

张斌斌, 陈星星, 王娜, 等. 基于果实品质指标的不同桃品种近冰温贮藏特性比较[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(4): 998-1009.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2021.04.024

## 基于果实品质指标的不同桃品种近冰温贮藏特性比较

张斌斌<sup>1</sup>, 陈星星<sup>2</sup>, 王娜<sup>2</sup>, 严娟<sup>1</sup>, 马瑞娟<sup>1</sup>, 俞明亮<sup>1</sup>, 姜卫兵<sup>2</sup>

(1.江苏省农业科学院果树研究所/江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014; 2.南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:** 为探讨适宜不同品种桃果实贮藏的冰点温度及采收成熟度, 研究不同成熟度桃果实在近冰温贮藏、常温贮藏条件下的品质差异, 以软溶质型桃品种上山大玉露、硬溶质型桃品种霞晖 8 号、硬质型桃品种华玉、不溶质型桃品种金童 8 号的果实为试验材料, 采用高精度电子温度测试仪测定桃果实的冰点温度, 并比较七、八、九成熟度的桃果实在近冰温贮藏和常温贮藏条件下硬度、可溶性固形物含量等品质指标的差异。结果表明, 供试桃果实的冰点温度均在 0.2 ℃ 以下, 同一桃品种的果实成熟度越高, 冰点温度越高; 在同一成熟度下, 不同桃品种果实的冰点温度存在明显差异, 冰点温度最高的是上山大玉露。近冰温贮藏较常温贮藏可有效缓解桃果实水分流失, 延缓桃果实硬度的下降速度, 能更好地保持果皮色泽, 推迟贮藏期间果实花色苷含量、总可溶性糖含量、花色苷与叶绿素含量的比值(*Ant/Chl*)、糖酸比达到峰值的时间, 延缓果实衰老, 从而延长贮藏时间。在近冰温贮藏条件下, 3 个成熟度的桃果实均能保持较高的硬度, 果实失质量、可溶性固形物含量变化不明显; 在贮藏末期, 八成熟的桃果实表现出较高的 *Ant/Chl* 和糖酸比。可见, 八成熟为桃果实近冰温贮藏的适宜成熟度。

**关键词:** 桃; 成熟度; 近冰温; 贮藏; 品质

**中图分类号:** S662.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2021)04-0998-12

## Comparison of near-freezing temperature storage characteristics of different peach varieties based on fruit quality index

ZHANG Bin-bin<sup>1</sup>, CHEN Xing-xing<sup>2</sup>, WANG Na<sup>2</sup>, YAN Juan<sup>1</sup>, MA Rui-juan<sup>1</sup>, YU Ming-liang<sup>1</sup>, JIANG Wei-bing<sup>2</sup>

(1. Institute of Pomology, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/ Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China; 2. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** In order to investigate the freezing point temperature and harvest maturity suitable for the storage of different cultivars, the quality differences of peach fruits with different maturity degrees under the storage conditions of near-freezing and ambient temperature were studied. Different peach varieties such as Shangshandayulu with soft-melting, Xiahui 8 with hard-melting, Huayu with stonyhard, Babygold 8 with non-melting

**收稿日期:** 2020-09-04

**基金项目:** 国家重点研发计划项目(2018YFD0201400); 江苏现代农业(桃)产业技术体系建设专项资金项目[JATS(2019)401]; 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-30); 江苏省优势学科建设工程项目(2011PAPD)

**作者简介:** 张斌斌(1982-), 男, 山东利津人, 博士, 副研究员, 主要从事桃栽培生理研究。(E-mail) binbin1714@163.com。陈星星为共同第一作者。

**通讯作者:** 马瑞娟, (E-mail) marj311@163.com; 姜卫兵, (E-mail) weibing@njau.edu.cn

were used as test materials. The freezing point temperature of peach fruit was measured using a high-precision electronic temperature recorder. The differences in firmness, soluble solid content (SSC) and other quality indices of peach fruits with three maturity degrees (70%, 80% and 90%) were compared under the shorage conditions of near-freezing and ambient temperature. The results showed that the freezing point temperature of tested peach fruits was below 0.2 ℃. The higher the fruit maturity of the same peach variety, the

higher the freezing point temperature. Under the same maturity, the freezing point temperature of different peach varieties was significantly different. The freezing point temperature of Shangshandayulu was the highest. Compared with ambient temperature storage, near-freezing temperature storage could effectively alleviate the water loss of peach fruit, delay the decline rate of fruit firmness, better maintain the color of the peel, and delay the time when the anthocyanin content, total soluble sugar content, the ratio of anthocyanin content to chlorophyll content ( $Ant/Chl$ ) and sugar-acid ratio of the fruit reached the peak during storage, delay the senescence and prolong the storage time. Under the storage condition of near-freezing temperature, the fruits with three maturity degrees could maintain high firmness, and the changes of fruit weight loss and soluble solid content were not obvious. At the end of storage, peach fruits with 80% maturity showed high  $Ant/Chl$  and sugar-acid ratio. In conclusion, 80% maturity is the suitable harvest maturity for near-freezing temperature storage of peach fruit.

**Key words:** *Prunus persica*; maturity; near-freezing temperature; storage; quality

桃(*Prunus persica*. L)果肉细腻、口感清爽、色泽艳丽、营养丰富,备受消费者青睐。桃果属于呼吸跃变型果实,采后软化快,货架期短,耐贮运性能差<sup>[1]</sup>。低温贮藏能够明显抑制采后桃果实的呼吸代谢,延缓衰老,延长贮藏期<sup>[2]</sup>。但是,不当的低温贮藏条件会使桃果实受到不同程度的伤害,如温度过低会造成桃果实细胞发生冷害和低温冻害,使得果实细胞膜通透性、呼吸强度和乙烯释放量变化异常,甚至出现不能正常软化等问题<sup>[3-4]</sup>;温度过高则会加速桃果实的后熟和衰老进程,从而缩短正常的低温贮藏时间<sup>[5]</sup>。

近冰温(Near freezing temperature, NFT)贮藏技术是继冷藏和气调之后的第3代食品保鲜技术<sup>[6]</sup>,是将鲜活食品(如水果、蔬菜等)置于生物结冰点(即冰点)附近贮藏的一种控温保鲜技术<sup>[7]</sup>,在不破坏细胞结构和不产生冷害、低温冻害的情况下,能够最大程度地延缓果实的衰老进程,显著延长果实的贮藏期<sup>[8]</sup>。许多果蔬都可以在0℃左右贮藏,但是任何温度的设置都建议在果蔬免受冷害的范围内<sup>[9]</sup>,NFT贮藏技术很好地解决了这一点。目前,NFT贮藏技术已经在葡萄<sup>[10]</sup>、杏<sup>[11]</sup>、苹果<sup>[12]</sup>、梨<sup>[13]</sup>、甜樱桃<sup>[14]</sup>、冬枣<sup>[15]</sup>、绿豆<sup>[16]</sup>等多种果蔬中得到应用,使果蔬的贮藏保鲜时间明显延长。有研究者指出,在冰点温度贮藏红富士苹果能明显抑制果实的呼吸强度,减少可溶性糖等营养物质的损耗,较好地保持红富士苹果的原有品质,推迟贮藏过程中品质改变的时间,延长贮藏保鲜期<sup>[12]</sup>。NFT贮藏能有效保持黄金梨果实果柄的新鲜度,延缓果实硬度、可溶性固形物含量的下降,较低温贮藏的保持作用更久<sup>[13]</sup>。近年来有关桃的研究发现,近冰温贮藏能延长桃果实的贮存期并改善桃果实的品质<sup>[17-18]</sup>,但不同桃品种果实的冰点温度各异,从冰点温度角度设置低温贮藏温度的研究鲜见报道,也缺乏适宜近冰温贮藏桃果实成熟度的研究。

本研究以4种不同肉质类型的桃果实为试验材料,采用高精度电子温度测试仪测定桃果实的冰点温度,以货架期温度(常温25℃)为对照,将不同成熟度(七、八、九成熟)的桃果实分别置于对应冰点温度下进行近冰温贮藏,分析比较桃果实的可溶性固形物含量、硬度、色差、可溶性糖含量及有机酸含量等品质指标的变化,以期明确不同肉质、不同成熟度桃果实的冰点温度及近冰温贮藏条件下桃果实品质的差异,为研究适宜不同桃品种果实贮藏的冰点温度、采收成熟度提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与处理

