

# 6个杏李品种间低温贮藏品质差异分析及耐贮藏品种筛选

杨杰<sup>1,4</sup>, 戴娜<sup>2,4</sup>, 田硕<sup>2,4</sup>, 杨玉洁<sup>3,4</sup>, 虎海防<sup>5\*</sup>, 曾斌<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>新疆农业大学园艺学院, 乌鲁木齐 830052; <sup>2</sup>新疆农业大学 林学与风景园林学院, 乌鲁木齐 830052;

<sup>3</sup>塔里木大学园艺与林学院, 新疆阿拉尔 843300; <sup>4</sup>新疆佳木果树学国家长期科研基地,

新疆阿克苏 843100; <sup>5</sup>新疆维吾尔自治区林业科学院, 乌鲁木齐 830000)

**摘要:**【目的】研究味帝等6个杏李品种在(4±1)°C贮藏45 d期间的品质变化规律, 筛选耐贮藏品种。【方法】以新疆温宿县杏李果实为试材, 分别于0、15、30、45 d取样检测果实品质指标, 通过主成分分析构建综合评价模型。【结果】贮藏0 d单果质量排序为味帝>味厚>风味皇后>恐龙蛋>风味玫瑰>味王。贮藏45 d果实硬度降幅最大为恐龙蛋(80%), 最小为味王(47%); 总酸(TA)含量降幅最大为味王(66.10%), 最小为恐龙蛋(35.21%)。味帝(12.82%)、味厚(11.94%)、风味玫瑰(9.66%)、风味皇后(8.98%)的总糖含量在45 d达峰值, 而恐龙蛋、味王在30 d达峰值(9.49%和9.05%)。可溶性固形物含量(SSC)和含水量变化较小, 味帝、味厚保持较高SSC水平。味帝最早腐烂(45 d达53.3%), 味厚最耐贮藏(未腐烂), 贮藏45 d腐烂率排序为恐龙蛋(100%)>味帝(53.3%)>风味玫瑰(40%)>味王(23%)>风味皇后(13.3%)>味厚(0%)。【结论】主成分分析综合品质评价呈现出明显的梯度差异, 其中味厚在综合品质上表现最为突出, 位居首位; 风味皇后与味帝次之, 品质表现优良; 味王与恐龙蛋再次之; 而风味玫瑰在本次分析中综合评分最低, 品质最差。

**关键词:** 杏李; 低温贮藏; 品质; 耐贮藏性; 相关性分析; 主成分分析

中图分类号: S662

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2026)02-0377-17

## Analysis of quality differences among six plumcot varieties during low-temperature storage and selection of storage-tolerant cultivars

YANG Jie<sup>1,4</sup>, DAI Na<sup>2,4</sup>, TIAN Shuo<sup>2,4</sup>, YANG Yujie<sup>3,4</sup>, HU Haifang<sup>5\*</sup>, ZENG Bin<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; <sup>2</sup>College of Forestry and Landscape Architecture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China; <sup>3</sup>College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China; <sup>4</sup>National Long Term Scientific Research Base of Jiamu Fruit Science, Aksu 843100, Xinjiang, China; <sup>5</sup>Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830000, Xinjiang, China)

**Abstract:** 【Objective】As a perennial deciduous fruit tree species, plumcot (*Prunus domestica* × *armeniaca*) exhibits significant physiological fruit drop during the maturation period, which substantially reduces marketable fruit yield. During harvesting operations, the lack of mechanized harvesting equipment and standardized operational procedures leads to prevalent mechanical damage to fruits, including surface abrasions and flesh bruising. Furthermore, infestations by various fruit tree pests and diseases further exacerbate both yield losses and quality deterioration. Postharvest physiological activities, including accelerated respiration and ongoing ripening processes, coupled with improper bulk storage practices, lead to significant fruit decay, quality deterioration, and substantial postharvest losses. Optimal low-temperature storage conditions can effectively delay fruit senescence and decay, activate the antioxidant defense system, and extend storage duration. Monitoring physiological indices associated with

收稿日期: 2025-06-09 接受日期: 2025-07-29

基金项目: 2023年度第2批次新疆维吾尔自治区重点研发专项(2023B02026)

作者简介: 杨杰, 男, 在读硕士研究生, 研究方向为果树学。E-mail: 893057491@qq.com

\*通信作者 Author for correspondence. E-mail: huhaifang1109@sina.com; E-mail: zengbin@xjau.edu.cn

fruit quality provides comprehensive insights into the physiological responses to ambient temperature fluctuations during storage. This study investigated six plumcot cultivars including Weidi, Fengweimeigui, Weiwang, Fengweihuanghou, Konglongdan and Weihou to evaluate their physiological and phenotypic changes under low-temperature storage for identifying the most storage-tolerant varieties. **【Methods】** The storage experiment was conducted at the Jiamu Experimental Station in Wensu County, Aksu Prefecture, Xinjiang, starting in June 2024, using fruits from the plumcot germplasm resource nursery as test materials. Fruit maturity was determined by measuring firmness, soluble solids content (SSC), and color index using a GY-4 fruit firmness tester and an NK-55T handheld digital refractometer. Maturity standards were established based on the typical characteristic reference ranges for each cultivar at commercial maturity under optimal cultivation conditions, reflecting their general ripening performance. The harvest index ranges were determined through comprehensive analysis of our research group's preliminary results, multi-year observational data, and industry standards. Fruits were stored at  $(4\pm 1)$  °C for 45 days with four sampling time points (0, 15, 30, and 45 days). Quality parameters were measured at each interval, their correlations were analyzed, and a comprehensive evaluation model was constructed using principal component analysis. Fruit samples from six plumcot cultivars were collected between June and November 2024. **【Results】** At the onset of storage, the single fruit mass of six plumcot cultivars followed this order: Weidi > Weihou > Fengweihuanghou > Konglongdan > Fengweimeigui > Weiwang. After 45 days of storage, the firmness reduction rates were: Konglongdan (80%), Fengweimeigui (75%), Weidi (68%), Fengweihuanghou (64%), Weihou (50%), and Weiwang (47%). The total acid (TA) content decreased by Weiwang (66.10%), Weihou (63.04%), Fengweihuanghou (51.92%), Weidi (51.72%), Fengweimeigui (38.16%), and Konglongdan (35.21%). The total sugar (TS) dynamics showed Weidi, Weihou, Fengweimeigui, and Fengweihuanghou peaked at storage end (12.82%, 11.94%, 9.66%, and 8.98%, respectively), increasing by 17.12%, 21.90%, 36.94%, and 1.17% from initial values. Konglongdan and Weiwang peaked at day 30 (9.49% and 9.05%, respectively), with 1.88% and 29.84% increases. Throughout storage, water content and soluble solid content (SSC) showed minor fluctuations. Four cultivars of Fengweimeigui, Weiwang, Fengweihuanghou, and Konglongdan maintained above 85% water content, while Weidi and Weihou ranged from 76.81% to 81.72%. Weidi and Weihou consistently exhibited higher SSC levels. Initial water contents of six plumcot varieties followed: Weiwang > Konglongdan > Fengweihuanghou > Fengweimeigui > Weidi > Weihou. Decay susceptibility ranked below: Weidi > Konglongdan > Fengweimeigui > Weiwang > Fengweihuanghou > Weihou. Final decay rates reached: Konglongdan (100%), Weidi (53.3%), Fengweimeigui (40%), Weiwang (23%), Fengweihuanghou (13.33%), and Weihou (0%). Low-temperature storage significantly enhanced both antioxidant enzyme activities and fruit quality. Correlation analysis revealed varying degrees of interindicator relationships with information overlap. Principal component analysis demonstrated Weihou exhibited optimal storage quality and tolerance, followed by Fengweihuanghou and Weidi, and then Weiwang and Konglongdan, with Fengweimeigui showing poorest performance. **【Conclusion】** Physiological indices and storage related phenotypic changes of six plumcot varieties were measured during low temperature storage. The  $(4\pm 1)$  °C storage condition effectively reduced fruit decay, slowed softening rate, balanced internal moisture content, and activated reactive oxygen species scavenging systems, thereby extending storage duration and improving fruit quality. Results demonstrated that Weihou exhibited superior storage quality under  $(4\pm 1)$  °C conditions compared to the other five cultivars, ranking as the most storage tolerant variety, followed by Fengweihuanghou and Weidi, and then Weiwang and Konglongdan, with Fengweimeigui showing the poorest performance. These find-

ings provide theoretical support for postharvest quality maintenance and storage period extension in plumcot fruits. Results indicated that storage at  $(4\pm 1)^{\circ}\text{C}$  effectively preserved the quality of plumcot fruits. Among the tested cultivars, Weihou exhibited the optimal storage performance due to its superior comprehensive characteristics and more efficient antioxidant system, outperforming the other five varieties. The storage quality ranking was as follows: Weihou>Fengweihuanghou>Weidi>Weiwang>Konglongdan>Fengweimeigui. These findings provide critical scientific basis for cultivar selection and postharvest management in the plumcot industry, with significant practical implications for extending shelf life and enhancing commercial value.

**Key words:** Plumcot; Low temperature storage; Quality; Storage resistance; Correlation analysis; Principal component analysis

杏李(*Prunus domestica* × *armeniaca*)属于蔷薇科李属乔木果树,是由美国引进以李(*P. domestica*)和杏(*P. armeniaca*)经过多代种间杂交培育的新型果树品种,其中李的基因占75%,杏的基因占25%<sup>[1]</sup>。目前,杏李在中国新疆栽植的面积近1.4万 $\text{hm}^2$ ,主要分布在阿克苏地区的阿克苏市和库车市,喀什地区的叶城县和莎车县,以及和田地区的和田县等地区,在河南、浙江、湖北、重庆等省(市)大部分地区也均有栽植。新型杏李品种保留了李和杏的优良特性,具有适应性强、丰产稳产、病虫害少、抗干旱等特点,果实具有独特的浓郁芳香味、硕大美观、汁多味甜、营养丰富、经济价值高等优点<sup>[2-3]</sup>。杏李营养丰富,富含多种维生素与氨基酸,具有促进消化及镇咳化痰等功效,是广受欢迎的鲜食时令水果。杏李在国内外市场前景良好,栽培推广价值高<sup>[4-5]</sup>,成为当前备受关注的新型高档水果之一<sup>[6]</sup>。杏李属于呼吸跃变型的核果类果实,因此在运输过程中,由于地区偏远且温度变化波动大,可能导致果实衰老、软化加快、水分流失严重等问题,进而影响货架期。

低温贮藏是目前广泛应用到果蔬采后最便捷、有效的保鲜技术之一。对桃<sup>[7]</sup>、樱桃<sup>[8]</sup>、杏<sup>[9]</sup>、李<sup>[10]</sup>等果实进行低温贮藏后,可以降低腐烂率,延缓硬度下降的速率,提高品质,增强耐贮藏性。此外,低温贮藏条件下过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)会形成活性氧清除系统<sup>[11]</sup>,消除活性氧自由基,提高抗氧化能力,延缓果实衰老,延长果实贮藏期<sup>[12]</sup>。适宜的低温贮藏能够显著延缓果实组织衰老,减少水分流失,抑制微生物生长<sup>[13]</sup>,激活果实抗氧化防御系统,从而维持果实采后品质,延长货架期<sup>[14]</sup>。

