

## 农产品保鲜与食品包装

## 新疆不同品种杏果实采后的品质变化及贮藏性评价

杨域宁, 康洁, 易明玥, 王清扬, 罗峻渲, 王伟, 李学文\*  
(新疆农业大学 食品科学与药学学院, 乌鲁木齐 830052)

**摘要:** **目的** 为了解不同品种杏果实在贮藏期间的耐贮性, 筛选最适贮藏的杏果实品种。**方法** 以新疆主栽的 14 个杏果实品种为试材, 测定贮藏期间果实硬度、可溶性固形物、可滴定酸、Vc 含量、呼吸强度、果实相对电导率、总酚、类黄酮、叶绿素和腐烂率 10 个指标。**结果** 在贮藏末期, “小红杏”的  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值、总酚、类黄酮、硬度、SSC、Vc 含量、相对电导率、腐烂率均与初始值相比差异显著; “和田明星杏”的  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值、总酚、类黄酮、硬度、SSC、TA 均与初始值相比变化较小。“小红杏”的呼吸峰值比其余峰值高 15.07%~37.17%, 而“和田明星杏”的峰值比其余峰值低 22.62%~40.42%, 低于其他峰值。库车小白杏叶绿素下降最慢, 伊利吊干杏下降最快。贮藏期间各指标均呈现不同程度的相关性, 各指标间存在信息重叠。主成分分析提取出 4 个主成分, 方差贡献率累计达到 78.936%, 可代表原始指标的大部分信息。**结论** 综合各项指标可得, “和田明星杏”的贮藏性优于其他品种。文中研究可为新疆杏果实的栽培提供理论依据。

**关键词:** 杏果实; 不同品种; 采后; 主成分分析; 品质变化

**中图分类号:** S609<sup>+</sup>.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3563(2024)01-0128-11

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.01.015

## Post-harvest Quality Change and Storage Evaluation of Different Varieties of Apricot Fruits in Xinjiang

YANG Yuning, KANG Jie, YI Mingyue, WANG Qingyang, LUO Junxuan, WANG Wei, LI Xuewen\*  
(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**ABSTRACT:** The work aims to understand the storage tolerance of different varieties of apricot fruits during storage and screen out the the optimal varieties of apricot suitable for storage. With 14 apricot cultivars mainly planted in Xinjiang as test materials, 10 indexes of fruit hardness, soluble solids, titratable acid, Vc content, respiration intensity, relative conductivity, total phenols, flavonoids, chlorophyll and decay rate were determined during storage. At the end of storage, the  $L^*$  value,  $a^*$  value,  $b^*$  value, total phenol, flavonoid, hardness, SSC, Vc content, relative conductivity and decay rate of "Xiaohong Apricot" were significantly different from the initial values, and the  $L^*$  value,  $a^*$  value,  $b^*$  value, total phenols, flavonoid, hardness, SSC and TA of "Hetian Mingxing Apricot" all changed little compared with the initial values. The respiration peak of "Xiaohong Apricot" was 15.07%-37.17% higher than that of other peaks, while the respiration peak of "Hetian Mingxing Apricot" was 22.62%-40.42% lower than that of other peaks. The chlorophyll of Kuqa Xiaobai Apricot decreased the slowest, and that of Yili Diaogan Apricot decreased the fastest. During storage, each index showed different degrees of correlation, and there was information overlap between each index. Four principal components were ex-

收稿日期: 2023-04-17

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFD1002301-1)

\*通信作者

tracted by principal component analysis, and the variance contribution rate reached 78.936%, which could represent most of the information of the original index. According to the comprehensive indexes, the storage adaptability of "Hetian Mingxing Apricot" is better than that of other varieties, which can provide a theoretical basis for the cultivation of apricot fruit in Xinjiang.