供试桃品种为4个:软溶质型上山大玉露、硬溶质型霞晖8号、硬质型华玉及不溶质型金童8号,桃果实均采自国家果树种质南京桃圃。试验植株树体健壮,树形均为三主枝自然开心形,每个品种设3株,按照常规栽培措施进行管理。2018年按各桃品种的成熟期(表1)分批采收树冠中部以上外围光照条件良好的果实,采后迅速带回实验室,按照不同成熟度(七、八、九成熟)选留大小均匀、无病虫害的果实备用。果实采收前10d无持续阴雨天气,环境因素对果实品质无明显影响。

将选留的桃果实置于浅层泡沫箱内(单层摆放),覆盖聚乙烯(PE)保鲜膜,冷柜外接温度控制器(型号:ZDR-1000P)用作果实的近冰温贮藏室,分别在近冰点温度、常温(25℃)下进行避光贮藏试验。在近冰点温度下每隔3d、常温下每隔1d取样观察1次,每个处理每次取15个桃果实(每5个桃果实作为1个生物学重复)进行相关指标的测定。将桃果实的果皮、果肉分离后分别切碎,放入液氮中速冻后置于-20℃冰箱中备用。

表 1 不同桃品种果实 3 个成熟度的取样日期

Table 1 The sampling dates of different peach varieties with three maturity degree

肉质类型	品种	取样日期(月-日)		
		七成熟	八成熟	九成熟
软溶质	上山大玉露	08-04	08-05	08-06
硬溶质	霞晖 8 号	08-03	08-08	08-14
硬质	华玉	08-11	08-18	08-22
不溶质	金童 8 号	08-14	08-15	08-16

## 1.2 试验方法

1.2.1 果实冰点温度的测定 桃果实冰点温度采用 ZJ10X 系列多通道高精度温度测试仪测定,将记录仪的探头垂直插入果实腹部的果皮与果心之间,将整果置于-20℃低温冷柜中,且将果实尽量置于冷柜中央,避免触碰冷柜壁,盖紧冷柜门,每隔 15 s 自动记录 1 次果肉温度,记录时长持续 12 h 以上,导出数据并绘制温度变化曲线,以确定冰点温度。

1.2.2 失质量率的测定 每个品种、每个成熟度取 10 个果实,按标号顺序统计、称质量后再立即放回原贮藏环境中,并计算果实失质量率。失质量率=(贮藏前果实质量-贮藏后果实质量)/贮藏前果实质量×100%。

1.2.3 果皮色差和色素含量的测定 在果实缝合线的两侧中部用美国 Hunter Lab 公司生产的色差计测定红绿色差值( $a^*$ )和黄蓝色差值( $b^*$ ),并计算  $a^*/b^*$ ,每个果实测 2 个点,取平均值<sup>[19]</sup>。

花色素苷含量的测定参照 Zapsalis 等<sup>[20]</sup>的方法,用 1% HCl-甲醇避光提取,分别测定 650 nm、620 nm、530 nm 波长下的吸光度,由此计算花色素苷含量。参照 Lichtenthaler 等<sup>[21]</sup>的方法,用 95%乙醇避光提取叶绿素,分别测定 665 nm、649 nm 波长下的吸光度,计算叶绿素含量。

1.2.4 果实硬度和可溶性固形物含量的测定 采

用 TA-XT Plus 型质构仪在果实腹缝线两侧中部测定果实的果肉硬度,探头直径为 8 mm,测试深度为 5 mm,贯入速率为 1 mm/s。每个果实的果肉硬度取 2 个点的平均值。

在果实腹缝线两侧中部附近取果肉汁液,采用 PAL-1 折射仪(ATAGO 公司产品,日本)测定可溶性固形物含量(SSC),每个果实最终的可溶性固形物含量取 2 个点的平均值。

1.2.5 可溶性糖和有机酸含量的测定 用 Agilent 1100 型高效液相色谱仪(Agilent 公司产品,美国)分别测定果肉中的可溶性糖(蔗糖、葡萄糖、果糖和山梨醇)含量和有机酸(苹果酸、奎尼酸和柠檬酸)含量<sup>[22]</sup>。总可溶性糖含量为各可溶性糖含量的总和,总酸含量为各有机酸含量的总和,根据总可溶性糖、总酸含量计算糖酸比。

## 1.3 数据处理及分析

用 Excel 软件进行数据统计和作图。

## 2 结果与分析

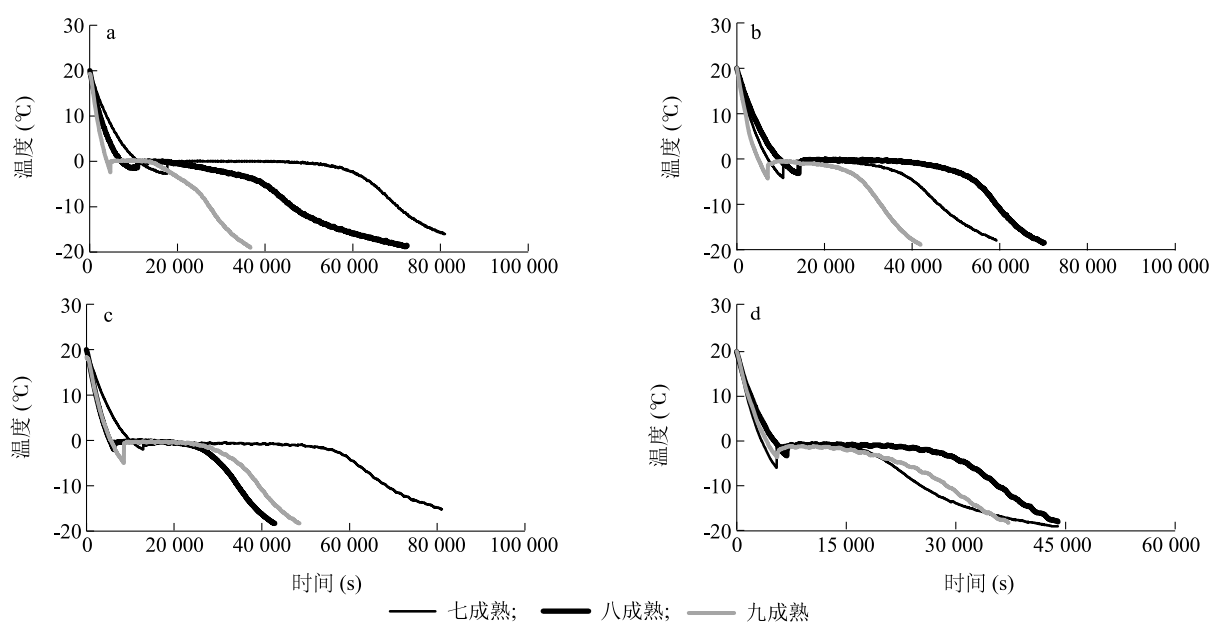
### 2.1 不同品种不同成熟度桃果实的冰点

如图 1 所示,将桃果实由室温转至-20℃冷柜后,桃果实温度随着贮藏时间的延长呈良好的线性下降趋势。当桃果实温度降到一定的低温(过冷点)之后,出现 1 段小幅度迅速回升的过程,当桃果实温度短时间回升后,又开始缓慢下降,果实开始冻结,短时间回升到顶点的温度即果实的冰点,为了避免桃果实在贮藏过程中受到冷害、冻害,贮藏温度设置在冰点附近。由表 2 可知,供试桃果实的冰点均在 0.2℃以下,最低为-1.7℃(七成熟金童 8 号),且同一桃品种的果实成熟度越高,冰点越高。同一成熟度不同品种桃果实的冰点存在明显差异,冰点整体最高的是软溶质型桃品种上山大玉露,最低的是不溶质型桃品种金童 8 号。

表 2 不同品种不同成熟度桃果实的冰点变化

Table 2 Changes of freezing-point temperature of peach fruits with different maturity degrees