虽然越来越多的研究侧重于栽植和保鲜处理对

果实品质的影响,但是缺少对品种间杏李果实低温贮藏过程中品质差异的比较。主成分分析(PCA)作为一种多变量统计方法,可将多指标降维处理,实现果实贮藏品质的客观评价。该方法已成功应用于桃<sup>[15]</sup>、猕猴桃<sup>[16]</sup>等果实的品质分析,能有效提取“风味”和“抗氧化能力”等关键维度,解决多指标信息冗余问题。笔者以6个不同杏李品种果实为研究对象,采用主成分分析法对低温贮藏条件下果实的硬度、可溶性固形物含量、抗氧化酶活性等多项品质指标进行系统评价。通过建立综合评价模型,旨在揭示杏李果实低温贮藏过程中品质变化的动态规律,筛选出最耐贮藏的杏李品种,为提高杏李果实采后品质、延长贮藏期提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

以新疆6个不同杏李品种(风味玫瑰、味帝、风味皇后、味王、恐龙蛋、味厚)的果实为试验材料,实际采收时间分别为2024-07-03、2024-07-08、2024-08-24、2024-08-30、2024-09-08和2024-10-09。采自新疆维吾尔自治区阿克苏地区佳木试验站杏李种质资源库,株行距3 m×3 m,各品种选取果面完整、无病虫害、无病斑、无畸形、无机械损伤的果实各100个,对果实进行防护包装并快递运往新疆林业科学院,放置低温 $(4\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏。表1中所示的日期(采收期)、色泽、口感、果实硬度和可溶性固形物含量等指标性状,为该品种在适宜栽培条件下达到成熟时的典型特征参考范围。各指标的数值范围由本课题组前期研究结果、多年观测经验及行业标准综合确定。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 果实表型指标测定 对风味玫瑰、味帝、风味

表 1 6个不同杏李品种果实经验采收期和各指标性状

Table 1 Fruit harvest time and index traits of six different plumcot varieties

品种 Variety	日期 Date	果皮色泽 Peel color	口感 Palate	果实硬度 Fruit firmness/ (kg·cm <sup>-2</sup> )	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%
风味玫瑰 Fengweimeigui	06-28—07-06	紫黑色 Purplish-black	酸甜适中 Moderate sweetness and sourness	1.263~1.134	20~22
味帝 Weidi	07-03—07-10	浅紫色带红色斑点 Light purple with red spots	较甜 Sweeter	1.125~1.104	15~16
风味皇后 Fengweihuanghou	08-19—08-27	橘黄色 Orange	酸甜适中 Moderate sweetness and sourness	1.210~1.071	16~18
味王 Weiwang	08-26—09-05	紫红色 Purplish-red	酸甜 Sweet and sour	1.332~1.267	11~13
恐龙蛋 Konglongdan	09-02—09-11	黄红伴有斑点 Yellowish-red with spots	酸甜适中 Moderate sweetness and sourness	1.246~1.081	16~18
味厚 Weihou	10-05—10-13	紫黑色有蜡质光泽 Purplish-black with a waxy luster	较甜 Sweeter	1.476~1.276	20~22

皇后、味王、恐龙蛋、味厚6个杏李品种果实开展横径、纵径、果形指数、单果质量的测定。每个品种随机选取20个果实,利用游标卡尺测量果实横径和果实纵径,使用电子秤称质量。果形指数通过果实纵径和果实横径的比值来计算。

1.2.2 果实硬度测定 使用GY-4果实硬度计(乐清市艾德堡仪器有限公司)测定果实硬度。每个处理每次测定时各随机选取3个果实,最终取加权平均值(各杏李品种果实硬度测定为每间隔15 d测定1次,方法同上),每个处理设置3次生物学重复,单位:kg·cm<sup>-2</sup>。

1.2.3 可溶性固形物含量测定 使用NK-55T手持高精度数显折光仪(天津瞭望光电科技有限公司)测定可溶性固形物含量(SSC)。仪器用蒸馏水调零后擦干,每个处理随机选取3个果实,取2~3滴果汁进行测定,每个处理设置3次生物学重复,单位:%。

1.2.4 果实腐烂率 腐烂率/% =

$$\frac{(\text{贮藏前果实总数} - \text{贮藏结束后未腐烂果总数})}{\text{贮藏前果实总数}} \times 100。$$

1.2.5 果实含水量测定 将称量纸放置万分之一天平上称量,记录数值 $m_0$ 。随机选取3个果实样品,分别用美工刀切取薄片于称量纸上,称质量并记录数值 $m_1$ ,放置于105℃烘箱中恒温干燥,待测样品至恒质量,记录数值 $m_2$ , (称量时3次重复),计算差值得果实含水量。每个处理设置3次生物学重复,对同一处理的果样含水量结果取平均值。按照下列公式进行计算:

$$\text{果实含水量}/\% = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \times 100。$$

1.2.6 果实总糖、总酸含量测定 采用硫酸蒽酮法<sup>[17]</sup>测定果实总糖含量,参考GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定-酸碱指示剂滴定法》测定果实总酸含量,计算结果以重复性条件下获得的3次独立测定结果的算术平均值表示,结果保留到小数点后两位,每个处理设置3次生物学重复。

1.2.7 果实过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性测定 由上海酶联生物科技有限公司购买的试剂盒测定过氧化物酶、多酚氧化酶、超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性。

过氧化物酶活性以每g组织在每mL反应体系中每minA470变化0.005为一个活力单位,每个处理设置3次生物学重复。即:

$$\text{POD}(\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = \Delta A \times V_{\text{反总}} / (W \times V_{\text{样}} / V_{\text{样总}}) / 0.005 / T。$$

式中, $V_{\text{反总}}$ :反应体系总体积,0.2 mL; $V_{\text{样}}$ :加入样本体积,0.01 mL; $V_{\text{样总}}$ :加入提取液体积,1 mL; $T$ :反应时间,1 min; $W$ :样本质量(g)。

多酚氧化酶活性以每min每g组织在每mL反应体系中使525 nm处吸光值变化0.005为1个酶活单位,每个处理设置3次生物学重复。即:

$$\text{PPO}(\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = \Delta A \times V_{\text{反总}} / (W \times V_{\text{样}} / V_{\text{样总}}) / 0.005 / T。$$

式中, $V_{\text{反总}}$ :反应体系总体积,0.3 mL; $V_{\text{样}}$ :加入样本体积,0.05 mL; $V_{\text{样总}}$ :加入提取液体积,1 mL; $T$ :反应时间,10 min; $W$ :样本质量(g)。

超氧化物歧化酶活性在黄嘌呤氧化酶偶联反应体系中抑制率为50%时,反应体系中超氧化物歧化酶活力定义为1个酶活力单位,每个处理设置3次生物学重复。即:

SOD活性( $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )=[抑制百分率/(1-抑制百分率) $\times V_{反总}$ ]/( $W \times V_{样}/V_{样总}$ );

抑制百分率/%=( $A_{空白管} - A_{测定管}$ )/( $A_{空白管} - A_{对照管}$ ) $\times 100$ 。

式中, $V_{反总}$ :反应体系总体积,0.2 mL; $V_{样}$ :加入反应体系中样本体积,0.02 mL; $V_{样总}$ :加入提取液体积,1 mL; $W$ :样本质量(g)。

过氧化氢酶活性以每g组织每min催化1  $\mu mol$   $H_2O_2$ 降解定义为1个酶活力单位,每个处理设置3次生物学重复。即:

CAT( $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )=[ $\Delta A \times V_{反总}/(\epsilon \times d) \times 106$ ]/( $W \times V_{样}/V_{样总}$ )/ $T$ 。

式中, $V_{反总}$ :反应体系总体积, $2 \times 10^{-4}$  L; $\epsilon$ : $H_2O_2$ 摩尔消光系数, $43.6 L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ ;  $d$ :96孔板光径,0.5 cm; $V_{样}$ :加入样本体积,0.01 mL; $V_{样总}$ :加入提

取液体积,1 mL; $T$ :反应时间,1 min; $W$ :样本质量(g)。

### 1.3 数据处理

采用Excel进行试验数据处理和制表,采用SPSS 27.0软件进行方差分析(Duncan,  $P < 0.05$ )、相关性(Pearson)分析和主成分分析,采用Origin 2021软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同杏李品种果实的表型指标

如表2所示,果实横径以味帝(52.99 mm)、风味皇后(52.24 mm)和味厚(51.48 mm)较大,均显著大于味王(44.45 mm)。果实纵径表现为味帝(47.63 mm)最大,显著高于风味玫瑰(38.54 mm)。6个品种的果形指数范围为0.81~0.94,其中味王(0.94)显著高于其他品种,而风味玫瑰(0.81)最低。味帝的单果质量最大(83.01 g),显著高于其他品种;风味皇后(74.76 g)、恐龙蛋(73.03 g)和味厚(77.26 g)次之,三者间无显著差异;风味玫瑰(55.17 g)和味王(45.25 g)单果质量偏小。

表2 6个杏李品种的果实表型指标

Table 2 Fruit phenotypic indexes of six plumcot varieties

品种 Variety	果实横径 Fruit transverse diameter/mm	果实纵径 Longitudinal diameter of the fruit/mm	果形指数 Fruit shape index	单果质量 Single fruit mass/g
味帝 Weidi	52.99 $\pm$ 1.37 a	47.63 $\pm$ 1.80 a	0.90 $\pm$ 0.04 b	83.01 $\pm$ 6.40 a
风味玫瑰 Fengweimeigui	47.70 $\pm$ 3.21 b	38.54 $\pm$ 2.25 d	0.81 $\pm$ 0.02 d	55.17 $\pm$ 9.67 c
味王 Weiwang	44.45 $\pm$ 1.82 c	41.78 $\pm$ 2.11 c	0.94 $\pm$ 0.05 a	45.25 $\pm$ 5.17 d
风味皇后 Fengweihuanghou	52.24 $\pm$ 3.41 a	45.24 $\pm$ 2.62 b	0.87 $\pm$ 0.03 c	74.76 $\pm$ 10.90 b
恐龙蛋 Konglongdan	51.46 $\pm$ 1.66 a	46.17 $\pm$ 1.71 b	0.90 $\pm$ 0.02 b	73.03 $\pm$ 6.59 b
味厚 Weihou	51.48 $\pm$ 2.79 a	45.54 $\pm$ 2.72 b	0.89 $\pm$ 0.03 bc	77.26 $\pm$ 12.76 b

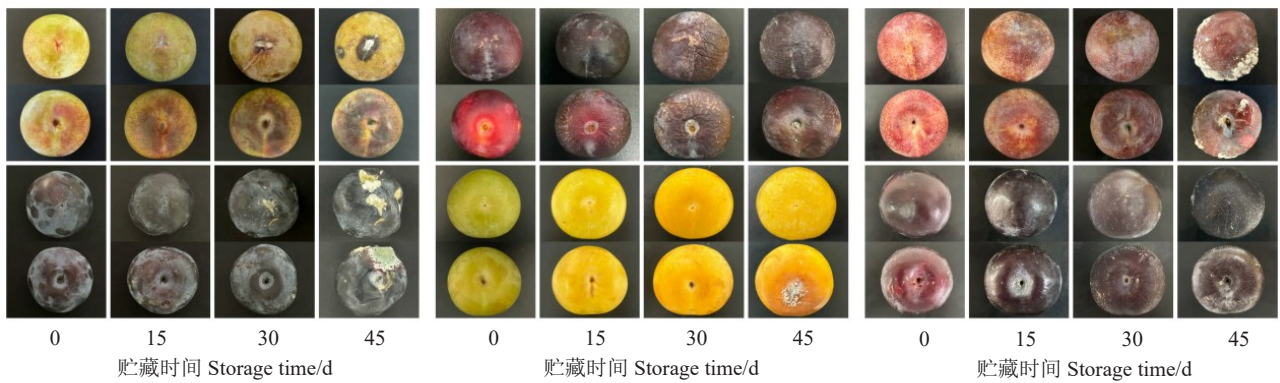
注:同列数据后不同小写字母表示品种间差异显著( $P < 0.05$ )。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among varieties ( $P < 0.05$ ).