**KEY WORDS:** apricot fruit; different varieties; post-harvest; principal component analysis; quality change

杏 (*Prunus armeniaca* L.) 原产于中国, 属蔷薇科 (Rosaceae) 李亚科 (Prunoideae) 杏属 (*Prunus*)。相关调查结果表明, 全球大约有三千多个杏树品种。新疆的气候环境适宜杏树生长, 是杏树的重要原产地之一, 至 2019 年底, 新疆杏果实年产量将近一百万吨, 居我国第一<sup>[1]</sup>。新疆杏品种大约有 300 种以上, 主要有“赛买提杏”“李光杏”“小白杏”“吊干杏”等品种。杏是新疆林果业中重要的一环, 占有较大的产量和种植面积, 且主要分布在经济并不发达的南疆地区。因此, 新疆杏产业的发展与改革, 对促进乡村振兴、调整农村产业结构、维护农村和谐健康的发展均具有积极意义。但杏果实在贮藏、运输、销售环节中色泽迅速转变, 导致营养组分丢失, 且容易受到机械损伤而腐烂, 给果农造成了极大的损失。关于杏果实的贮藏研究已经有很多, 且取得一系列成果。辐射保鲜贮藏法的成本高, 因而也存在明显的应用局限性。涂膜保鲜则会影响到果实外观和品质, 且保质期短。植物精油冷藏, 保鲜效果难以达到预期, 考虑到成本因素, 许多偏远地区仍然无法保障<sup>[2-4]</sup>。

目前此领域的研究侧重于种植和保鲜剂处理对果实品质的影响, 但缺少对品种间杏果实在贮藏期的品质差异的比较<sup>[5]</sup>。因此, 很有必要研究各品种果实在贮藏期间生理变化与品质的差异, 以便为杏树品种选育、改良提供支持, 促进产业的长远发展。

基于此本研究选择新疆常见的 14 个杏果实品种为试材, 通过测定硬度、可溶性固形物、可滴定酸、Vc 含量、呼吸强度、果实相对电导率、总酚、类黄酮和叶绿素 14 个指标对比分析了在相同贮藏条件下对其品质的影响, 以期为新疆地区杏果实引种、栽培和贮藏起到参考作用。

## 1 实验

### 1.1 材料与试剂

主要材料: 根据团队的前期的跟踪调查, 确定了 14 种不同杏果实的适宜采收期, 见表 1。

主要试剂: 氢氧化钠, 分析纯, 天津致远公司; 邻苯二甲酸氢钾, 分析纯, 天津致远公司; 碳酸氢钠, 分析纯, 天津致远公司; 草酸, 分析纯, 天津致远公司; 抗坏血酸, 分析纯, 天津致远公司; 2,6-二氯酚

靛酚钠盐, 分析纯, 天津致远公司; 酚酞, 分析纯, 福晨化学试剂公司; 石英砂, 分析纯, 国药集团; 碳酸钙, 分析纯, 国药集团; 甲醇, 分析纯, 国药集团; 盐酸, 分析纯, 国药集团。

表 1 不同品种杏果实基本信息  
Tab.1 Basic information of different varieties of apricot fruits

品种	产地	采摘时间
库车小白杏	新疆阿克苏库车县	2022 年 5 月 20 日
小红杏	新疆阿克苏库车县	2022 年 5 月 20 日
李光杏	新疆阿克苏库车县	2022 年 5 月 22 日
梅杏	宁夏固原市	2022 年 5 月 21 日
红李光杏	新疆阿克苏库车县	2022 年 5 月 22 日
和田明星杏	新疆和田皮山县	2022 年 6 月 11 日
轮台小白杏	新疆巴州轮台县	2022 年 6 月 12 日
赛买提	新疆阿克苏新和县	2022 年 6 月 10 日
库买提	新疆阿克苏新和县	2022 年 6 月 10 日
大白杏	新疆阿克苏新和县	2022 年 6 月 10 日
和田红杏	新疆和田墨玉县	2022 年 7 月 15 日
哈密吊干杏	新疆哈密伊吾县	2022 年 7 月 16 日
伊犁吊干杏	新疆伊犁特克斯县	2022 年 7 月 18 日
桃杏	新疆伊犁特克斯县	2022 年 7 月 18 日

主要仪器: GY-4 果实硬度计, 艾普公司; PAL-1 手持折光仪, 日本 ATAGO 公司; NH310 色差仪, 深圳三恩集团; DDS 电导率仪, 杭州齐威实验仪器制造厂; VAISALA 二氧化碳检测仪, 深圳君达公司; F145-11 电子天平, 赛多利斯集团; DL-I-15 电炉, 天津市泰斯公司; TU-1810APC 光度计, 北京普析公司。