肉质类型	品种	冰点(℃)					
		七成熟		八成熟		九成熟	
		均值	变幅	均值	变幅	均值	变幅
软溶质	上山大玉露	-0.11	-0.2~0	-0.08	-0.3~0.2	0.12	0~0.2
硬溶质	霞晖 8 号	-0.92	-1.1~-0.7	-0.85	-1.0~-0.5	-0.66	-0.8~-0.4
硬质	华玉	-0.73	-1.1~-0.5	-0.49	-0.6~-0.2	-0.37	-0.4~-0.1
不溶质	金童 8 号	-1.62	-1.7~-1.0	-1.32	-1.4~-0.9	-1.10	-1.3~-0.7



a: 上山大玉露; b: 霞晖 8 号; c: 华玉; d: 金童 8 号。

图 1 不同品种不同成熟度桃果实的冷藏后温度变化曲线

Fig.1 Temperature variation curves of peach fruits with different maturity degrees after cold storage

## 2.2 近冰温贮藏、常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实失质量率的影响

桃果实属于水分含量较高的水果,在贮藏过程中极易失水。由图 2 可以看出,随着贮藏时间的延长,不同成熟度、不同肉质型桃果实的失质量率均呈上升趋势,在近冰温贮藏条件下,桃果实的失质量率显著低于常温贮藏条件。在不同贮藏条件下,随着桃果实成熟度的增加,失质量率逐渐升高,整体上以九成熟桃果实最高。在近冰温贮藏条件下,随着贮藏时间的延长,七、八、九成熟桃果实的失质量速度上升缓慢,贮藏 16 d 时,桃果实的失质量率仅为 1%~2%,其中以软溶质型上山大玉露桃果实的失质量率最高(1.66%);而在常温贮藏条件下,桃果实的失质量率上升明显,其中霞晖 8 号九成熟桃果实的失质量率较高,贮藏 10 d 时桃果实的失质量率达到 20.45%,超过近冰温贮藏条件下的 13 倍。上述结果表明,近冰温贮藏可有效减少桃果实失水,保持桃果实中的水分,延长桃果实水分流失所需的时间。此外,在近冰温贮藏过程中也未发现桃果实萎蔫现象。

## 2.3 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实硬度的影响

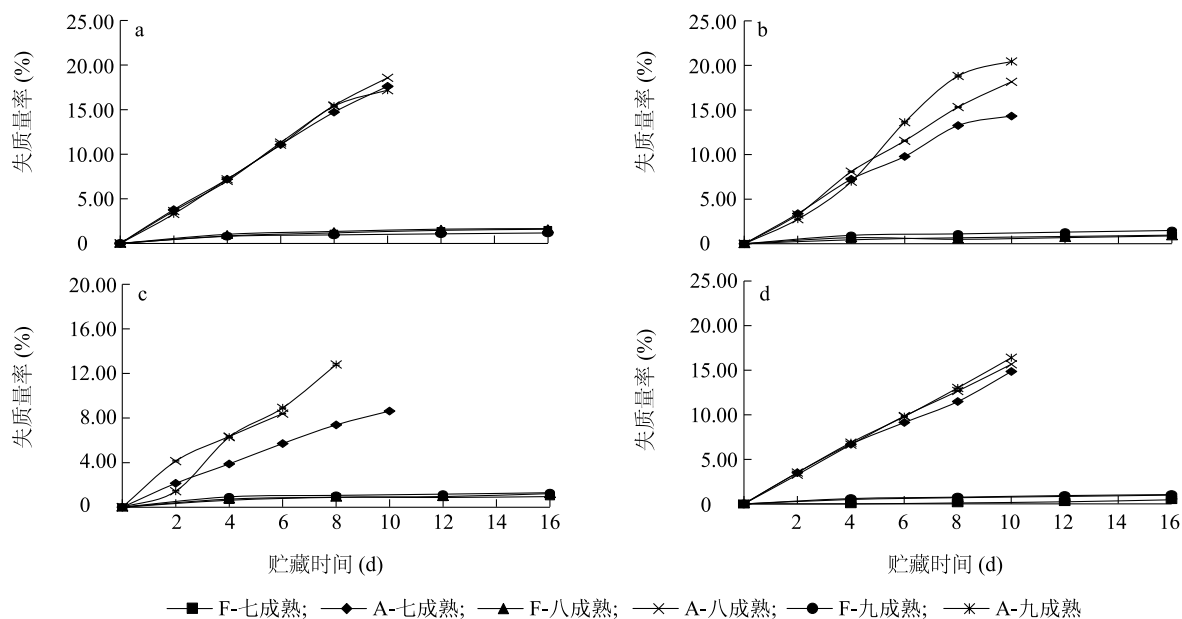
不同处理的桃果实硬度随着贮藏时间的延长均呈下降趋势,在常温贮藏条件下,桃果实硬度的下降

速度较近冰温贮藏条件下快。如图 3a 所示,上山大玉露七、八成熟果实硬度在近冰温条件下贮藏 4 d 内果实硬度下降得较快,九成熟果实硬度的变化不明显;而在常温贮藏条件下,3 个成熟度果实的硬度在贮藏 2 d 内急剧下降,且贮藏末期果实硬度接近 0,表明果实接近完全软化。由图 3b 可以看出,霞晖 8 号七成熟果实硬度在近冰温贮藏条件下的下降幅度大于八、九成熟果实;常温贮藏下 3 个成熟度果实硬度在前 6 d 直线下降,贮藏后 10 d 逐渐接近 0。由图 3c、3d 可以看出,华玉 3 个成熟度果实在近冰温贮藏条件下,贮藏期前 12 d,果实硬度缓慢下降,贮藏期后 4 d 下降趋势渐趋平缓;金童 8 号七成熟果实的硬度在近冰温贮藏条件下,贮藏期前 8 d 无明显变化,贮藏期后 4 d 缓慢下降,八、九成熟果实硬度的变化不明显。由此可见,近冰温贮藏较常温贮藏明显缓解了桃果实采后硬度的下降速率,从而延缓了桃果实的软化进程,且在近冰温贮藏条件下,成熟度越高的桃果实,硬度下降速率越低。

## 2.4 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实可溶性固形物含量的影响

不同成熟度桃果实的可溶性固形物含量在 2 种贮藏温度下均呈波动变化的趋势,近冰温贮藏条件下桃果实的可溶性固形物含量低于常温条件桃果实的可溶性固形物含量,且达到峰值的时间较常温贮

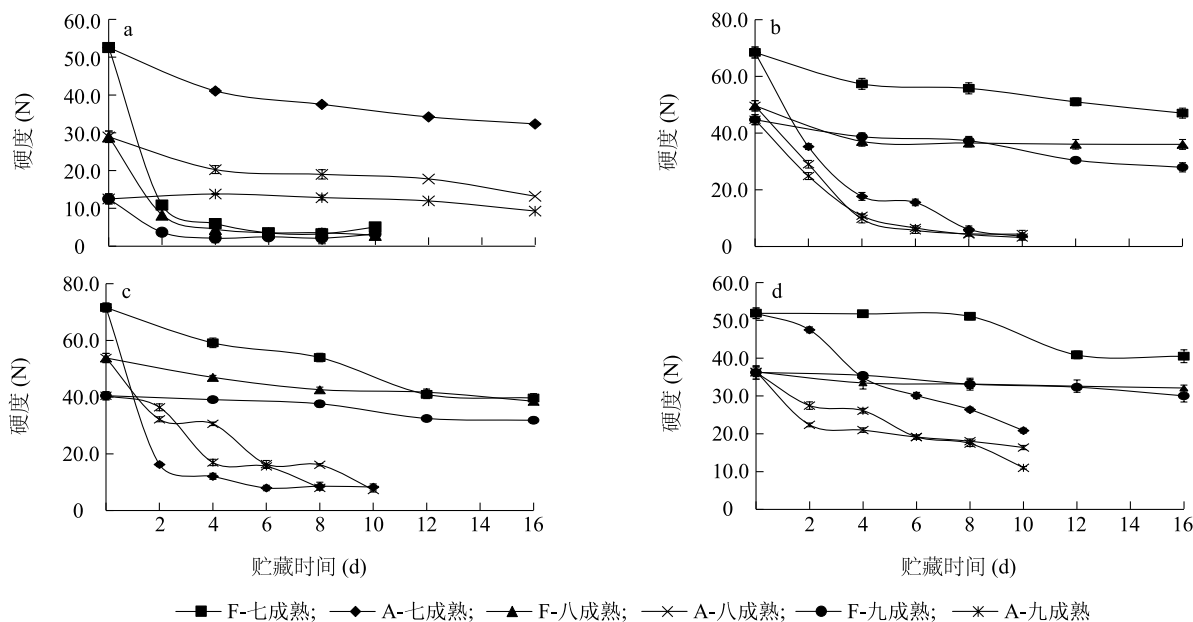




a: 上山大玉露; b: 霞晖 8 号; c: 华玉; d: 金童 8 号。F: 近冰温贮藏; A: 常温贮藏。

图 2 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实失质量率的影响

Fig.2 Effects of near-freezing storage and ambient temperature storage on weight loss rate of peaches with different maturity