### 2.2 低温贮藏下杏李果实外观表型的变化

由图1可知,在( $4 \pm 1$ )  $^{\circ}C$ 下味帝贮藏0 d时,果实具有其固有的色泽,果皮浅紫绿色稍带红色斑点;从15 d开始,自果实顶部开裂处出现少量霉菌,底部开始出现暗沉、腐烂现象,外观品质下降;30 d时,果实顶部白色霉菌滋生较多,底部腐烂面积增大,失去品种特有的商品价值;45 d时,果实顶部汇聚大量白色霉菌,且霉菌周边开始变黑,底部严重腐烂、软化。风味玫瑰在( $4 \pm 1$ )  $^{\circ}C$ 下贮藏0 d时,表现出较好的品质,果皮紫黑色;但贮藏15 d时,果皮开始出现褶皱和软化现象;30 d时,果实顶部出现白色霉菌,

外观品质下降;45 d时,果实顶部及周围均出现大量白色霉状物,软化严重,失去品种特有的商品价值。味王在( $4 \pm 1$ )  $^{\circ}C$ 下贮藏前30 d未出现腐烂,随着贮藏时间的延长果实逐渐出现褶皱,失去固有色泽;45 d时,果实底部出现腐烂、软化的现象,且还出现微量的霉菌。风味皇后在( $4 \pm 1$ )  $^{\circ}C$ 下贮藏前30 d未出现腐烂,果皮颜色由浅绿色转变为橘黄色,表现出较好的外观品质;45 d时,果实底部出现白色霉菌且伴有明显的腐烂现象,失去品种特有的商品价值。恐龙蛋在( $4 \pm 1$ )  $^{\circ}C$ 下贮藏0 d时,果实具有其固有的色泽,果皮黄红伴有斑点;15 d时,果实近1/4面积出



味帝(左上)、风味玫瑰(左下)、味王(中上)、风味皇后(中下)、恐龙蛋(右上)、味厚(右下)。

Weidi (top left), Fengweimeigui (bottom left), Weiwang (top middle), Fengweihuanghou (bottom middle), Konglongdan (top right), Weihou (bottom right).

图 1 低温贮藏下杏李果实外观表型

Fig. 1 Appearance phenotype of plumcot fruits under low temperature storage

现软化,外观品质下降;30 d时,果实底部出现明显的软化现象;45 d时,果实表面汇聚大量的白色霉菌,软化严重,失去品种特有的商品价值。味厚在(4±1) °C下整个贮藏期间均表现出良好的贮藏特性,没有腐烂、霉菌的发生。

2.3 低温贮藏下杏李果实腐烂率的变化

腐烂率是评价果实品质劣变的重要指标之一。由图2可知,在(4±1) °C贮藏期间,不同杏李品种果实出现腐烂情况的先后顺序为:味帝、恐龙蛋、风味玫瑰、味王、风味皇后。味帝果实在贮藏15 d时腐烂率即达6.70%,至30 d时腐烂率高达30%,至45 d腐烂率达到了53.3%。恐龙蛋果实在贮藏15 d时腐烂

率即达10%,至30 d时腐烂率已经高达57.7%,相比贮藏15 d时腐烂率提高了47.7个百分点,至45 d时已经全部腐烂。风味玫瑰和味王均在贮藏30 d时开始腐烂,腐烂率分别为20%、10%,直至45 d分别为40.0%、23.0%。风味皇后果实贮藏至45 d时才开始腐烂,腐烂率为13.33%。味厚在整个贮藏期间未发生腐烂现象,表现出良好的贮藏特性。

2.4 低温贮藏下杏李果实内在品质的变化

2.4.1 低温贮藏下杏李果实硬度的变化 由图3可知,在(4±1) °C贮藏期间,不同贮藏时间点,果实硬

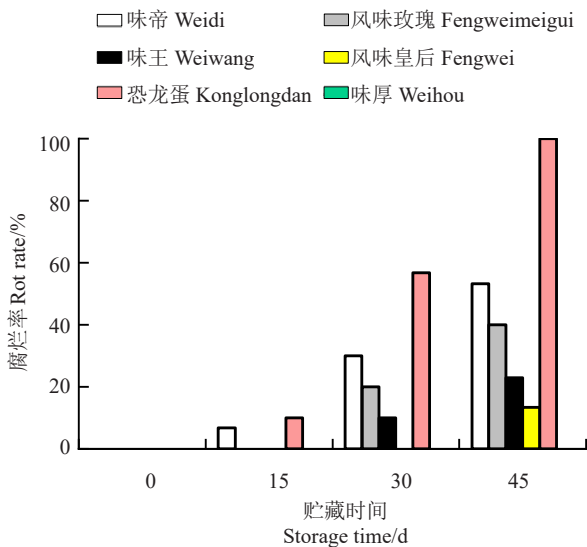
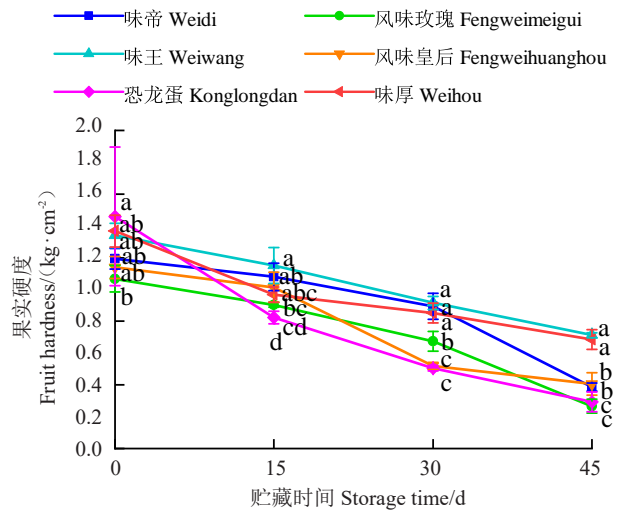


图 2 6个杏李品种果实低温贮藏下腐烂率的变化

Fig. 2 Changes of fruit decay rate of six plumcot varieties under low temperature storage



不同小写字母表示同一时间点不同品种间差异显著(P<0.05)。下同。

Different small letters indicate significant differences among different varieties at the same time point (P<0.05). The same below.

图 3 6个杏李品种果实低温贮藏下硬度的变化

Fig. 3 Changes of fruit firmness of six plumcot varieties under low temperature storage

度呈现品种间差异。贮藏0 d时,恐龙蛋硬度最大(1.46 kg·cm<sup>-2</sup>),在贮藏0 d和贮藏45 d时,风味玫瑰硬度均最低,分别为1.07和0.27 kg·cm<sup>-2</sup>,表明其果肉质地细腻但易软化。随着贮藏时间的延长,6个杏李品种果实的硬度均表现出逐渐下降的趋势。贮藏0~15 d,恐龙蛋的硬度下降变化最为明显,由1.46下降至0.82 kg·cm<sup>-2</sup>,其次是味厚,由1.37下降至0.97 kg·cm<sup>-2</sup>;贮藏15~30 d,风味皇后的硬度下降变化最为明显,由1.01下降至0.50 kg·cm<sup>-2</sup>;贮藏30~45 d,味帝和风味玫瑰的硬度均明显下降,依次分别由0.89下降至0.39 kg·cm<sup>-2</sup>和0.67下降至0.27 kg·cm<sup>-2</sup>。贮藏45 d与贮藏0 d相比,恐龙蛋、风味玫瑰、味帝、风味皇后、味厚、味王6个杏李品种果实硬度分别下降了80%、75%、68%、64%、50%、47%。这表明6个杏李品种果实在(4±1) °C贮藏条件下,恐龙蛋硬度总降幅最大,风味玫瑰次之,二者软化速率快,耐贮藏性差;味厚和味王降幅最小,贮藏性最佳。

**2.4.2 低温贮藏下杏李果实SSC的变化** 由图4可知,在(4±1) °C贮藏期间,不同贮藏时间点,SSC呈现品种间差异。在贮藏45 d,味厚的SSC最高(23.33%),显著高于味王(10.67%)。味王在每个贮藏时间点的SSC均低于其他品种。随着贮藏时间的延长,味帝、风味玫瑰、味王和风味皇后果实的SSC均呈先上升后下降的趋势,味厚果实的SSC呈先下降后上升的趋势,而恐龙蛋呈先下降后上升再

下降的趋势。味帝、风味玫瑰和风味皇后的SSC峰值均出现在15 d,相比贮藏0 d分别上升了2.86%、11.54%、11.54%,味王和恐龙蛋的SSC峰值均出现在30 d,相比贮藏0 d分别上升了24.39%和5.77%。在整个低温贮藏期间,味帝和味厚的SSC均保持着较高水平,表明低温贮藏能减缓糖类物质的分解和消耗,延缓果实成熟和衰老。

**2.4.3 低温贮藏下杏李果实含水量的变化** 由图5可知,在(4±1) °C贮藏期间,在同一时间点下,含水量呈现品种间差异。贮藏0 d,含水量由高到低排序为味王>恐龙蛋>风味皇后>风味玫瑰>味帝>味厚。贮藏45 d时,恐龙蛋(90.15%)含水量显著高于味厚(79.75%)。6个杏李品种果实的含水量均表现出较小的变化,其中味王、风味玫瑰、恐龙蛋和风味皇后在整个贮藏期间含水量均保持在85%以上,味帝和味厚保持在76.81%~81.72%。各品种果实含水量变化幅度平缓,说明(4±1) °C低温能够较好地维持果实水分,减少流失,保持果实新鲜。

**2.4.4 低温贮藏下杏李果实总酸(TA)含量的变化** 由图6可知,在(4±1) °C贮藏期间,不同时间点,TA含量呈现品种间差异。在贮藏0 d时,味帝的TA含量最高(9.90%),味厚的TA含量最低(3.93%),味帝比味厚的TA含量高出了2.5倍。味帝/味厚在各贮藏时间点下TA含量均最高/最低。随着贮藏时间的延长,6个杏李品种果实的TA含量总体呈下降

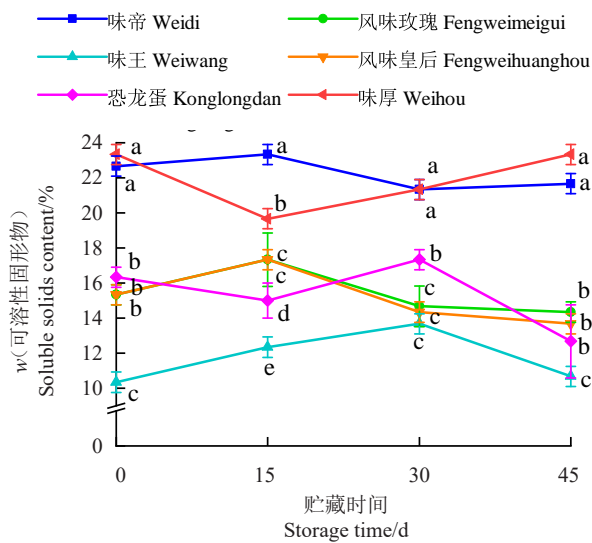


图4 6个杏李品种果实低温贮藏下可溶性固形物含量的变化

Fig. 4 Changes of soluble solid content in fruits of six plumcot varieties under low temperature storage

