.3 c
0	12.9 a	12.3 a	12.4 a	12.6 ab	11.9 a	12.0 b
1.5	12.6 a	12.7 a	12.2 a	12.1 b	12.3 a	11.8 b
5	12.2 a	12.8 a	12.6 a	13.1 a	12.0 a	12.8 a

2.2.3 果实腐烂率

从表 5 可以看出，2010 年来自太谷的砀山酥梨果实贮藏时间越长，腐烂率越高，270 d 货架期时，- 1 ℃和 0 ℃的果实腐烂率仅为 5%，而 1.5 ℃和 5 ℃的腐烂率达到了 15%以上；2011 年两个地区果实贮藏 200 d 和 200 d + 7 d 货架期时，也表明了相对低的温度能明显抑制果实的腐烂。2011 年的结果还表明了临猗产的砀山酥梨果实的腐烂率高于对应贮藏温度下太谷产的砀山酥梨。

表 5 不同低温贮藏对砀山酥梨果实腐烂率的影响  
Table 5 Effect of different low storage temperature on decay rate of ‘Dangshan Suli’ pears %

年份 Year	产地 Origin	温度/℃ Temperature	贮藏天数 Days of storage							
			150	150 + 9 <sup>*</sup>	200	200 + 7 <sup>*</sup>	210	210 + 9 <sup>*</sup>	270	270 + 9 <sup>*</sup>
2010	太谷	- 1	0	0			3.0 b	5.0 c	5.0 b	12.2 c
		0	3.3 b	3.3 b			3.5 b	5.0 c	5.0 b	10.1 c
		1.5	3.3 b	4.5 b			10.0 a	13.3 b	15.6 a	22.7 b
		5	7.8 a	10.0 a			10.5 a	20.5 a	20.0 a	43.3 a
2011	太谷	- 1			0	5.0 c				
		0			0	8.0 c				
		1.5			0	25.0 b				
		5			10.0	35.0 a				
	临猗	- 1			0	10.0 c				
		0			0	15.0 c				
		1.5			10.0 b	40.0 b				
		5			20.0 a	60.0 a				

2.2.4 果实风味

太谷产的砀山酥梨 2010 年贮藏 210 d 和 2011 年贮藏 200 d 以及相应的货架期，0 ℃和 1.5 ℃的果实口感和风味保持较好，- 1 ℃和 5 ℃的果实有轻微的异味；随着贮藏时间的延长，贮藏 270 d 时，0 ℃和 1.5 ℃的果实风味有所下降，但无异味。临猗产的砀山酥梨贮藏 200 d 时，仅有 0 ℃的果实风味正常，1.5 ℃的个别果实有异味，- 1 ℃和 5 ℃的果实异味浓，而且有苦味。

3 讨论

3.1 贮藏温度与虎皮病的关系

虎皮病在冷藏条件下一般是不易发生的，主要发生在货架期。本试验中，两年试验结果表明，砀山酥梨在不同低温贮藏 200、210 和 270 d 以及相应的 20 ℃货架期，虎皮病指数由高到低对应的

贮藏温度依次为 -1、0、1.5、5 °C，表明贮藏温度越低，货架期虎皮病越严重。胡小松等（2004）在苹果的试验中也发现虎皮病的发生与贮藏温度有关，长期的低温贮藏对虎皮病的发生有明显的诱导作用，贮藏温度越低，虎皮病指数越高，发病时间越早，而相对高的贮藏温度抑制了  $\alpha$ -法尼烯的合成和氧化，从而抑制了虎皮病的发生。

### 3.2 贮藏温度与果实采后生理及品质的关系

一般认为，低温贮藏可以很好地保持果品的品质，降低果品的呼吸作用。但贮藏温度过低，会使果实的生理代谢失调（赵华 等，1992；周云 等，1997），果实中积累乙醇和乙醛等物质（寇莉苹，2001），果肉出现异味甚至苦味（庞学群 等，2008），最终导致组织褐变。Kweon 等（2013）的研究表明富士苹果贮藏 180 d，0 °C 处理的果肉褐变率高于 2 °C。本试验中，随着贮藏时间的延长，20 °C 货架期 4 种低温处理的砀山酥梨果实乙醇含量逐渐升高，表明果实衰老进程加快，其中以 -1 °C 贮藏的果实升高幅度最大，而且果肉硬度下降明显，果实有异味，表明 -1 °C 长期贮藏的果实生理代谢紊乱，受到低温伤害，造成品质劣变。这种生理代谢的异常变化早于组织褐变出现的时间。