a: 上山大玉露; b: 霞晖 8 号; c: 华玉; d: 金童 8 号。F: 近冰温贮藏; A: 常温贮藏。

图 3 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实硬度的影响

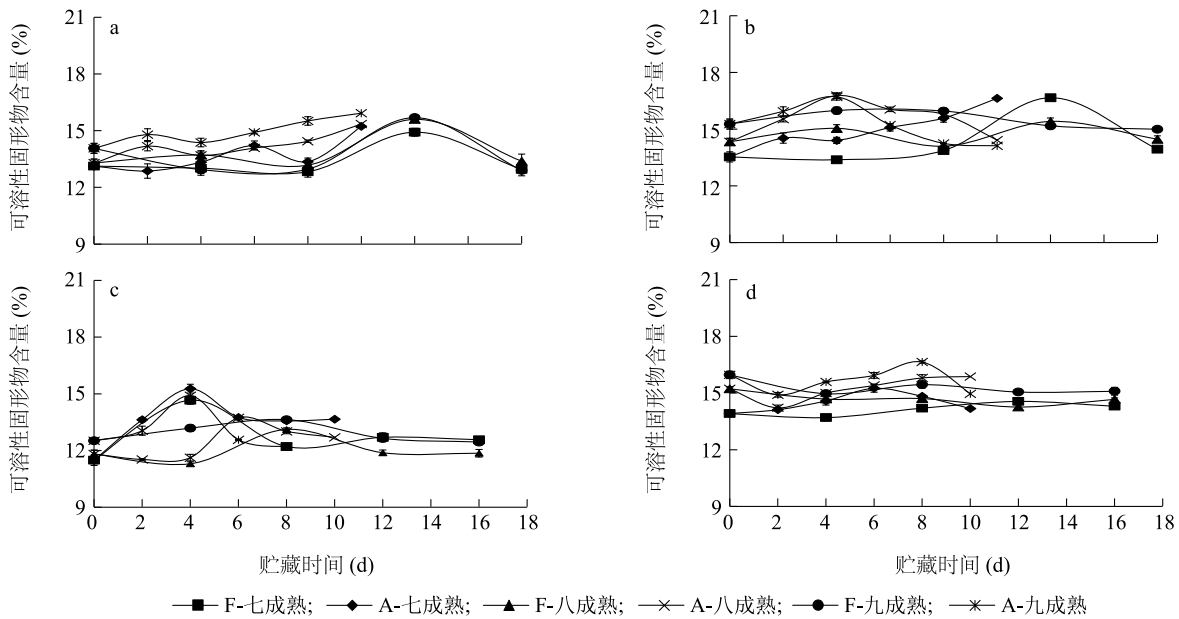
Fig.3 Effects of near-freezing storage and ambient temperature storage on firmness of peaches with different maturity

藏条件下晚。如图 4a 所示,在常温贮藏条件下,上山大玉露果实的可溶性固形物含量整体呈升高趋势,在近冰温贮藏条件下,桃果实的可溶性固形物含量在贮藏 12 d 时达到峰值,之后逐渐下降。由图 4b 可知,霞晖 8 号果实中可溶性固形物含量的波动幅

度整体较上山大玉露大,在常温贮藏条件下,八、九成熟桃果实的可溶性固形物含量在贮藏 4 d 时达到峰值;七成熟桃果实的可溶性固形物含量整体上有升高的趋势。而在近冰温贮藏条件下,贮藏期前 8 d 霞晖 8 号果实的可溶性固形物含量整体上较为平

稳,在贮藏 12 d 时达到峰值,且随着桃果实成熟度的增加呈降低趋势。图 4c 显示,金童 8 号果实可溶性固形物含量在常温贮藏条件下的变幅较近冰温贮藏条件下的变幅大。不同成熟度桃果实在近冰温贮藏条件下的可溶性固形物含量均表现为缓慢的“~”形变化趋势;而在常温贮藏初期,八、九成熟桃果实的可溶性固形物含量先降后增,在贮藏 8 d 时达到峰值,之后迅速下降,七成熟桃果实的可溶性固

形物含量整体表现为先增后降的趋势,在贮藏 6 d 时达到峰值。从图 4d 可以看出,华玉七成熟果实的可溶性固形物含量在常温贮藏条件下前 4 d 时迅速增加,之后逐渐趋于稳定。溶质型桃七、八、九成熟果实的可溶性固形物含量在近冰温贮藏条件下前 16 d 时均有下降趋势,硬质型桃华玉的果实则相反。由此可见,硬质型桃果实更具有贮藏潜力。



a: 上山大玉露; b: 霞晖 8 号; c: 华玉; d: 金童 8 号。F: 近冰温贮藏; A: 常温贮藏。

图 4 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实可溶性固形物含量的影响

Fig.4 Effects of near-freezing storage and ambient temperature storage on soluble solids content of peaches with different maturity

## 2.5 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果皮色差的影响

$a^*/b^*$  基本能够反映果实的真实色泽。如图 5、图 6 所示,不同肉质型桃果实果皮的  $a^*$ 、 $a^*/b^*$  在贮藏前期整体上均随着成熟度的增加而升高,且霞晖 8 号较高,金童 8 号较低。在贮藏初期,随贮藏期延长不同成熟度桃果实的  $a^*$ 、 $a^*/b^*$  均呈上升趋势,即果面红色不断加深。在常温贮藏条件下,上山大玉露、霞晖 8 号、华玉、金童 8 号果实的  $a^*$  分别在贮藏 2 d、4 d、8 d、8 d 内整体呈上升趋势并逐渐达到峰值,之后迅速下降。在不同成熟度的桃果实中,  $a^*/b^*$  达到峰值的时间有差异,软溶质型上山大玉露果实的  $a^*/b^*$  表现为七成熟果实(8 d) > 八成熟果实(6 d) > 九成熟果实(4 d),霞晖 8 号果实的  $a^*/b^*$  在贮藏期前 4 d 表现为上升趋势,之后整体表现

为下降趋势并趋于平稳,华玉、金童 8 号九成熟果实的  $a^*/b^*$  在贮藏期前 8 d 上升至最大值后有下降的趋势,七、八成熟果实的  $a^*/b^*$  在常温贮藏期间整体表现为升高趋势。

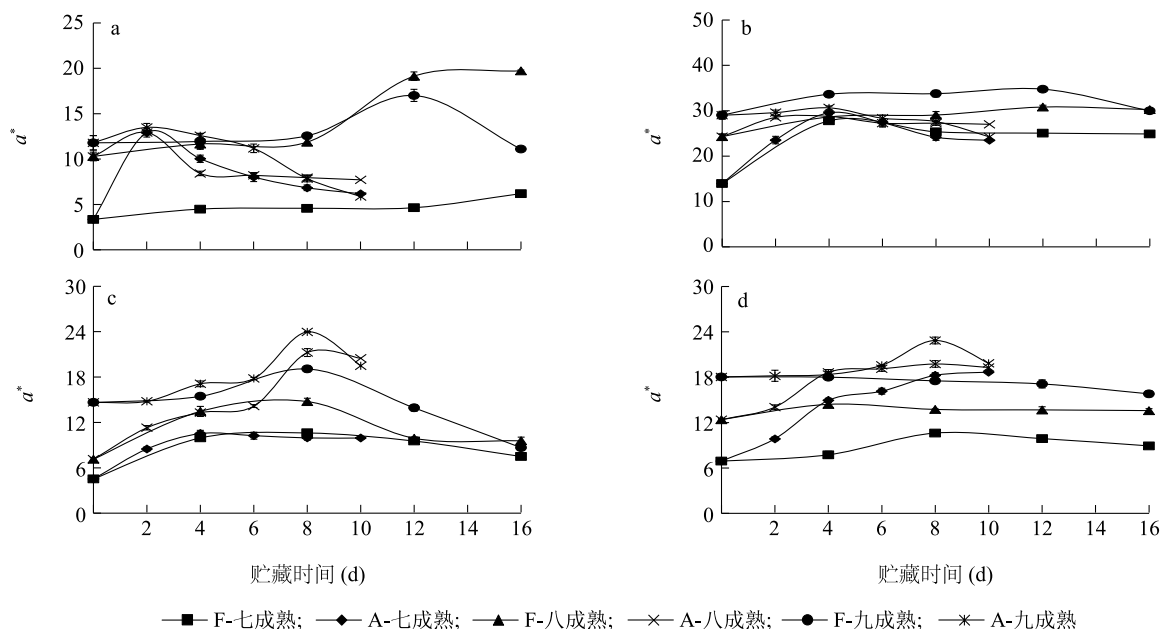
在近冰温贮藏条件下,果皮  $a^*$ 、 $a^*/b^*$  随着贮藏时间的延长而上升或下降的幅度显著小于常温贮藏条件,且在贮藏后期色差值下降并趋于平稳,说明近冰温贮藏能更好地保持桃果实的果皮色泽。