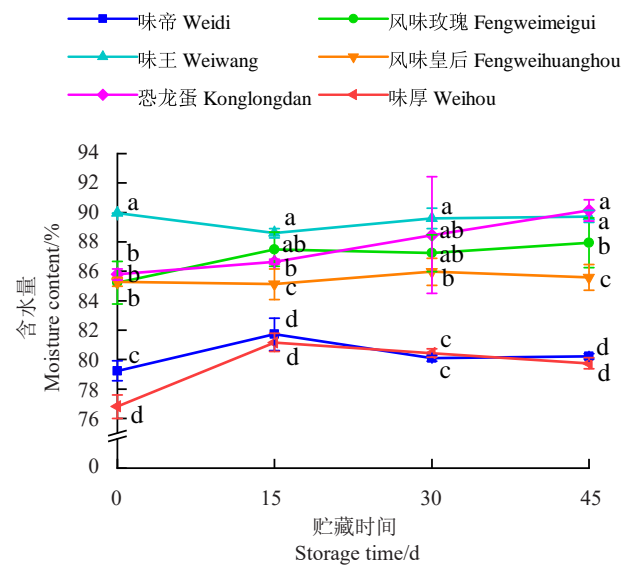


图5 6个杏李品种果实低温贮藏下含水量的变化

Fig. 5 Changes of fruit moisture content of six plumcot varieties under low temperature storage

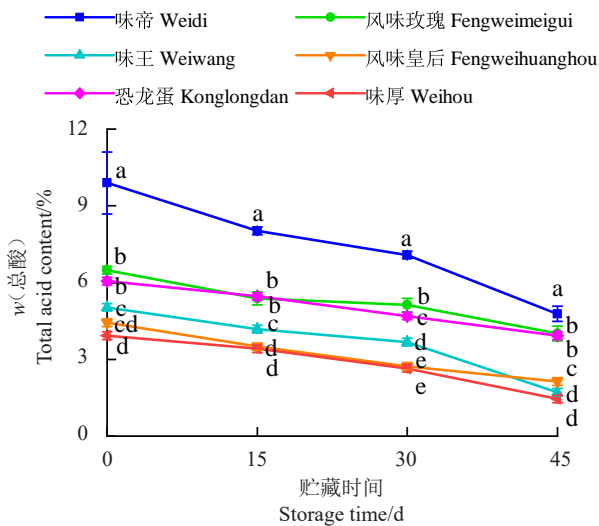


图 6 6个杏李品种果实低温贮藏下总酸含量的变化  
Fig. 6 Changes of total acid content in fruits of six plumcot varieties under low temperature storage

趋势。贮藏45 d与贮藏0 d相比,味王、味厚、风味皇后、味帝、风味玫瑰、恐龙蛋6个杏李品种果实TA含量分别下降了66.10%、63.04%、51.92%、51.72%、38.16%、35.21%,表明在整个贮藏期间味王和味厚果实TA含量下降幅度最大,其次是风味皇后和味帝,风味玫瑰和恐龙蛋TA含量变化最小。

2.4.5 低温贮藏下杏李果实总糖(TS)含量的变化 由图7可知,在(4±1) °C贮藏期间,不同时间点,TS含量呈现品种间差异。味帝在各时间点下TS含量均显著最高,贮藏0 d时,风味玫瑰TS含量

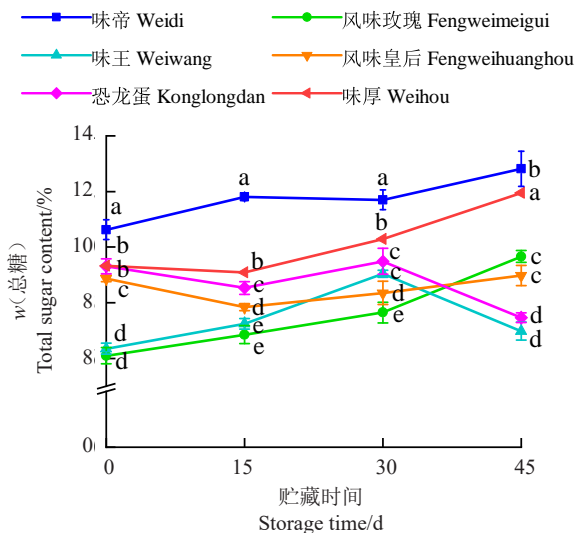


图 7 6个杏李品种果实低温贮藏下总糖含量的变化  
Fig. 7 Changes of total sugar content in fruits of six plumcot varieties under low temperature storage

最低(6.09%),其次是味王(6.35%)。贮藏45 d时,味帝(12.82%)TS含量显著高于味王(6.98%)。随着贮藏时间的延长,味帝和风味玫瑰果实的TS含量总体呈上升趋势,味厚和风味皇后果实的TS含量呈先下降后上升的变化趋势,恐龙蛋果实的TS含量呈先下降后上升再下降的变化趋势,味王呈先上升后下降的变化趋势。在贮藏45 d,味帝、味厚、风味玫瑰和风味皇后的TS含量达到了峰值,分别为12.82%、11.94%、9.66%、8.98%,与贮藏0 d相比分别上升了17.12%、21.90%、36.94%、1.17%。在贮藏30 d时,恐龙蛋和味王的TS含量达到了峰值,分别为9.49%、9.05%,与贮藏0 d相比分别上升了1.88%、29.84%。

2.5 低温贮藏下杏李果实相关酶活性的变化

2.5.1 低温贮藏下杏李果实过氧化物酶活性的变化 由图8可知,在(4±1) °C贮藏期间,不同时间点,POD活性呈现品种间差异。在贮藏15 d时,风味皇后POD活性最高(1122.67 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),显著高于其他品种,其次是味王(976.67 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),味帝POD活性为298.67 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,而风味玫瑰POD活性最低,为236.00 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>。随着贮藏时间的延长,风味皇后、味王、恐龙蛋果实POD活性均呈先上升后下降再上升的变化趋势;味帝、风味玫瑰果实POD活性呈先下降后上升的变化趋势,味厚呈先下降后上升再下降的变化趋势。在贮藏15 d时,风味皇后、味王、恐龙蛋果实的POD活性达到峰值,与贮藏0 d相比分别上升了67.81%、54.68%和38.26%。在贮藏45 d时,味帝和风味玫瑰果实的POD活性达到峰值,与贮藏0 d相比分别上升了47.39%、30.26%,在贮藏30 d时,味厚果实POD活性达到峰值,与贮藏0 d相比上升了37.06%。

2.5.2 低温贮藏下杏李果实多酚氧化酶活性的变化 由图9可知,在(4±1) °C贮藏期间,不同时间点,PPO活性呈现品种间差异。在贮藏15 d时,风味皇后PPO活性最高(1056.00 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),显著高于其他品种,其次是味王(859.44 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),在贮藏30和45 d时,味厚PPO活性均最低,分别是192.76和204.04 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,显著低于其他品种。在贮藏15 d时,除风味玫瑰以外,其他5个杏李品种果实PPO活性均呈现上升趋势,味王、风味皇后和味厚果实的PPO活性达到峰值,与贮藏0 d相比分别上升了40.26%、48.26%、23.70%。在贮藏30 d时,恐龙蛋

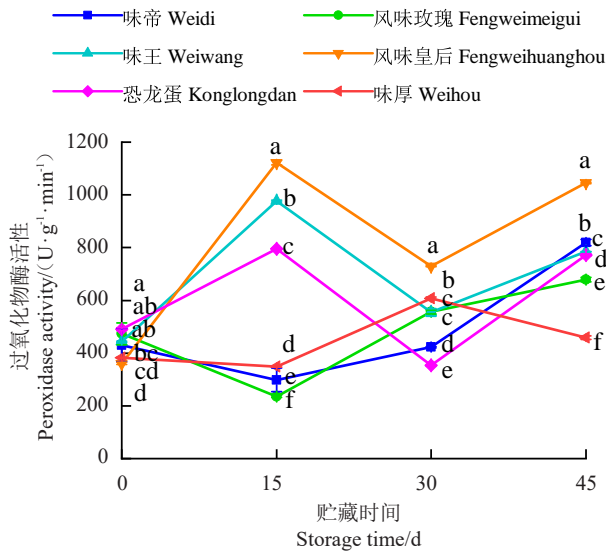


图8 6个杏李品种果实低温贮藏下过氧化物酶活性的变化

Fig. 8 Changes of peroxidase activity in fruits of six plumcot varieties under low temperature storage

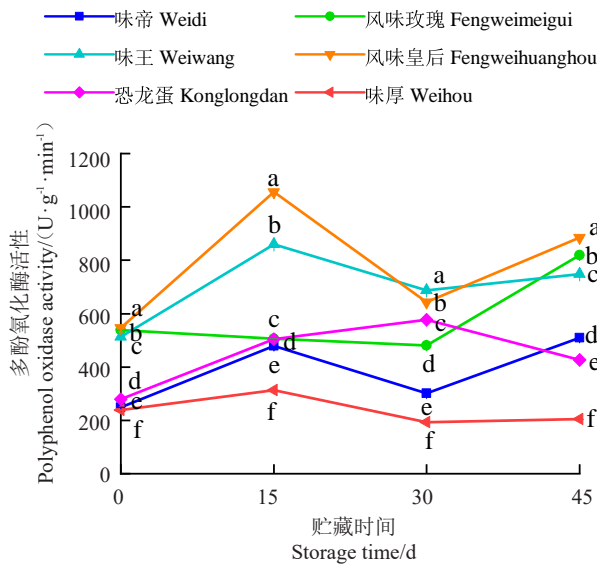


图9 6个杏李品种果实低温贮藏下多酚氧化酶活性的变化

Fig. 9 Changes of polyphenol oxidase activity of six plumcot varieties under low temperature storage

果实 PPO 活性达到峰值,与贮藏 0 d 相比上升了 51.64%。在贮藏 45 d,味帝和风味玫瑰果实 PPO 活性达到峰值,与贮藏 0 d 相比分别上升了 51.33%、34.26%。

2.5.3 低温贮藏下杏李果实超氧化物歧化酶活性的变化 由图 10 可知,在(4±1) °C 贮藏期间,不同时间点,SOD 活性呈现品种间差异。在贮藏 15 d 时,风味玫瑰 SOD 活性最高(343.84 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),而在贮藏 30 d 时,风味皇后 SOD 活性最高(349.16 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),味王 SOD 活性最低(139.60 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)。随着贮藏时间的延长,6 个杏李果实的 SOD 活性整体均呈先上升后下降的趋势。在贮藏 15 d 时,风味玫瑰、味厚、恐龙蛋、味帝和味王的 SOD 活性达到峰值,与贮藏 0 d 相比分别上升了 15.56%、18.25%、36.74%、7.50%、4.75%。贮藏 30 d 时,风味皇后的 SOD 活性达到峰值,与贮藏 0 d 相比上升了 32.42%。

玫瑰 SOD 活性最高(343.84 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),而在贮藏 30 d 时,风味皇后 SOD 活性最高(349.16 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),味王 SOD 活性最低(139.60 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)。随着贮藏时间的延长,6 个杏李果实的 SOD 活性整体均呈先上升后下降的趋势。在贮藏 15 d 时,风味玫瑰、味厚、恐龙蛋、味帝和味王的 SOD 活性达到峰值,与贮藏 0 d 相比分别上升了 15.56%、18.25%、36.74%、7.50%、4.75%。贮藏 30 d 时,风味皇后的 SOD 活性达到峰值,与贮藏 0 d 相比上升了 32.42%。