Lyons（1973）认为，低温下由于细胞膜发生相变，导致细胞膜透性增加，细胞中电解质渗漏增大。砀山酥梨在 -1 °C 低温贮藏条件下膜透性的异常增大和乙醇含量的异常升高相伴发生，进一步说明生理代谢紊乱，受到低温伤害（McCollum & McDonald, 1993；周云 等，1997；寇莉苹，2001；孟雪雁和岑涛，2001）。在富士苹果上的研究也表明了低温贮藏增加了果实内部伤害的可能（Anon, 1994；寇莉苹，2001；Kweon et al., 2013）。本试验中，0 °C 和 1.5 °C 可减轻褐变，保持果实较高的硬度和 SSC 以及较好的口感和风味；5 °C 贮藏温度相对较高，容易造成果实衰老褐变、腐烂、变质以及风味下降等。

### 3.3 两个地区砀山酥梨果实的耐藏性和对低温的敏感性差异

虽然冷藏和 20 °C 货架期太谷产的砀山酥梨的虎皮病和果心褐变程度以及腐烂率比临猗产的果实轻，品质相对较好，但有基本一致的规律。两个地区的果实对 -1 °C 低温都比较敏感，贮藏后期 20 °C 货架期果实虎皮病和果心褐变程度重，造成果实品质劣变，出现异味。对于 0 °C 和 1.5 °C 来说，太谷产的砀山酥梨贮藏效果好于临猗产的。临猗地区海拔低，昼夜温差小，生长期间降雨量大，果实品质差（可溶性固形物含量低，平均 11.5%，个别年份高于 11.5%）；而太谷地区海拔高，昼夜温差大，生长期间降雨量小，果实品质相对较好（可溶性固形物含量高，平均 12.5%，甚至更高）。同一品种，由于产地、年份、气候条件、成熟度和栽培管理等方式不一样，抗组织褐变的能力也不同（Franck et al., 2007）。

综上所述，从贮藏期、病害防控（虎皮病、果心褐变、腐烂）以及果实品质等几方面综合考虑，砀山酥梨中长期贮藏温度以 0 ~ 1.5 °C 为宜，太谷产的砀山酥梨可贮藏 200 ~ 270 d，临猗产的砀山酥梨控制在 200 d 以内；中短期贮藏（120 d 之内）可采用 1.5 ~ 5 °C；在不发生低温伤害和品质劣变的前提下，温度越低，贮藏效果越好。

## References

- Anon. 1994. Mature Fuji more at risk for internal browning. *Good Fruit Grower*, 45 (5): 27.
- Franck C, Lammertyn J, Ho Q T, Verboven P, Verlinden B, Nicolai B M. 2007. Browning disorders in pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 43: 1 - 13.
- Gao Xue, Liu Xue-fen, Zou Yuan, Zhuang Lü-ou, Huang Chao-hui. 2011. Effect of low temperature on postharvest physiology and storage of Chinese bayberry fruit. *Journal of Hanshan Normal University*, 32 (3): 73 - 76. (in Chinese)
- 高 雪, 刘雪芬, 邹 苑, 庄绿欧, 黄超辉. 2011. 低温对杨梅采后生理及保鲜效果的影响. *韩山师范学院学报*, 32 (3): 73 - 76.