## 2.6 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果皮色素含量的影响

桃果皮颜色取决于果皮花色素苷与叶绿素含量的比值 ( $Ant/Chl$ ),  $Ant/Chl$  越大,果皮的颜色越显红。如图 7、图 8 所示,不同成熟度桃果皮色素含量在贮藏初期均有不同程度的增加,在近冰温贮藏条件下,  $Ant/Chl$  的变化趋势与果皮花色素苷含量的变

化趋势大致相同。由图 7a 可知,在近冰温贮藏条件下,上山大玉露果皮花色素苷含量变化缓慢,贮藏期前 8 d 缓慢增加,之后逐渐下降,且果皮花色素苷含量按果实成熟度从高到低排序依次为九成熟、八成熟、七成熟果实;而在常温贮藏条件下,七、八成熟果实果皮花色素苷含量在贮藏期前 4 d 缓慢增加,之后迅速增加;九成熟桃果实果皮的花色素苷含量在贮藏 6~8 d 时达到峰值,之后逐渐下降。由图 7b 可知,霞晖 8 号的花色素苷含量在近冰温贮藏初期迅速增加,在贮藏 4~6 d 时达到峰值后缓慢下降,并且随着果实成熟度的增加,果实花色素苷含量升高;在常温贮藏条件下,3 个成熟度果实的花色素苷含量在贮藏 10 d 时均有下降的趋势,且其含量低于近冰温贮藏 16 d 时的含量。从图 7c、7d 可以看出,华玉

九成熟果实近冰温贮藏 12 d 时,果实的花色素苷含量达到最大值,之后逐渐下降,七、八成熟果实在贮藏 16 d 内持续增加,金童 8 号果实中花色素苷含量的变化趋势亦相同;在常温贮藏条件下,华玉九成熟果实的花色素苷含量、*Ant/Chl* 在贮藏 6~8 d 增加得最快,金童 8 号果实在常温贮藏初期,其果实中花色素苷含量、*Ant/Chl* 迅速提高,在贮藏 2~4 d 内增加到峰值后逐渐下降。由此可见,金童 8 号桃果实果皮中色素含量的变化速度比其他品种快。整体上看,常温贮藏条件下桃果实果皮色素含量的变化显著大于近冰温贮藏条件下桃果实果皮色素含量的变化,表明近冰温贮藏对桃果实果皮色素含量的影响比常温贮藏小。



a: 上山大玉露; b: 霞晖 8 号; c: 华玉; d: 金童 8 号。F: 近冰温贮藏; A: 常温贮藏。

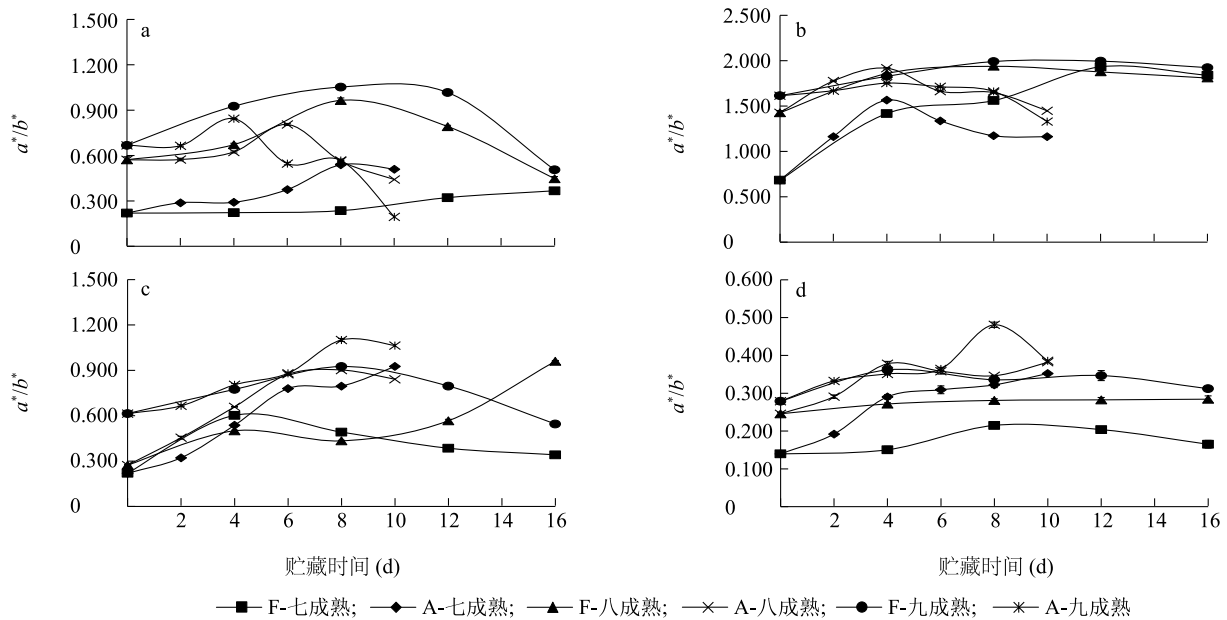
图 5 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果皮红绿色差值( $a^*$ )的影响

Fig.5 Effects of near-freezing storage and ambient temperature storage on red saturation scale ( $a^*$ ) of peach peels with different maturity

## 2.7 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实糖、酸含量的影响

在桃果实近冰温贮藏和常温贮藏期间,不同品种桃果实的糖酸比、总可溶性糖含量的变化趋势基本一致,在不同成熟度之间略有差异。如图 9a 所示,上山大玉露桃果实的总可溶性糖含量在贮藏期间总体呈先增加后降低的趋势。在常温贮藏条件下,九成熟桃果实的总可溶性糖含量在贮藏期前 4 d 整体上高于七、八成熟桃果实,在贮藏末期,桃果实