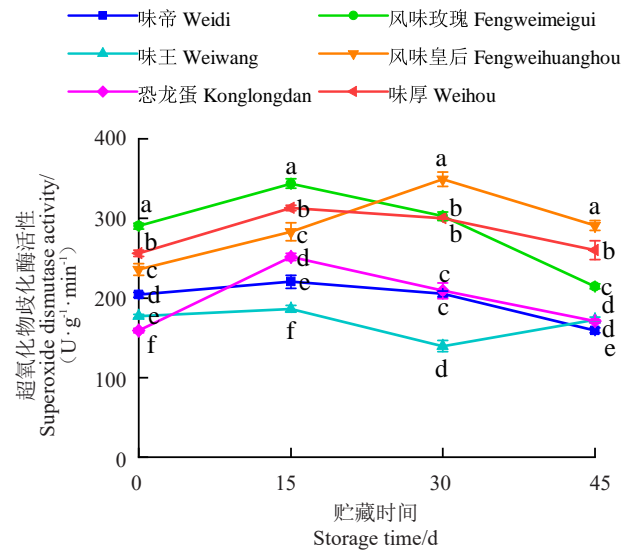


图 10 6个杏李品种果实低温贮藏下超氧化物歧化酶活性的变化

Fig. 10 Changes of superoxide dismutase activity in fruits of six plumcot varieties under low temperature storage

2.5.4 低温贮藏下杏李果实过氧化氢酶活性的变化 由图 11 可知,在(4±1) °C 贮藏期间,不同时间点,CAT 活性呈现品种间差异。在贮藏 15 d 时,味王的 CAT 活性最高(69.39 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),显著高于其他品种,而在贮藏 30 d 时,恐龙蛋的 CAT 活性最高(65.98 U·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>),显著高于其他品种。随着贮藏时间的延长,6 个杏李果实的 CAT 活性整体均呈先上升后下降的趋势。在贮藏 15 d 时,味王、味帝和风味玫瑰的 CAT 活性达到峰值,与 0 d 相比分别上升了 38.42%、33.13%、41.26%。贮藏 30 d 时,恐龙蛋、味厚和风味皇后的 CAT 活性达到峰值,与贮藏 0 d 相比分别上升了 58.48%、38.16%、49.19%。

2.6 低温贮藏下6个杏李品种果实性状的相关性分析 进一步分别对味帝、风味玫瑰、味王、风味皇后、

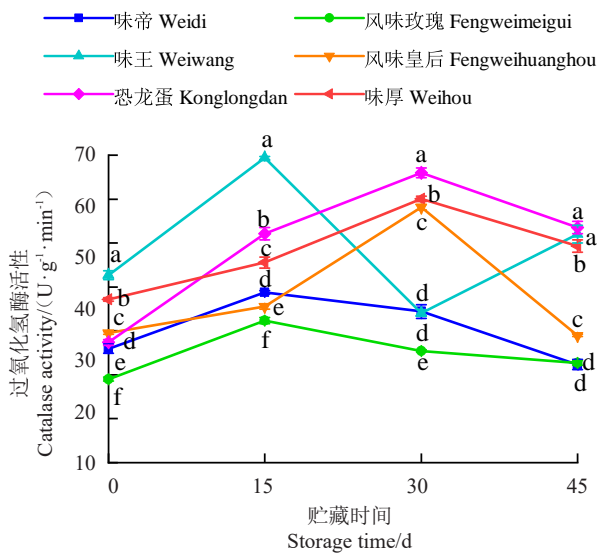


图 11 6 个杏李品种果实低温贮藏下过氧化氢酶活性的变化

Fig. 11 Changes of catalase activity in fruits of six plumcot varieties under low temperature storage

恐龙蛋和味厚的果实横径、果实纵径、单果质量、SSC、硬度、TS 含量等 13 个性状进行相关性分析(图 12)。

图 12- I 结果显示, 味帝果实横径与 CAT 活性呈显著正相关; 果实纵径与果形指数呈极显著正相关, 与 TA 含量呈极显著负相关, 与单果质量和硬度呈显著负相关; 果形指数与单果质量、硬度、TA 含量以及 SOD 活性呈显著负相关, 与 POD 活性呈显著正相关; 硬度与 TA 含量和 SOD 活性呈极显著正相关, 与 TS 含量和 POD 活性呈极显著负相关, 与 PPO 活性呈显著负相关; 含水量与 PPO 活性和 CAT 活性呈显著正相关; TA 含量与 TS 含量和 POD 活性呈极显著负相关, 与 SOD 活性呈极显著正相关, 与 PPO 活性呈显著负相关; TS 含量与 POD 活性呈显著正相关, 与 PPO 活性呈极显著正相关, 与 SOD 活性呈显著负相关; POD 活性与 SOD 活性和 CAT 活性呈极显著负相关; SOD 活性与 CAT 活性呈极显著正相关, 其余性状间的相关性不显著。

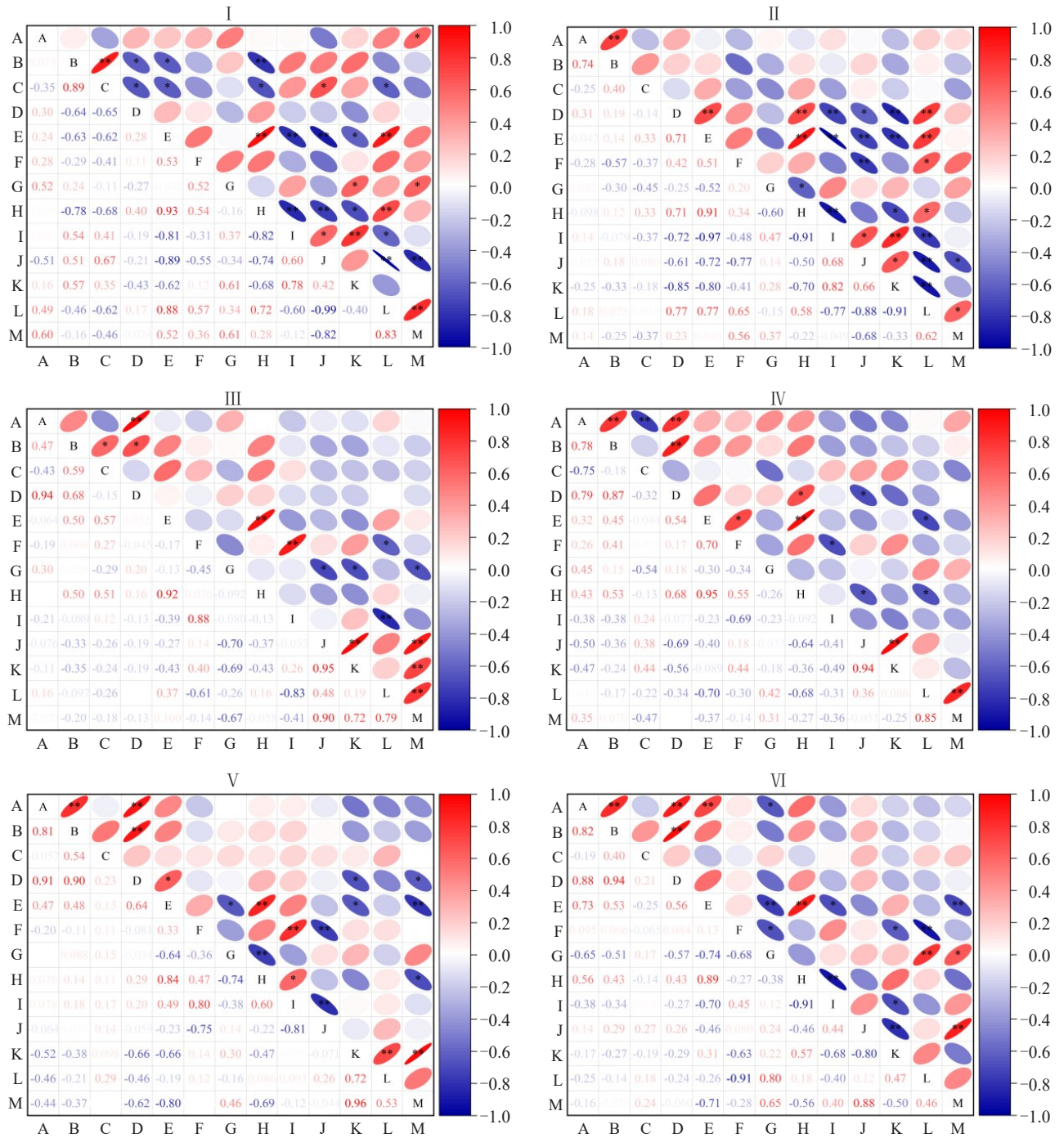
图 12- II 结果显示, 风味玫瑰果实横径与果实纵径呈极显著正相关; 单果质量与硬度、TA 含量以及 SOD 活性呈极显著正相关, 与 TS 含量和 PPO 活性呈极显著负相关, 与 POD 活性呈显著负相关; 硬度与 TA 含量和 SOD 活性呈极显著正相关, 与 TS 含量、POD 活性和 PPO 活性呈极显著负相关; SSC 与

POD 活性呈极显著负相关, 与 SOD 活性呈显著正相关; 含水量与 TA 含量呈显著负相关; TA 含量与 TS 含量呈极显著负相关, 与 PPO 活性呈显著负相关, 与 SOD 活性呈显著正相关; TS 含量与 POD 活性呈显著正相关, 与 PPO 活性呈极显著正相关, 与 SOD 活性呈极显著负相关; POD 活性与 PPO 活性呈显著正相关, 与 SOD 活性呈极显著负相关, 与 CAT 活性呈显著负相关; PPO 活性与 SOD 活性呈极显著负相关; SOD 活性与 CAT 活性呈显著正相关, 其余性状间的相关性不显著。

图 12-III 结果显示, 味王果实横径与单果质量呈极显著正相关; 果实纵径与果形指数和单果质量呈显著正相关; 硬度与 TA 含量呈极显著正相关; SSC 与 TS 含量呈极显著正相关, 与 SOD 活性呈显著负相关; 含水量与 POD 活性、PPO 活性以及 CAT 活性呈显著负相关; TS 含量与 SOD 活性呈极显著负相关; POD 活性与 PPO 活性和 CAT 活性呈极显著正相关; PPO 活性与 CAT 活性呈极显著正相关; SOD 活性与 CAT 活性呈极显著正相关, 其余性状间的相关性不显著。

图 12-IV 结果显示, 风味皇后果实横径与果实纵径和单果质量呈极显著正相关, 与果形指数呈极显著负相关; 果实纵径与单果质量呈极显著正相关; 单果质量与 TA 含量呈显著正相关, 与 POD 活性呈显著负相关; 硬度与 SSC 呈显著正相关, 与 TA 含量呈极显著正相关, 与 SOD 活性呈显著负相关; SSC 与 TS 含量呈显著负相关; TA 含量与 POD 活性和 SOD 活性呈显著负相关; POD 活性与 PPO 活性呈极显著正相关; SOD 活性与 CAT 活性呈极显著正相关, 其余性状间的相关性不显著。

图 12-V 结果显示, 恐龙蛋果实横径与果实纵径和单果质量呈极显著正相关; 果实纵径与单果质量呈极显著正相关; 单果质量与硬度呈显著正相关, 与 PPO 活性和 CAT 活性呈显著负相关; 硬度与含水量和 PPO 活性呈显著负相关, 与 TA 含量呈极显著正相关, 与 CAT 活性呈极显著负相关; SSC 与 TS 含量呈极显著正相关, 与 POD 活性呈极显著负相关; 含水量与 TA 含量呈极显著负相关; TA 含量与 TS 含量呈显著正相关, 与 CAT 活性呈显著负相关; TS 含量与 POD 活性呈极显著负相关; PPO 活性与 SOD 活性和 CAT 活性呈极显著正相关, 其余性状间的相关性不显著。



\*和\*\*分别表示在  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  水平下的显著和极显著相关。图 12-(I-VI)依次代表:味帝、风味玫瑰、味王、风味皇后、恐龙蛋和味厚低温贮藏下果实性状的相关性热图。A. 果实横径;B. 果实纵径;C. 果形指数;D. 单果质量;E. 硬度;F. 可溶性固形物含量;G. 含水量;H. 总酸含量;I. 总糖含量;J. POD 活性;K. PPO 活性;L. SOD 活性;M. CAT 活性。

\* and \*\* represent significant and extremely significant correlations at the  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  levels, respectively. Fig. 12-(I-VI) represents: Weidi, Fengweimeigui, Weiwang, Fengweihuanghou, Konglongdan and Weihou correlation heat map of fruit traits during low temperature storage. A. Fruit diameter; B. Fruit vertical; C. Fruit shape index; D. Single fruit mass; E. Hardness; F. Soluble solids content; G. Moisture content; H. Total acidity content; I. Total sugar content; J. Peroxidase activity; K. Polyphenol oxidase activity; L. Superoxi dedismutase activity; M. Catalase activity.