### 1.2 实验方法

采摘后的果实预冷 24 h 后, 放置于 4 °C 的冷柜中贮藏, 冷柜温度浮动为 ±0.1 °C, 相对湿度为 90%~95%。贮藏前用厚度为 0.03 mm 的聚乙烯袋包装果实。每隔 7 d 取样测定相关指标。

### 1.2.1 硬度测定

按照张梦媛等<sup>[6]</sup>的方法,采用GY-4果实硬度计测定果实硬度,探头直径为8 mm,沿果实赤道选择3个距离相等的位置。随机抽取6个果实,取平均值,单位为N。

### 1.2.2 可溶性固形物含量测定

按照Cortellino等<sup>[7]</sup>的方法。随机选择5个杏果实,去核磨成匀浆,用PAL-1数字式测糖仪测定上清液中可溶性固形物(Soluble Solids Content, SSC)的含量。每个处理实验重复3次,平均值以%为单位。

### 1.2.3 可滴定酸含量测定

按照曹建康等<sup>[8]</sup>的方法,采用酸碱滴定法测定可滴定酸(Titratable Acid, TA)含量,以苹果酸转化率为0.067进行换算,单位为%。

### 1.2.4 维生素C含量的测定

利用2,6-二氯酚靛酚滴定法<sup>[8]</sup>测定维生素C含量,单位为mg/kg。

### 1.2.5 果实的呼吸强度测定

随机选用1 kg杏果实,置于1个容积为5 L的广口玻璃瓶中,密封1 h后,采用VAISALA便携式二氧化碳(CO<sub>2</sub>)检测仪检测二氧化碳浓度,得到呼吸强度,单位为mg/(kg·h)。

### 1.2.6 果实的相对电导率测定

参照王学奎等<sup>[9]</sup>的方法测定果实的相对电导率,单位为%。

### 1.2.7 果实的表面色度测定

采用NH310高品质色差仪对杏果实表面颜色(L<sup>\*</sup>、a<sup>\*</sup>、b<sup>\*</sup>)测定。随机选取6个果实,沿果实赤道每隔120°选取一点测定,每颗杏果取3点测定,取平均值。

### 1.2.8 果实中类黄酮和总酚含量的测定

参照曹建康等<sup>[8]</sup>的方法。总酚、类黄酮含量的单位为mg/mL。

### 1.2.9 果实中叶绿素含量的测定

叶绿素的提取及测定方法参照Nisar等<sup>[10]</sup>的方法,在60℃恒温水浴条件下,用二甲基亚砜(分析纯)避光浸提果肉1 h,收集上清液。测定波长为665、649和480 nm下的吸光值。

### 1.2.10 果实腐烂率的测定

对果实进行外观检查,果皮开裂、变色、软化等情况都是腐烂果的表现。按100个果实中腐烂果的比率计算。

## 1.3 数据分析

所有实验重复3次,结果表示为平均±标准偏差。

Origin 2018软件用于绘图。数据经SPSS17.0统计,相关性分析、显著性检验, $P<0.05$ 认为显著、主成分分析中原则上因子载荷系数 $>1.0$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种杏果实在贮藏期间色泽与活性物质的变化