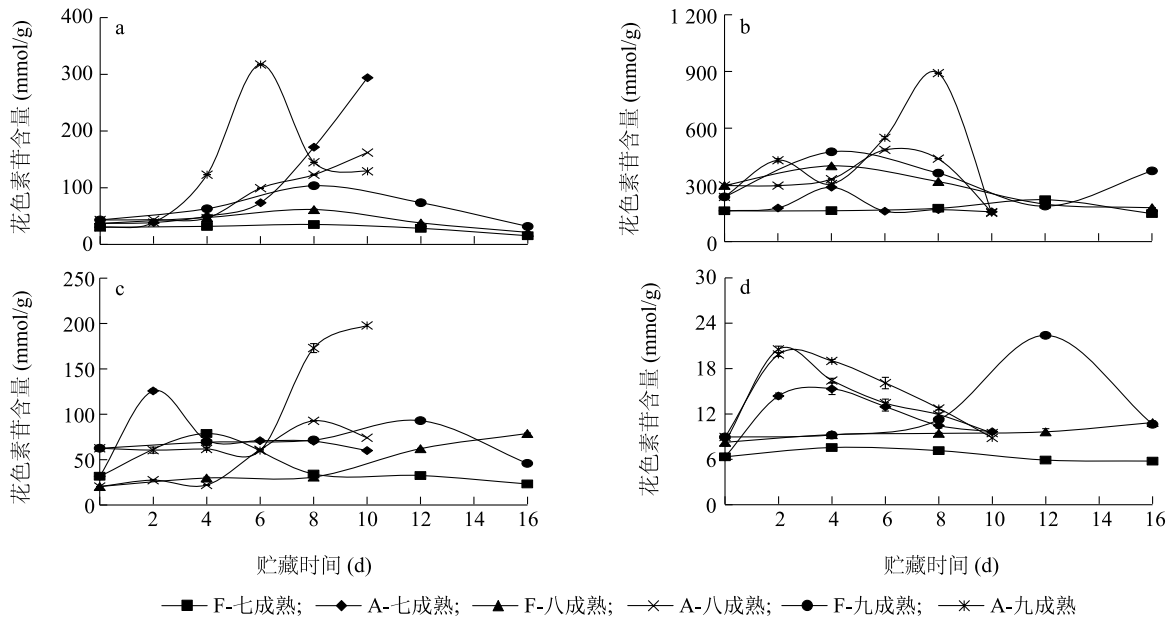
中的总可溶性糖含量从高到低依次为八成熟桃果实、七成熟桃果实、九成熟桃果实。在近冰温贮藏末期,桃果实中的总可溶性糖含量与常温贮藏条件下一致,且在贮藏 12~14 d 才有下降趋势。由图 9d 可以看出,金童 8 号果实的总可溶性糖含量整体上呈先上升后下降的变化趋势,在常温贮藏末期,随着果实成熟度的增加,果实中的总可溶性糖含量降低,在近冰温贮藏末期,八成熟果实的总可溶性糖含量高于七、九成熟果实。由图 9b、图 9c 可以看出,霞晖 8



a:上山大玉露;b:霞晖8号;c:华玉;d:金童8号。F:近冰温贮藏;A:常温贮藏。

图6 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果皮  $a^*/b^*$  的影响

Fig.6 Effects of near-freezing storage and ambient temperature storage on  $a^*/b^*$  of peach peels with different maturity



a:上山大玉露;b:霞晖8号;c:华玉;d:金童8号。F:近冰温贮藏;A:常温贮藏。

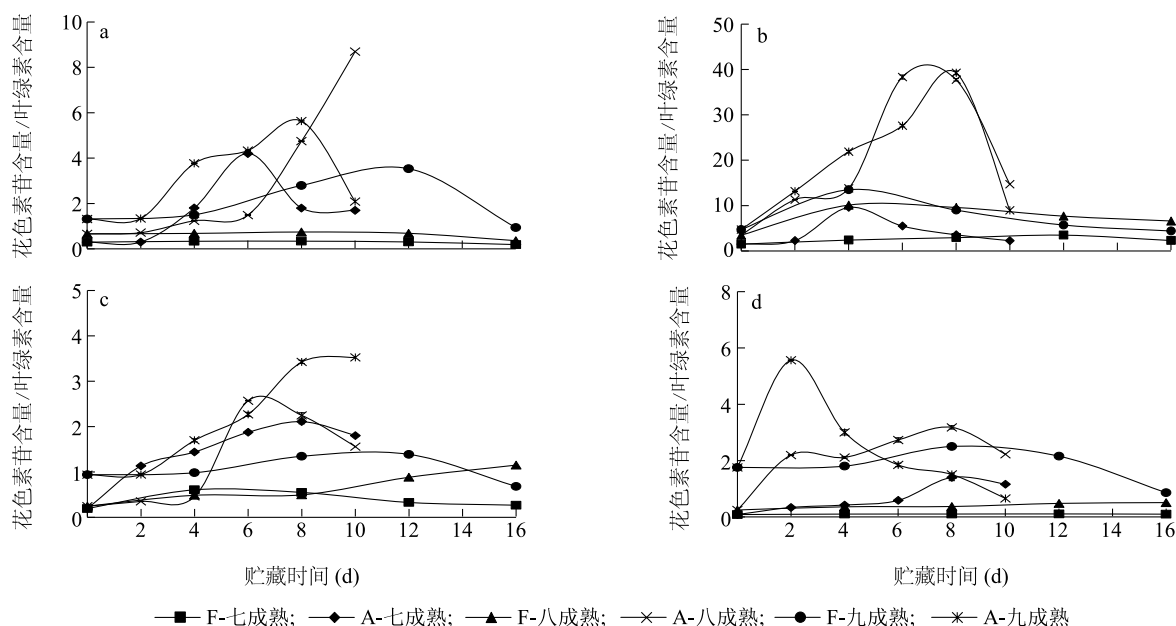
图7 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果皮花色苷含量的影响

Fig.7 Effects of near-freezing storage and ambient temperature storage on anthocyanin content in peach peels with different maturity

号和华玉七成熟果实中的总可溶性糖含量在常温贮藏条件下逐渐升高,八成熟果实中的总可溶性糖含量在贮藏8 d后迅速下降,九成熟果实中的总可溶性糖含量在常温贮藏初期增加缓慢,在贮藏4 d后逐渐下降;在近冰温贮藏条件下,贮藏初期华玉果实

中的总可溶性糖含量呈增加的趋势,贮藏8 d后开始下降,在贮藏末期,华玉果实中的总可溶性糖含量从高到低依次为七成熟果实、九成熟果实、八成熟果实,霞晖8号七成熟果实中的总可溶性糖含量在贮藏16 d内持续增加,八成熟果实中的总可溶性糖含





a: 上山大玉露; b: 霞晖 8 号; c: 华玉; d: 金童 8 号。F: 近冰温贮藏; A: 常温贮藏。

图 8 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果皮花色苷含量/叶绿素含量的影响

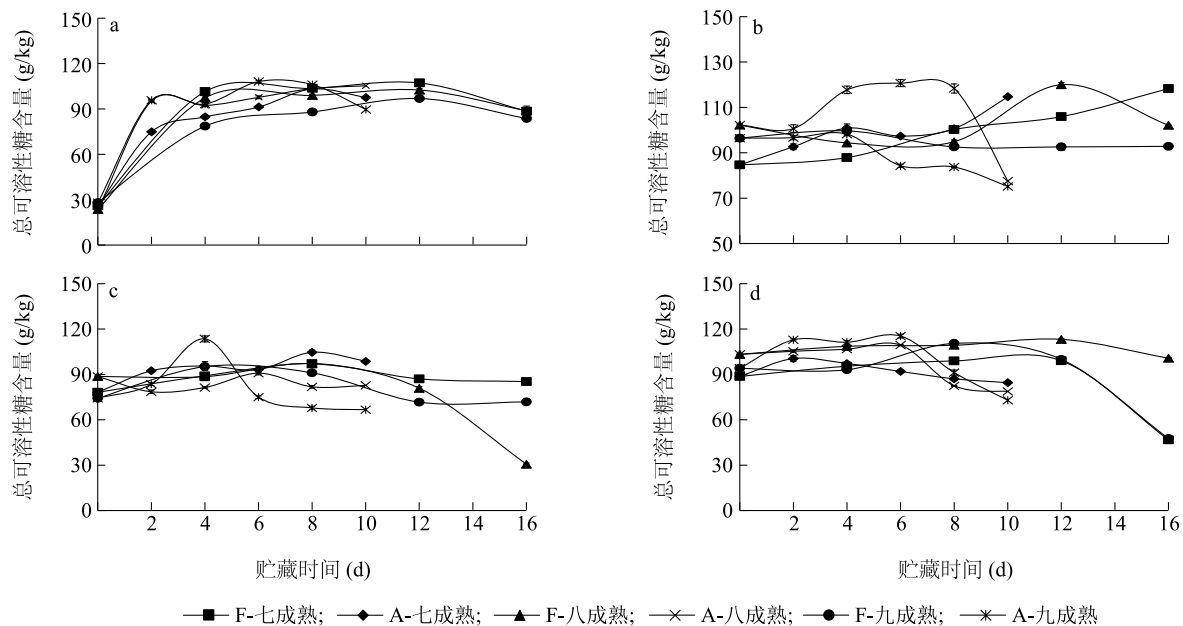
Fig.8 Effects of near-freezing storage and ambient temperature storage on the ratio of anthocyanin content to chlorophyll content in peach peels with different maturity