图 12 6个杏李品种果实低温贮藏下性状指标的相关性分析

Fig. 12 Correlation analysis of fruit traits index of six plumcot varieties under low temperature storage

图 12-VI 结果显示,味厚果实横径与果实纵径、单果质量和硬度呈极显著正相关,与含水量呈显著

负相关;果实纵径与单果质量呈极显著正相关;硬度与含水量和 CAT 活性呈极显著负相关,与 TA 含

量呈极显著正相关,与TS含量呈显著负相关;SSC与含水量和PPO活性呈显著负相关,与SOD活性呈极显著负相关;含水量与SOD活性呈极显著正相关,与CAT活性呈显著正相关;TA含量与TS含量呈极显著负相关;TS含量与PPO活性呈显著负相关;POD活性与PPO活性呈极显著负相关,与CAT活性呈极显著正相关,其余性状间的相关性不显著。

### 2.7 6个杏李品种果实低温贮藏期间品质指标的主成分分析

2.7.1 数据标准化处理 由于杏李果实的9个指标(硬度、SSC、含水量、TA含量、TS含量、POD活性、PPO活性、SOD活性、CAT活性)的单位量纲不同,因此需要先对9个指标的原始数据采用SPSS 27.0软件进行标准化处理。

2.7.2 主成分分析和综合评价 为了探究6个杏李品种果实采后低温贮藏对生理生化指标的影响,对杏李果实的9个品质指标进行主成分分析。首先,将标准化的数据进行主成分分析,得出杏李果实主成分原始数据标准化后的特征值、方差贡献率及累

计方差贡献率,结果见表3。结果表明,一共提取出5个主成分,第一主成分特征值为2.685,方差贡献率为29.834%;第二主成分特征值为1.738,方差贡献率为19.311%;第三主成分特征值为1.318,方差贡献率为14.647%;第四主成分特征值为1.195,方差贡献率为13.279%;第五主成分特征值为1.180,方差贡献率为13.111%。5个主成分累计方差贡献率为90.182%,超过85%,可以很好地反映所有品质性状。第一主成分代表指标为SSC、含水量和TS含量;第二主成分代表指标为POD活性和PPO活性;第三主成分代表指标为TA含量和CAT活性;第四主成分代表指标为硬度;第五主成分代表指标为SOD活性。

以5个主成分的方差贡献率作为系数,构建出杏李果实品质的综合评价模型:

$$F_1=0.028X_1 + 0.902X_2 - 0.914X_3 + 0.116X_4 + 0.877X_5 - 0.106X_6 - 0.478X_7 + 0.054X_8 - 0.095X_9;$$

$$F_2=-0.195X_1 - 0.289X_2 + 0.133X_3 - 0.382X_4 - 0.098X_5 + 0.921X_6 + 0.77X_7 - 0.042X_8 - 0.021X_9;$$

$$F_3=-0.084X_1 - 0.1X_2 + 0.096X_3 - 0.606X_4 -$$

表 3 6个杏李品种果实低温贮藏下各生理指标的主成分分析

Table 3 Principal component analysis of physiological indexes of six plumcot varieties under low temperature storage

主成分 Principal component	硬度 Hardness	可溶性固形物含量 Soluble solids content	含水量 Moisture content	总酸含量 Total acid content	总糖含量 Total sugar content	POD活性 Peroxidase activity	PPO活性 Polyphenol oxidase activity	SOD活性 Superoxide dismutase activity	CAT活性 Catalase activity	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Variance contribution rate/%	累计方差贡献率 Cumulative variance contribution rate/%
PC1	0.028	0.902	-0.914	0.116	0.877	-0.106	-0.478	0.054	-0.095	2.685	29.834	29.834
PC2	-0.195	-0.289	0.133	-0.382	-0.098	0.921	0.770	-0.042	-0.021	1.738	19.311	49.145
PC3	-0.084	-0.100	0.096	-0.606	-0.070	0.160	-0.087	0.024	0.941	1.318	14.647	63.791
PC4	0.958	0.084	-0.201	0.352	-0.253	-0.150	-0.136	-0.046	0.007	1.195	13.279	77.071
PC5	-0.039	0.113	-0.205	-0.289	-0.289	-0.056	0.006	0.975	-0.059	1.180	13.111	90.182

$$0.07X_5 + 0.16X_6 - 0.087X_7 + 0.024X_8 + 0.941X_9;$$

$$F_4=0.958X_1 + 0.084X_2 - 0.201X_3 + 0.352X_4 - 0.253X_5 - 0.15X_6 - 0.136X_7 - 0.046X_8 + 0.007X_9;$$

$$F_5=-0.039X_1 + 0.113X_2 - 0.205X_3 - 0.289X_4 - 0.289X_5 - 0.056X_6 + 0.006X_7 + 0.975X_8 - 0.059X_9。$$

$$F=29.834\%F_1 + 19.311\%F_2 + 14.647\%F_3 + 13.279\%F_4 + 13.111\%F_5。$$

综合得分越高说明果实贮藏品质越好。6个杏李品种果实综合得分和排名见表4。味厚果实贮藏0、15、30、45 d的综合得分全部排名前7,综合得分分

别是0.75、0.30、0.75、0.59;其次是风味皇后,果实贮藏15、45、30 d的综合得分分别为0.90、0.32、0.24;味王果实贮藏15 d时综合得分0.44;味帝果实贮藏45、15、30、0 d的综合得分分别为0.26、0.08、0.06、0.03;风味玫瑰和恐龙蛋果实贮藏后的综合得分和排名已达11名(一半)以后,综合得分较低。因此,根据综合得分和排名情况来看,在6个杏李品种中,味厚在整个贮藏期间品质最好、最耐贮藏,其次是风味皇后和味帝,再次是味王和恐龙蛋,最后是风味玫瑰。

表4 6个杏李品种果实低温贮藏下各生理指标的综合得分排名表

Table 4 Comprehensive score ranking table of physiological indexes of six plumcot varieties under low temperature storage

处理 Dispose	主成分得分 Principal component score					综合得分 Overall score <i>F</i>	排名 Ranking
	<i>F</i> 1	<i>F</i> 2	<i>F</i> 3	<i>F</i> 4	<i>F</i> 5		
D2	0.20	2.83	-0.39	1.06	0.90	0.90	1
F1	1.34	-0.34	0.37	1.47	0.74	0.75	2
F3	1.23	-0.36	1.75	0.06	0.88	0.75	3
F4	1.69	-0.56	1.35	-0.83	0.41	0.59	4
C2	-0.71	1.54	1.61	1.50	-0.94	0.44	5
D4	0.00	2.01	-0.57	-1.05	0.95	0.32	6
F2	0.47	-0.86	0.65	0.19	1.31	0.30	7
A4	1.80	1.01	-1.00	-1.38	-1.28	0.26	8
D3	-0.33	0.30	1.05	-0.72	1.55	0.24	9
A2	1.10	-0.68	-0.65	0.42	-0.68	0.08	10
E2	-0.27	0.25	0.50	0.19	-0.08	0.06	11
A3	1.21	-0.63	-0.57	-0.04	-0.76	0.06	12
A1	1.12	-0.66	-1.46	1.04	-0.77	0.03	13
C4	-1.17	0.69	1.06	-0.24	-0.72	-0.21	14
E1	-0.13	-0.48	-0.55	1.32	-1.21	-0.22	15
D1	-0.40	-0.42	-0.54	0.42	0.12	-0.23	16
B1	-0.98	-0.34	-1.59	0.69	1.15	-0.38	17
E3	-0.42	-1.15	1.23	-1.08	-0.77	-0.46	18
B3	-0.82	-0.46	-1.05	-0.66	1.05	-0.48	19
C3	-0.74	0.14	-0.21	-0.20	-1.42	-0.49	20
B2	-1.06	-1.33	-0.76	-0.12	1.76	-0.52	21
B4	-0.42	0.57	-1.27	-1.88	-0.33	-0.55	22
C1	-1.69	-0.66	0.20	1.23	-0.78	-0.60	23
E4	-1.03	-0.42	0.84	-1.38	-1.07	-0.65	24

处理说明:A1. 味帝贮藏 0 d;A2. 味帝贮藏 15 d;A3. 味帝贮藏 30 d;A4. 味帝贮藏 45 d;B1. 风味玫瑰贮藏 0 d;B2. 风味玫瑰贮藏 15 d;B3. 风味玫瑰贮藏 30 d;B4. 风味玫瑰贮藏 45 d;C1. 味王贮藏 0 d;C2. 味王贮藏 15 d;C3. 味王贮藏 30 d;C4. 味王贮藏 45 d;D1. 风味皇后贮藏 0 d;D2. 风味皇后贮藏 15 d;D3. 风味皇后贮藏 30 d;D4. 风味皇后贮藏 45 d;E1. 恐龙蛋贮藏 0 d;E2. 恐龙蛋贮藏 15 d;E3. 恐龙蛋贮藏 30 d;E4. 恐龙蛋贮藏 45 d;F1. 味厚贮藏 0 d;F2. 味厚贮藏 15 d;F3. 味厚贮藏 30 d;F4. 味厚贮藏 45 d。

Processing instructions:A1. Weidi storage for 0 days;A2. Weidi storage for 15 days;A3. Weidi storage for 30 days;A4. Weidi storage for 45 days;B1. Fengweimeigui storage for 0 days;B2. Fengweimeigui storage for 15 days;B3. Fengweimeigui storage for 30 days;B4. Fengweimeigui storage for 45 days;C1. Weiwang storage for 0 days;C2. Weiwang storage for 15 days;C3. Weiwang storage for 30 days;C4. Weiwang storage for 45 days;D1. Fengweihuanghai storage for 0 days;D2. Fengweihuanghai storage for 15 days;D3. Fengweihuanghai storage for 30 days;D4. Fengweihuanghai storage for 45 days;E1. Konglongdan storage for 0 days;E2. Konglongdan storage for 15 days;E3. Konglongdan storage for 30 days;E4. Konglongdan storage for 45 days;F1. Weihou storage for 0 days;F2. Weihou storage for 15 days;F3. Weihou storage for 30 days;F4. Weihou storage for 45 days.