- Hu Wei-rong, Zhang Zhao-qi, Ji Zuo-liang, Liu Shun-zhi, Zhang Hui-ling. 2004. Changes of pericarp color and the content of anthocyanin and flavonoids in litchi pericarp during chilling-injured temperature storage. *Acta Horticulturae Sinica*, 31 (6): 723 - 726. (in Chinese)
- 胡位荣, 张昭其, 季作梁, 刘顺枝, 张辉玲. 2004. 荔枝冷害过程中果皮色泽、花色苷和类黄酮含量的变化. *园艺学报*, 31 (6): 723 - 726.
- Hu Xiao-song, Xiao Hua-zhi, Wang Xiao-xia. 2004. Contents of  $\alpha$ -farnesene and conjugated trienes in apple superficial scald and their relation with storage temperature. *Acta Horticulturae Sinica*, 31 (2): 169 - 172. (in Chinese)
- 胡小松, 肖华志, 王晓霞. 2004. 苹果  $\alpha$ -法尼烯和共轭三烯含量变化与贮藏温度的关系. *园艺学报*, 31 (2): 169 - 172.
- Kou Li-ping. 2001. Study on effect of temperature and gas on flesh browning of 'Fuji' apples [M. D. Dissertation]. Yangling: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 寇莉苹. 2001. 温度和气体成分对富士苹果果肉褐变的影响 [硕士论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- Kweon H J, Kang I K, Kim M J, Lee J, Moon Y S, Choi C, Choi D G, Watkins C B. 2013. Fruit maturity, controlled atmosphere delays and storage temperature affect fruit quality and incidence of storage disorders of 'Fuji' apples. *Scientia Horticulturae*, 157: 60 - 64.
- Luo Zi-sheng, Xi Yu-fang. 2005. Effect of storage temperature on physiology and ultrastructure of persimmon fruit. *Journal of Zhejiang University: Agricultural and Life Science Edition*, 31 (2): 195 - 198. (in Chinese)
- 罗自生, 席珣芳. 2005. 贮藏温度对柿果生理和超微结构的影响. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 31 (2): 195 - 198.
- Lyons J M. 1973. Chilling injury in plants. *Plant Physiology*, 20: 423 - 446.
- Ma Hai-jun. 2007. Study on optimum storage temperature and storage characteristic of 'Suisho' pear [M. D. Dissertation]. Yangling: Northwest A & F University. (in Chinese)
- 马海军. 2007. 大果水晶梨冷藏适温及其贮藏特性研究 [硕士论文]. 杨凌: 西北农林科技大学.
- McCollum T G, McDonald R E. 1993. Tolerance of cucumber fruit to immersion in heated water and subsequent effects on chilling tolerance. *Acta Horticulturae*, 343: 233 - 237.
- Meng Xue-yan, Cen Tao. 2001. Relationship between physiological variations and chilling injury in peach at low temperature. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 21 (3): 268 - 270. (in Chinese)
- 孟雪雁, 岑涛. 2001. 桃低温贮藏中生理变化与冷害发生的关系. *山西农业大学学报*, 21 (3): 268 - 270.
- Pang Xue-qun, Chen Yan-ni, Huang Xue-mei, Wang Yue-hua, Hu Wei-rong, Zhang Zhao-qi. 2008. Chilling temperature enhances quality reduction in postharvest 'Shatangju' (*Citrus reticulata* Blanco) fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (4): 509 - 514. (in Chinese)
- 庞学群, 陈燕妮, 黄雪梅, 汪跃华, 胡位荣, 张昭其. 2008. 冷害导致砂糖橘果实品质劣变. *园艺学报*, 35 (4): 509 - 514.
- Wang Gui-xi, Wang You-sheng, Liang Li-song. 2005. Studies on chilling injury and quality deterioration of Okubo peach under different storage temperature strategies. *Forest Research*, 18 (2): 114 - 119. (in Chinese)
- 王贵禧, 王友升, 梁丽松. 2005. 不同贮藏温度模式下大久保桃果实冷害及其品质劣变研究. *林业科学研究*, 18 (2): 114 - 119.
- Wang Wen-hui, Li Zhen-ru, Wang Zhi-hua, Zhang Yong, Fu Zhan-guo, Lü Bao-he. 2005. Effects of harvests on quality and core browning of 'Whangkeumbae' pears. *China Fruits*, (5): 13 - 15. (in Chinese)
- 王文辉, 李振茹, 王志华, 张勇, 付占国, 吕宝和. 2005. 采收期对黄金梨品质及黑心病的影响. *中国果树*, (5): 13 - 15.
- Wang Zhi-hua, Ding Dan-dan, Wang Wen-hui, Tong Wei, Zhang Zhi-yun, Jia Xiao-hui, Jiang Yun-bin. 2009. Effects of different temperature and carbon dioxide concentration on postharvest physiology of Housui pear. *Journal of Fruit Science*, 26 (5): 603 - 607. (in Chinese)
- 王志华, 丁丹丹, 王文辉, 佟伟, 张志云, 贾晓辉, 姜云斌. 2009. 不同温度和 CO<sub>2</sub> 体积分数对丰水梨采后生理指标的影响. *果树学报*, 26 (5): 603 - 607.
- Zhao Hua, Hu Hong, Wu Zhao-zhi. 1992. Relationship of chilling injury to storage temperature and duration in watermelon. *Acta Horticulturae Sinica*, 19 (2): 140 - 146. (in Chinese)
- 赵华, 胡鸿, 吴肇志. 1992. 西瓜冷害与贮藏温度和贮藏期的关系. *园艺学报*, 19 (2): 140 - 146.
- Zhou Yun, Ji Zuo-liang, Lin Wei-zhen. 1997. Study on the optimum storage temperature and chilling injury mechanism of longan fruit. *Acta Horticulturae Sinica*, 24 (1): 13 - 18. (in Chinese)
- 周云, 季作梁, 林伟振. 1997. 龙眼冷藏适温及其冷害的研究. *园艺学报*, 24 (1): 13 - 18.