量在贮藏后 8 d 开始迅速增加,九成熟果实中的总可溶性糖含量在贮藏 4 d 后逐渐下降,下降的速度远小于常温贮藏,且在近冰温贮藏 16 d 时,果实中的总可溶性糖含量高于常温贮藏,说明近冰温贮藏比常温贮藏能更好地延缓果实中总可溶性糖含量的下降。

由图 10 中不同成熟度果实的糖酸比看出,在近冰温贮藏条件下,随贮藏期延长 3 个成熟度上山大玉露果实的糖酸比不断提高;在常温贮藏条件下,七、八、九成熟果实的糖酸比在第 6 d 时达到峰值,随后逐渐下降且在贮藏期间的波动较大。对于霞晖 8 号、华玉和金童 8 号 3 个成熟度的果实而言,在近冰温贮藏条件下糖酸比的变化趋势与总可溶性糖含量的变化趋势相似;不同成熟度霞晖 8 号果实的糖酸比在常温贮藏条件下的排序大致表现为八成熟>七成熟>九成熟,且 3 个成熟度果实糖酸比的变化趋势一致;不同成熟度华玉果实的糖酸比则表现为九成熟果实达到峰值的时间比七成熟果实晚,八成熟果实在贮藏期间的糖酸比呈下降趋势;金童 8 号 3 个成熟度果实的糖酸比在贮藏期间均表现为先升高后降低的趋势,且在贮藏末期八成熟果实的糖酸比高于七、九成熟果实。

### 3 讨论

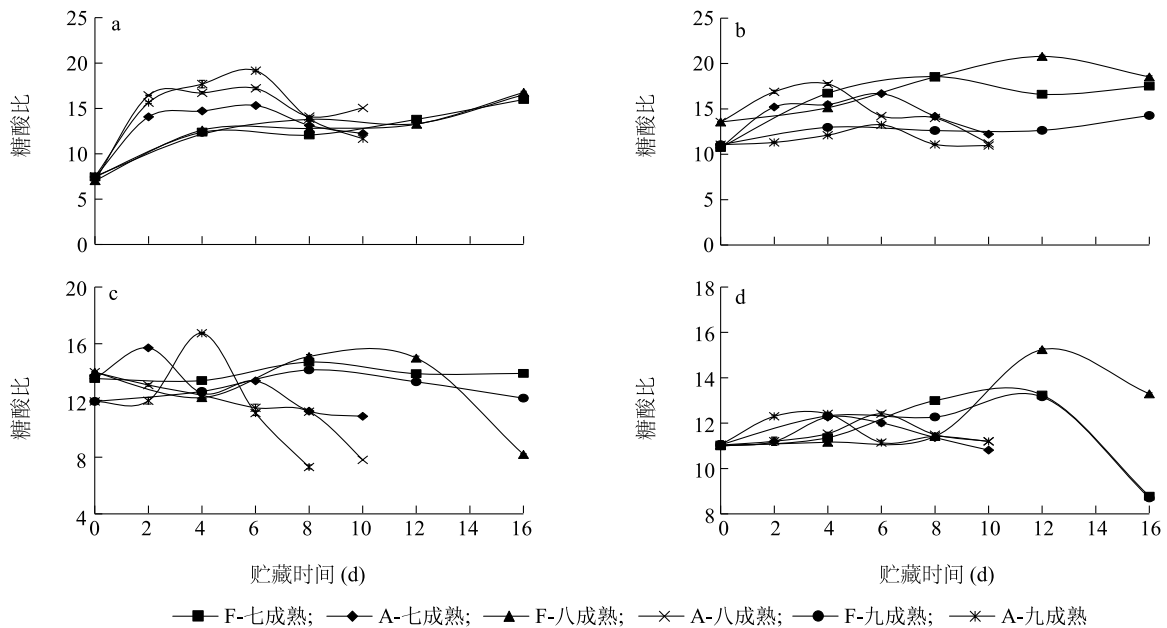
贮藏温度是影响桃果实采后生理变化的重要因子<sup>[23]</sup>。多数研究者认为,低温条件更有利于桃果实货架期的延长<sup>[24-26]</sup>。有研究者发现,近冰温是比低温(0℃以上)更有利的贮藏方式<sup>[27]</sup>。近冰温贮藏的实质是将果蔬贮藏在 0℃以下、生物细胞结冰点以上的温度间,将贮藏温度控制在冰温范围内,使果蔬组织细胞处于活体不冻结的状态(即近似“休眠”的状态),极大地抑制细胞的新陈代谢效率,将果实维持生命体征所消耗的能量降到最低,可以抑制病原微生物的滋生<sup>[14]</sup>,从而达到延缓果实衰老、延长贮藏期的目的。有研究者发现,在 0℃贮藏的 60 d 内,葡萄的可溶性固形物含量、可溶性糖含量、有机酸含量、呼吸速率、硬度等的变化很小,并且与新鲜葡萄在质地和风味上没有明显区别<sup>[10]</sup>。Zhao 等<sup>[28]</sup>研究油桃果实的近冰温贮藏条件发现,近冰温(-1.5~-1.2℃)贮藏条件可以延缓贮藏后期果实中可溶性固形物、可溶性糖等营养成分含量的下降,延迟果实果皮花色苷含量的下降,提高果实采后品质及抗氧化能力。本试验通过研究证实,与常温贮藏相比,近冰温贮藏可有效延缓果实采后水分的



a: 上山大玉露; b: 霞晖 8 号; c: 华玉; d: 金童 8 号。F: 近冰温贮藏; A: 常温贮藏。

图 9 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实总可溶性糖含量的影响

Fig.9 Effects of near-freezing storage and normal temperature storage on total soluble sugar content of peaches with different maturity



a: 上山大玉露; b: 霞晖 8 号; c: 华玉; d: 金童 8 号。F: 近冰温贮藏; A: 常温贮藏。

图 10 近冰温贮藏和常温贮藏对不同品种不同成熟度桃果实糖酸比的影响

Fig.10 Effects of near-freezing storage and normal temperature storage on sugar-acid ratio of peaches with different maturity

流失及硬度的下降速度,能更好地保持果实的可溶性固形物含量和果皮色泽,推迟贮藏期间果实 *Ant/Chl*、糖酸比达到峰值的时间,延长果实贮藏时间,与前人的研究结果<sup>[29]</sup>一致。

Boonyakiat 等<sup>[30]</sup>在研究采收成熟度对 d'Anjou

梨品质的影响中发现,最佳采收成熟度下采摘的果实贮藏品质高,不易腐烂;成熟度较高的果实具有良好的抗冷性,但在低温货架期间新陈代谢快,果实内源物质消耗得多,品质下降得快;未成熟果实能保持较高的硬度,但易发生低温冷害,可溶性固形物含

量、糖酸比等品质指标较低,风味不足。周慧娟等<sup>[31]</sup>研究不同成熟度大团蜜露水蜜桃货架期品质与代谢差异发现,八成熟果实在货架期间的呼吸强度较低,显著抑制了可溶性固形物含量、维生素 C 含量等的下降,且生理活性强,有较长的果实生理货架期。本研究发现,在近冰温贮藏末期,上山大玉露、霞晖 8 号、华玉及金童 8 号八、九成熟果实的  $a^*/b^*$ 、 $Ant/Chl$  差异不大,但八成熟果实较九成熟果实能更好地维持果实硬度,且除华玉外,其他果实的可溶性固形物含量、糖酸比均以八成熟最佳。华玉八成熟果实在近冰温贮藏过程中的品质表现优于七成熟果实,但在贮藏末期,七成熟果实的表现更好,八成熟果实与之相差不大,九成熟果实的可溶性固形物含量、糖酸比均低于七、八成熟果实,表明不同成熟度果实的后熟能力不同,这也与前人的研究结果<sup>[32-34]</sup>一致。综上可知,桃果实在近冰温贮藏过程中以八成熟果实的品质表现最佳。