### 3 讨论

果实硬度、腐烂率、含水量、SSC、TS 含量及 TA 含量是衡量果实贮藏品质的重要指标。本研究中,在贮藏 15 d 时,味帝最早腐烂(6.70%),恐龙蛋其次(10%),其他 4 个品种均未发生腐烂;贮藏 45 d 味帝腐烂率达 53.3%,恐龙蛋腐烂率达 100%,但味厚腐烂率为 0%,表现出耐贮藏的特性。在低温贮藏期

间,腐烂率和 TS 含量随着时间的延长总体呈上升趋势,这可能与果实 POD、SOD、CAT 活性的升高有关。低温诱导果实抗病相关酶活性的升高,减少了果实腐烂变质的发生,从而有效延长杏李果实的货架期,与袁富容等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。各品种在不同贮藏时间点(除味王和恐龙蛋贮藏 45 d)TS 含量均平缓或上升,味帝在贮藏 45 d 时 TS 含量最高(12.82%),味厚其次(11.94%)。在低温贮藏期间各

杏李品种 TS 含量均保持着较高水平,说明低温可以抑制杏李果实贮藏期间 TS 含量的下降,延长贮藏保鲜期。贮藏 0 d 恐龙蛋硬度最高( $1.46 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ),但其降幅最大(80%),表明该品种贮藏 0 d 质地优良但不耐贮藏,味王和味厚硬度降幅最小,分别是 47%和 50%,表现出更好的质地稳定性。味帝 TA 含量始终维持最高水平( $>4.78\%$ ),味王 TA 含量降幅最大(66.10%),味厚 TA 含量降幅其次(63.04%),但味厚 TA 含量起点最低(3.93%)。6 个品种的果实硬度与 TA 含量均呈极显著正相关,表明这两个性状在不同品种间具有高度一致的变化规律,即果实硬度越大 TA 含量越高。本研究中,低温贮藏期间 6 个杏李品种果实的硬度均呈现下降的变化趋势,与周慧娟等<sup>[19]</sup>的研究结果一致。Chen 等<sup>[20]</sup>发现,低温贮藏降低了山农酥梨果实硬度下降的速率,抑制了 *PbACS1a* 和 *PbACO1* 关键基因的表达,与果实软化相关的基因(*PbPG1*、*PbXET*、*PbPME*、*Pba-L-Af*)的表达在低温贮藏期间也受到了抑制。味王贮藏 0 d 含水量最高(89.95%),风味玫瑰、风味皇后和恐龙蛋含水量接近,味帝和味厚含水量接近,贮藏 45 d 味王含水量仍保持在 88.59%以上,说明味王在水分保持方面表现突出。味帝和味厚在贮藏期间均保持较高的 SSC ( $>19.67\%$ ),味王 SSC 最低( $<13.67\%$ )。随着贮藏时间的延长,含水量和 SSC 呈现轻微的变化,总体变化趋势较小,这与李林竹等<sup>[21]</sup>的研究结果相似。前人通过( $4.0 \pm 0.5$ ) $^{\circ}\text{C}$ 低温结合  $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \text{ ClO}_2$  处理对贵州蜂糖李果实贮藏,发现随着贮藏时间的延长,低温处理组下降平缓,说明低温能够更好地保持果实含水率,保持果实品质,延长贮藏期。李楠等<sup>[22]</sup>研究发现,在低温( $4.0 \pm 0.5$ ) $^{\circ}\text{C}$ 下贮藏深州蜜桃果实时,能较好地保持 SSC,延缓硬度下降,减少腐烂的发生。Xiao 等<sup>[23]</sup>利用褪黑素(MT)在低温贮藏条件下维持李果实品质的研究中发现,在低温贮藏( $4^{\circ}\text{C}$ 下放置 28 d)下,经 MT 处理的李果实 SSC、TS 含量和 TA 含量高于对照,抑制细胞壁降解,减缓果实硬度下降,维持了李果实的品质。

较高的抗氧化酶活性能够减轻贮藏期间活性氧对细胞组织结构的伤害,提升果实耐贮藏性<sup>[24-25]</sup>。果实中 PPO 是引起酶促褐变的主要酶类之一。PPO 促进果实组织中多酚氧化酶反应生成黑色素,形成褐色或黑色聚合物,导致果实颜色发生褐变<sup>[26]</sup>。本研究中,贮藏 15 d 时,风味皇后 PPO 活性最高且是

贮藏期间的峰值,说明风味皇后果实可能受到冷害,细胞膜结构发生破坏<sup>[27]</sup>,使果实褐化加重。味厚、恐龙蛋和味帝 3 个品种的杏李果实在低温贮藏期间维持较低的 PPO 活性,其中味厚一直处于最低水平,表明低温贮藏有利于维持低 PPO 活性,防止果实颜色褐化。这一结论与开乃斯·哈比江等<sup>[28]</sup>对低温贮藏下 3 个杏品种的代谢酶活性研究中的结果一致。POD 作为活性氧清除系统成员之一,对消除活性氧自由基、延缓果实衰老、延长货架期具有重要作用<sup>[29]</sup>。低温贮藏环境会诱导 POD 活性升高<sup>[30]</sup>。6 个品种在贮藏 0 d 时 POD 活性相近,但随着时间的延长,各品种表现出不同的活性差异,风味皇后、味王和恐龙蛋果实的 POD 活性变化趋势基本一致。在贮藏 15 d 时,风味皇后、味王和恐龙蛋 POD 活性达到峰值,此时,风味皇后 POD 活性最高。味帝和风味玫瑰果实的 POD 活性变化趋势基本一致。在贮藏 45 d 时,味帝、风味玫瑰 POD 活性达到峰值。在贮藏 30 d 时,味厚 POD 活性达到峰值。这一结果与颜佳薇<sup>[31]</sup>在研究樱桃果实贮藏品质中的结论相似。除 POD 外,SOD 和 CAT 也是抗氧化系统的 2 个重要成员。贮藏 15 d 时,风味玫瑰 SOD 活性最高,味王 CAT 活性最高,贮藏 30 d 时,风味皇后 SOD 活性最高,恐龙蛋 CAT 活性最高。6 个杏李品种果实的 SOD 活性与 CAT 活性都呈正相关,其中味帝、味王和风味皇后呈极显著正相关,风味玫瑰呈显著正相关,恐龙蛋和味厚呈正相关。在贮藏 15 d 时,6 个杏李品种果实的 SOD 和 CAT 活性明显提高,抗氧化系统被激活。这一结果与张旭薪<sup>[32]</sup>等对新鲜枸杞低温贮藏的研究结果相似。Li 等<sup>[33]</sup>发现,在低温下 MeJA 处理降低了腐烂率,提高了抗氧化酶(POD、SOD、CAT)活性,提高了番木瓜果实低温贮藏期间的整体品质。

主成分分析能客观、公正地评价果实的性状<sup>[34]</sup>。本试验对 6 个不同杏李品种果实的硬度、SSC、含水量、TA 含量、TS 含量、POD 活性、PPO 活性、SOD 活性、CAT 活性 9 个品质指标进行主成分分析。结果显示,味厚果实在整个贮藏期间的综合得分较高且各时间点均名列前茅,表现为品质最好、最耐贮藏,其次是风味皇后和味帝,再次是味王和恐龙蛋,最后是风味玫瑰。尽管各品种的初始成熟度与采收时间不同,但通过主成分分析,综合评价它们在适宜采收期果实的采后品质变化与耐贮性,其结果

仍能为品种选择提供有效指导。

果实色泽(褐变)也是果实贮藏品质的重要指标,能反映整体外观变化,未来研究可引入色差计(如测定 $a^*$ 红黄色值、 $b^*$ 蓝绿色值、 $L^*$ 亮度值)或褐变指数等定量分析方法,以更精准地表征色泽动态变化,并与感官评价结果相互验证,提升色泽评价的科学性。

## 4 结 论

笔者对6个杏李品种间低温贮藏下的硬度、腐烂率等10项指标进行测定,并进行主成分分析,结果表明,恐龙蛋在贮藏0 d时硬度最高( $1.46 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ),但其硬度降幅最大(80%),表明该品种虽初始质地优良但不耐贮藏;味王和味厚硬度降幅最小(47%和50%),表现出更好的质地稳定性。味王表现出较低的失水率,其水分含量在贮藏45 d前均维持在88.59%以上。在贮藏期间味帝和味厚均保持着较高的SSC( $>19.67\%$ ),而味王最低( $<13.67\%$ )。味帝TA含量始终维持最高水平( $>4.78\%$ ),但其降幅适中;味王TA含量降幅最大(66.10%)。在贮藏0 d风味玫瑰TS含量最低(6.09%)。味帝最先发生腐烂,贮藏至15 d时腐烂率达到6.70%,至贮藏45 d,其腐烂率进一步升高至53.3%,味厚最耐贮藏(45 d未腐烂)。主成分分析综合品质从高到低排序:味厚、风味皇后、味帝、味王、恐龙蛋,风味玫瑰。本研究表明,( $4 \pm 1$ ) °C低温贮藏可有效保持杏李果实品质,其中味厚因优异的综合表现和较高效的抗氧化系统成为最耐贮藏的品种,本研究结果为杏李产业中的品种选择和采后管理提供了重要依据。

## 参考文献 References:

- [1] 丁向阳,孙晓辉.美国杏李种间杂交新品种及引种栽培前景[J].林业科技开发,2004(5):13-16.  
DING Xiangyang, SUN Xiaohui. New varieties of American apricot and plum interspecific hybridization and their introduction and cultivation prospects[J]. China Forestry Science and Technology, 2004(5): 13-16.
- [2] 李洪果,乌云塔娜,王淋.李、杏、杏李品种S基因型在杂交亲本选择中的应用[J].中国南方果树,2013,42(6):19-23.  
LI Hongguo, Wuyun Tana, WANG Lin. Use of S-genotype in selection of parent for hybridization of plum, apricot and simonii[J]. South China Fruits, 2013, 42(6): 19-23.
- [3] 董芳园,吴联合.新疆地区杏李研究现状及发展趋势[J].农业与技术,2021,41(20):67-70.  
DONG Fangyuan, WU Lianhe. Research status and development trend of apricot and plum in Xinjiang[J]. Agriculture and Technology, 2021, 41(20): 67-70.
- [4] 陈玉玲,苏衍修,黄振宇,夏乐哈,陈龙.我国杏李产业现状分析与发展建议[J].中国果树,2021(3):98-100.  
CHEN Yuling, SU Yanxiu, HUANG Zhenyu, XIA Lehan, CHEN Long. Present situation analysis and development suggestions of *Prunus domestica* × *armeniaca* industry in China[J]. China Fruits, 2021(3): 98-100.
- [5] 黄振宇,夏乐哈,陈龙,魏望,任帅,崔泽轩,冯义彬,陈玉玲.早熟优质李新品种‘早红香’的选育[J].果树学报,2019,36(11):1603-1606.  
HUANG Zhenyu, XIA Lehan, CHEN Long, WEI Wang, REN Shuai, CUI Zexuan, FENG Yibin, CHEN Yuling. ‘Zaohongxiang’, a superior early-maturing plum cultivar[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(11): 1603-1606.
- [6] 吴克忠.适宜甘肃中部地区发展的美国杂交杏李品种及栽培技术[J].农业科技与信息,2010(17):28-29.  
WU Kezhong. American hybrid apricot and plum varieties suitable for development in Central Gansu and their cultivation techniques[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2010(17): 28-29.
- [7] 丁云龙,张斌斌,陈星星,王娜,严娟,马瑞娟,俞明亮,姜卫兵.桃树冠不同部位果实低温贮藏期间的品质变化[J].果树学报,2019,36(12):1731-1743.  
DING Yunlong, ZHANG Binbin, CHEN Xingxing, WANG Na, YAN Juan, MA Ruijuan, YU Mingliang, JIANG Weibing. Quality variations of peach fruit from different tree canopy positions during cold storage[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(12): 1731-1743.
- [8] 谢宇璐,陆妍,陈雅莉,杨燕,赵雨蒙,张惠敏.低温条件下茶多酚对甜樱桃果实采后贮藏品质的影响[J].现代园艺,2024,47(3):31-34.  
XIE Yulu, LU Yan, CHEN Yali, YANG Yan, ZHAO Yumeng, ZHANG Huimin. Effect of tea polyphenols on postharvest storage quality of sweet cherry fruit under low temperature[J]. Contemporary Horticulture, 2024, 47(3): 31-34.
- [9] 任映玥,郁小森,于广伟,王毅,李永才,毕阳.氧化玉米淀粉涂膜对两种低温贮藏条件下‘李广杏’果实保鲜效果的比较[J].甘肃农业大学学报,2020,55(4):163-167.  
REN Yingyue, YU Xiaosen, YU Guangwei, WANG Yi, LI Yongcai, BI Yang. Comparison of preservation effects of oxidized corn starch coating on apricot fruits during low temperature storage at two different temperatures[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2020, 55(4): 163-167.
- [10] 黄展文,韦林艳,李明娟,游向荣,张雅媛,王颖,周葵.不同包装方式对龙滩珍珠李低温贮藏品质的影响[J].南方农业学报,2024,55(3):878-888.  
HUANG Zhanwen, WEI Linyan, LI Mingjuan, YOU Xiangrong, ZHANG Yayuan, WANG Ying, ZHOU Kui. Effects of different