本研究发现,在近冰温贮藏和常温贮藏过程中,桃果实的  $a^*/b^*$ 、 $Ant/Chl$ 、糖酸比的变化趋势表现出极大的相似性。相关研究发现,果皮中可溶性糖的代谢与果皮的转红发生在同一时期,可见花色素苷的合成与可溶性糖、有机酸代谢有密切的关系<sup>[35]</sup>。糖是花色素苷的前体物质,也是花色素苷结构的组成部分<sup>[36]</sup>;此外,糖作为一种信号分子,通过特异的信号转导途径调节花色素苷合成相关酶基因的表达来影响着色<sup>[37]</sup>。宋哲等<sup>[38]</sup>在富士苹果着色研究中发现,糖的积累可以促进花色素苷的合成,其含量可作为苹果着色的直接参考生理指标。吴江等<sup>[39]</sup>研究糖分积累与果皮着色关系发现,糖是果皮着色的重要因子,且果皮花色素苷含量的变化与果皮、果肉中的葡萄糖积累呈极显著正相关。花色素苷的含量随着可溶性糖含量的增加而逐渐积累<sup>[40]</sup>。本试验中,在不同温度贮藏条件下,随着桃果实内源物质的不间断消耗,糖与色素之间的物质转换也在果实的外观色泽上表现出来,相应的色差变化趋势随之变化,但是桃果皮、果肉中糖积累与果皮色素之间关系的内在机制还有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] MEREDITH F I, ROBERTSON J A, HORVAT R J. Changes in physical and chemical parameters associated with quality and post-harvest ripening of harvested peaches[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1989, 37(5): 1210-1214.
- [2] 皮钰珍,马岩松,王善广,等. 桃采后及贮藏生理研究进展[J]. 果树学报,2001,18(1):53-56.
- [3] KING G A, HENDERSON K G, LILL R E. Ultrastructural changes in the nectarine cell wall accompanying ripening and storage in a chilling-resistant and chilling-sensitive cultivar[J]. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 1989, 17(4): 337-344.
- [4] LURIE S, CRISOSTO C H. Chilling injury in peach and nectarine [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(3): 195-208.
- [5] 高 慧,饶景萍,王毕妮,等. 冷害与油桃果实采后生理及贮藏品质的关系[J].食品与发酵工业,2010,36(9):181-185.
- [6] 尹淑涛,薛文通,张 惠. 冰温技术及其在食品保鲜中的应用[J].农产品加工·学刊,2008(7):138-140.
- [7] YAMANE A. Development of controlled freezing-point storage of foods[J]. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, 1982, 29(12): 736-743.
- [8] LIU B, JIANG S, GUO Y L, et al. Experimental studies of kiwi and pear fruit in ice-temperature storage[J]. Defect and Diffusion Forum, 2009, 59: 283-286.
- [9] RIZZOLO A, VANOLI M, VISAI C. Effect of cold storage on volatile constituents of peaches and nectarines[J]. Acta Horticulturae, 1995, 83(379): 467-473.
- [10] ZHANG M, HUAN Y, TAO Q, et al. Studies on preservation of two cultivars of grapes at controlled temperature[J]. LWT - Food Science and Technology, 2001, 34(8): 502-506.
- [11] 刘帮迪,范新光,舒 畅,等. 长时间冰点温度贮藏对杏果实货架品质的影响[J].食品科学,2020,41(1):223-230.
- [12] 徐艳艳. 苹果冰点温度贮藏品质及质构变化研究[D].福州:福建农林大学,2014.
- [13] 申春苗,汪良驹,王文辉,等. 12 个梨品种果实冰点温度的测定与影响因素分析[J].南京农业大学学报,2009,34(1):35-40.
- [14] 范新光. 杏果实采后品质特性及近冰温冷藏技术研究[D].北京:中国农业大学,2018.
- [15] 乔勇进,孙 蕾,吴兴梅,等. 不同成熟度沾化冬枣冰点测定及适宜贮藏温度的研究[J].经济林研究,2005,23(1):10-12.
- [16] ELFALLEH W, GUO L, HE S D, et al. Characteristics of cell wall structure of green beans during controlled freezing point storage[J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(5/6/7/8): 1756-1772.
- [17] 张 璇,孙 娅,王毓宁,等. 不同品种黄桃的冰点温度及其影响因素分析[J].食品科学技术学报,2013,31(4):37-41.
- [18] 朱 麟,凌建刚,尚海涛,等. 冰温对湖景蜜露桃贮藏品质影响[J].食品与机械,2016,32(12):115-118,123.
- [19] VOSS D H. Relating colorimeter measurement of plant color to the Royal Horticultural Society Colour Chart[J]. HortScience, 1992, 27(12): 1256-1260.
- [20] ZAPSALIS C, FRANCI F J. Cranberry anthocyanins[J]. Journal of Food Science, 1965, 30(3): 396-399.

- [21] LICHTENTHALER H K, WELLBURN A R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents[J]. Biochemical Society Transactions, 1983, 11(5): 591-592.
- [22] ZHANG B B, GUO J Y, MA R J, et al. Relationship between the bagging microenvironment and fruit quality in ‘Guibao’ peach [*Prunus persica* (L.) Batsch][J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2015, 90(3):303-310.
- [23] 王育林,陈洪国,彭永宏. 果实采后变温生物学的研究进展[J].果树学报,2001,18(4):234-238.
- [24] ROBERTSON J A, MEREDITH F I, HORVAT R J, et al. Effect of cold storage and maturity on the physical and chemical characteristics and volatile constituents of peaches (cv. Cresthaven)[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(3): 620-624.
- [25] MENG X H, HAN J, WANG Q, et al. Changes in physiology and quality of peach fruits treated by methyl jasmonate under low temperature stress[J]. Food Chemistry, 2009, 114(3): 1028-1035.
- [26] 姜航,张斌斌,宋志忠,等. 1-MCP 和低温处理对采后桃 *endo-PG* 家族基因表达的影响[J].果树学报,2018,35(5):521-530.
- [27] MITCHELL F G, MAYER G, MAXIE E C, et al. Cold storage effects on fresh market peaches, nectarines & plums estimating freezing points using low temperatures to delay internal breakdown[J]. California Agriculture, 1974, 28(10): 12-14.
- [28] ZHAO H D, SHU C, FAN X G, et al. Near-freezing temperature storage prolongs storage period and improves quality and antioxidant capacity of nectarines[J]. Scientia Horticulturae, 2018,228: 196-203.
- [29] 杨慧,赵守涣,史冠莹,等. 近冰温贮藏对香椿嫩芽品质及关键风味物质的影响[J].保鲜与加工,2019,19(5):46-52.
- [30] BOONYAKIAT D, CHEN P M, SPOTTS R A, et al. Effect of harvest maturity on decay and post-harvest life of ‘d’Anjou’ pear[J]. Scientia Horticulturae, 1987, 31(1/2): 131-139.
- [31] 周慧娟,乔勇进,张绍铃,等. 不同成熟度大团蜜露水蜜桃货架期间品质与代谢差异性研究[J].果树学报,2010,27(2):244-250.
- [32] 孙芳娟,韩明玉,赵彩平,等. 采收成熟度对油桃贮藏品质的影响[J].西北植物学报,2007,27(1):183-187.
- [33] 孙芳娟,韩明玉,赵彩萍,等. 不同采收成熟度油桃贮藏效果及果肉细胞超微结构观察[J].果树学报,2009,26(4):450-455.
- [34] 阙娟,谢海艳,金昌海. 桃果实成熟软化过程中生理特性及细胞壁超微结构的变化[J].江苏农业学报,2012,28(5):1125-1129.
- [35] 尹金华,高飞飞,胡桂兵,等. ABA 和乙烯对荔枝果实成熟和着色的调控[J].园艺学报,2001,28(1):65-67.
- [36] 程海燕,李德红. 光、糖与激素影响植物花色苷合成与积累的研究进展[J].亚热带植物科学,2010,39(3):82-86.
- [37] NETA-SHARIR I, SHOSEYOV O, WEISS D. Sugars enhance the expression of gibberellin - induced genes in developing petunia flowers[J]. Physiologia Plantarum, 2000, 109(2):196-202.
- [38] 宋哲,李天忠,徐贵轩.“富士”苹果着色期果皮花青苷与果实糖份及相关酶活性变化的关系[J].中国农学通报,2008,24(4):255-260.
- [39] 吴江,程建徽,杨夫臣,等. 红地球和无核白鸡心葡萄设施栽培条件下糖积累与果实着色的关系[J].果树学报,2007,24(4):444-448.
- [40] 姜卫兵,徐莉莉,翁忙玲,等. 环境因子及外源化学物质对植物花色苷的影响[J].生态环境学报,2009,18(4):1546-1552.

(责任编辑:徐艳)