- packaging methods on low temperature storage quality of Longtan pearl plum[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2024, 55(3): 878-888.
- [11] 毕凯悦, 阿依则巴·艾尼玩尔, 海子悦, 苏丽娅, 吴予涵, 张梦莹, 李学文. 1-MCP 处理对西梅果实贮藏期品质及活性氧代谢的影响[J]. *食品工业科技*, 2025, 46(14): 395-403.  
BI Kaiyue, Aizheba·Ainiyangur, HAI Ziyue, SU Liya, WU Yuhuan, ZHANG Mengying, LI Xuewen. Effect of 1-MCP treatment on quality and reactive oxygen metabolism of prune fruits during storage period[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2025, 46(14): 395-403.
- [12] 李节, 鲁春泽, 吴林, 李金英, 李亚男, 王颖. 外源褪黑素处理对越橘贮藏品质及耐贮性的影响[J/OL]. *吉林农业大学学报*, 2025: 1-14. (2025-01-20). <https://link.cnki.net/doi/10.13327/j.jjlau.2025.0685>.  
LI Jie, LU Chunze, WU Lin, LI Jinying, LI Yanan, WANG Ying. Effects of exogenous melatonin treatment on storage quality and storability of blueberry[J/OL]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2025: 1-14. (2025-01-20). <https://link.cnki.net/doi/10.13327/j.jjlau.2025.0685>.
- [13] 解越. 低温逆境下冷敏果实组织冷损伤及半致死温度的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.  
XIE Yue. Research of tissue damage and semi-lethal temperature of cold sensitive fruits during low temperature stress[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2016.
- [14] 张滢支, 吕静祎, 孙明宇, 唐伟杰, 曹颖, 台蕊. 短期低温贮藏对南果梨果实货架期后熟衰老及品质的影响[J]. *包装与食品机械*, 2023, 41(5): 30-34.  
ZHANG Yingzhi, LÜ Jingyi, SUN Mingyu, TANG Weijie, CAO Ying, TAI Rui. Effects of short-term low-temperature storage on ripening and senescence and quality of 'Nanguo' pear fruit during shelf life[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2023, 41(5): 30-34.
- [15] 罗旭婷, 刘伟, 张群, 王春发, 付复华, 杨明之. 湖南 23 个桃品种果实品质分析及综合评价[J/OL]. *食品科学*, 2025: 1-17. (2025-06-09). <https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20250606.1511.048>.  
LUO Xuting, LIU Wei, ZHANG Qun, WANG Chunfa, FU Fuhua, YANG Mingzhi. Quality analysis and comprehensive evaluation of 23 varieties of peach fruits in Hunan[J/OL]. *Food Science*, 2025: 1-17. (2025-06-09). <https://link.cnki.net/urlid/11.2206.TS.20250606.1511.048>.
- [16] 应俊辉, 刘永胜, 王英珍. 浙闽地区野生毛花猕猴桃果实品质综合评价[J]. *中国南方果树*, 2025, 54(3): 174-180.  
YING Junhui, LIU Yongsheng, WANG Yingzhen. Comprehensive evaluation of fruit quality in wild *Actinidia eriantha* collected from Zhejiang and Fujian provinces[J]. *South China Fruits*, 2025, 54(3): 174-180.
- [17] 郭晓蕾, 朱思潮, 翟旭峰, 王怀豫, 宝丽. 硫酸蒽酮法与硫酸苯酚法测定灵芝多糖含量比较[J]. *中华中医药学刊*, 2010, 28(9): 2000-2002.  
GUO Xiaolei, ZHU Sichao, ZHAI Xufeng, WANG Huaiyu, BAO Li. Comparison of methods in determination of polysaccharide in *Ganoderma lucidum*[J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, 2010, 28(9): 2000-2002.
- [18] 袁富容, 杨婷, 冉雅文, 周雅涵. 基于主成分分析法评价 1-MCP 处理对‘蓝丰’蓝莓果实品质及生理的影响[J]. *保鲜与加工*, 2024, 24(9): 8-18.  
YUAN Furong, YANG Ting, RAN Yawen, ZHOU Yahan. Effects of 1-MCP treatment on 'Bluecrop' blueberry fruits quality and physiology based on principal component analysis[J]. *Storage and Process*, 2024, 24(9): 8-18.
- [19] 周慧娟, 叶正文, 乔勇进. 不同成熟度水蜜桃果实软化的影响因素[J]. *经济林研究*, 2012, 30(1): 67-72.  
ZHOU Huijuan, YE Zhengwen, QIAO Yongjin. Related factors of soften of honey peach at different maturity[J]. *Nonwood Forest Research*, 2012, 30(1): 67-72.
- [20] CHEN C, QI S M, ZHANG S S, HU R Z, LI L, ZHOU X Y, WANG N, CHEN X S, ZHANG Z Y. Study on the quality change and regulation mechanism of 'Shannongsu' pear under low-temperature storage[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2025, 26(7): 2900.
- [21] 李林竹, 邓雪薇, 林长松, 陶光灿. 低温结合 ClO<sub>2</sub> 处理对蜂糖李果实采后贮藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2023, 23(10): 1-6.  
LI Linzhu, DENG Xuewei, LIN Changsong, TAO Guangcan. Effects of low temperature combined with ClO<sub>2</sub> treatment on the storage quality of postharvest 'Fengtang' plum fruits[J]. *Storage and Process*, 2023, 23(10): 1-6.
- [22] 李楠, 冯云霄, 何近刚, 程玉豆. 采收期和贮藏温度对深州蜜桃果实品质的影响[J]. *河北农业科学*, 2024, 28(6): 46-53.  
LI Nan, FENG Yunxiao, HE Jingang, CHENG Yudou. Effects of harvesting period and storage temperature on fruit quality of Shenzhoumitao peach[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2024, 28(6): 46-53.
- [23] XIAO Y Y, LI Y J, FAN Y X, LI Z Y, ZHANG X L, LIANG D, XIA H, LV X L, WANG X, WANG J, LIN L J. Melatonin maintains the quality and cell wall structure of plum fruits under low temperature storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2024, 338: 113745.
- [24] FAN X G, XI Y, ZHAO H D, LIU B D, CAO J K, JIANG W B. Improving fresh apricot (*Prunus armeniaca* L.) quality and antioxidant capacity by storage at near freezing temperature[J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 231: 1-10.
- [25] LIU H, JIANG W B, CAO J K, LI Y C. Changes in extractable and non-extractable polyphenols and their antioxidant properties during fruit on-tree ripening in five peach cultivars[J]. *Horticultural Plant Journal*, 2019, 5(4): 137-144.
- [26] 陈丽, 朱丽婵, 张鲁斌, 贾志伟, 洪克前. 低温贮藏期对芒果果实抗氧化能力和品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(34):

- 134-138.
- CHEN Li, ZHU Lichan, ZHANG Lubin, JIA Zhiwei, HONG Keqian. The effects of low temperature duration on mango fruit antioxidant capacity and quality[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(34): 134-138.
- [27] 郝那维, 周倩, 高芳, 张婷婷, 郝义, 姜永峰, 陆玉卓. 温度对采后“国峰7号”李果实贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2023, 44(1): 213-222.
- HAO Xingwei, ZHOU Qian, GAO Fang, ZHANG Tingting, HAO Yi, JIANG Yongfeng, LU Yuzhuo. Effects of temperature on storage quality of postharvest ‘Guofeng No. 7’ plum fruit[J]. Packaging Engineering, 2023, 44(1): 213-222.
- [28] 开乃斯·哈比江, 李新豫, 赵蕾, 李长城, 张志刚, 赵世荣. 不同成熟度杏果实低温贮藏条件下的品质变化规律[J]. 经济林研究, 2024, 42(3): 105-119.
- Kainaisi · Habijiang, LI Xinyu, ZHAO Lei, LI Changcheng, ZHANG Zhigang, ZHAO Shirong. Quality changes of apricot fruits with different maturity under low temperature storage conditions[J]. Non-wood Forest Research, 2024, 42(3): 105-119.
- [29] HUAN C, JIANG L, AN X J, KANG R Y, YU M L, MA R J, YU Z F. Potential role of glutathione peroxidase gene family in peach fruit ripening under combined postharvest treatment with heat and 1-MCP[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 111: 175-184.
- [30] AN X J, XU Y, JIANG L, HUAN C, YU Z F. Effects of postharvest temperature on apoptosis-related enzyme activity and gene expression in peach fruits (*Prunus persica* L. cv. Xiahui 8)[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 245: 178-184.
- [31] 颜佳薇. 钙与采收成熟度对樱桃果实贮藏品质及生物活性物质的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- YAN Jiawei. Effects of calcium and harvest maturity on the quality and bioactive substances of cherry during storage[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2018.
- [32] 张旭薪, 江祉昕, 王赫, 侯双迪, 刘霞, 范艳丽. 高氧应激结合1-甲基环丙烯处理对鲜食枸杞低温贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2024, 24(12): 1-8.
- ZHANG Xuxin, JIANG Zhixin, WANG He, HOU Shuangdi, LIU Xia, FAN Yanli. Effects of high oxygen shock combined with 1-methylcyclopropene treatment on the quality of fresh *Lycium barbarum* fruit during low temperature storage[J]. Storage and Process, 2024, 24(12): 1-8.
- [33] LI J H, AZAM M, NOREEN A, ALI UMER M, ILAHY R, AKRAM M T, QADRI R, KHAN M A, REHMAN S U, HUSSAIN I, LIN Q, LIU H R. Application of methyl jasmonate to papaya fruit stored at lower temperature attenuates chilling injury and enhances the antioxidant system to maintain quality[J]. Foods, 2023, 12(14): 2743.
- [34] 李宏祥, 陈俐, 王春发, 欧阳艳, 李建仁, 陈友平. 不同采收期和贮藏温度对猪血桃果实品质的影响[J]. 湖南生态科学学报, 2025, 12(1): 81-89.
- LI Hongxiang, CHEN Li, WANG Chunfa, OUYANG Yan, LI Jianren, CHEN Youping. Effects of different harvesting periods and storage temperatures on the fruit quality of Zhuxue peach (*Prunus persica* Batsch cv. Zhuxue)[J]. Journal of Hunan Ecological Science, 2025, 12(1): 81-89.