由表2可知,贮藏期间各品种L<sup>\*</sup>值逐渐增加,初期果实光泽较浅;随着时间的增长,果实的亮度也在增加,这表明果实的成熟度在逐步上升<sup>[11-14]</sup>。在贮藏末期,“小红杏”的L<sup>\*</sup>值为63.83,与初始值相比上升了75.74%,与其他品种相比显著( $P<0.05$ ),而“和田明星杏”的L<sup>\*</sup>值为56.57,与初始值相比仅上升了11.50%,为各品种中最低,具有显著差异( $P<0.05$ )。a<sup>\*</sup>值为红绿色度值,a<sup>\*</sup>值越大代表果实越红,反之则越绿。由表2可知,各品种的a<sup>\*</sup>值随着时间的增加呈上升趋势,这表明各品种果实均在经历自身颜色由绿转红的过程。由于各品种品质形状的差距,在贮藏初期各品种a<sup>\*</sup>值差距较为显著,“库车小白杏”“小红杏”“轮台小白杏”“大白杏”的a<sup>\*</sup>值较小,与其他品质差异显著( $P<0.05$ )。在35 d时,“小红杏”的a<sup>\*</sup>值与初始值相比上升最高( $P<0.05$ ),而“和田明星杏”最低( $P<0.05$ )。b<sup>\*</sup>值为正代表黄色,反之代表蓝色。由表2可知,各品种杏果实b<sup>\*</sup>值均在增加,在35 d时,“小红杏”的b<sup>\*</sup>值为50.06,与初始值相比上升了41.55%,为各品种中最高,“哈密吊干杏”上升最慢。

如表2所示,由于品种的差异,各品种果实叶绿素含量的初始值明显不同,不过在贮藏周期中,均呈下降趋势。其中,“库车小白杏”的叶绿素含量最高,“轮台小白杏”次之,叶绿素含量与a<sup>\*</sup>值呈正相关,“库车小白杏”叶绿素含量与其他品种差异显著( $P<0.05$ )。在贮藏结束时,各品种杏果实叶绿素含量都有不同程度的下降,“库车小白杏”下降最慢( $P<0.05$ ),“伊利吊干杏”下降最快( $P<0.05$ )。“小红杏”的总酚含量较初始值下降了0.33%,“和田明星杏”总酚含量为3.52 OD280/g,较初始值上升了71.18%,与其他品种差异显著( $P<0.05$ )。“小红杏”的类黄酮含量较初始值下降了46.84%,“和田明星杏”的类黄酮含量较初始值上升了104.74%,与其他品种差异显著( $P<0.05$ )。

### 2.2 不同品种杏果实在贮藏期间硬度的变化

果实硬度常用于果实成熟度的评价,直接决定了果实的耐贮性<sup>[15]</sup>。根据图1结果可判断出,贮藏过程中各品种杏果实的硬度都有一定幅度降低,降低快的为“小红杏”果实,在贮藏35 d时,果实硬度为4.19 N,

表 2 不同品种杏果实贮藏期间色泽与活性物质含量  
Tab.2 Color and active substance content of different varieties of apricot fruits during storage

贮藏时间/d	品种	L*值	a*值	b*值	叶绿素含量/(mg·g <sup>-1</sup> )	总酚含量/(mg·mL <sup>-1</sup> )	类黄酮含量/(mg·mL <sup>-1</sup> )
0	库车小白杏	46.42±0.02 <sup>c</sup>	0.97±0.09 <sup>g</sup>	41.95±0.37 <sup>a</sup>	0.24±0.01 <sup>a</sup>	2.67±0.04 <sup>ab</sup>	1.40±0.08 <sup>de</sup>
	小红杏	36.32±0.14 <sup>h</sup>	1.05±0.05 <sup>g</sup>	35.36±0.41 <sup>cd</sup>	0.12±0.01 <sup>d</sup>	2.65±0.07 <sup>b</sup>	1.22±0.09 <sup>fgh</sup>
	李光杏	38.22±0.98 <sup>g</sup>	9.46±0.58 <sup>e</sup>	37.82±0.08 <sup>b</sup>	0.13±0.01 <sup>cd</sup>	2.70±0.04 <sup>ab</sup>	1.32±0.11 <sup>ef</sup>
	梅杏	33.82±0.10 <sup>i</sup>	15.48±1.28 <sup>c</sup>	35.13±0.57 <sup>cd</sup>	0.12±0.00 <sup>d</sup>	2.69±0.10 <sup>ab</sup>	1.28±0.10 <sup>efg</sup>
	红李光杏	42.04±0.02 <sup>e</sup>	12.91±0.56 <sup>d</sup>	35.24±0.05 <sup>cd</sup>	0.10±0.01 <sup>e</sup>	2.05±0.02 <sup>d</sup>	1.51±0.07 <sup>cd</sup>
	和田明星杏	50.64±0.55 <sup>a</sup>	14.81±0.46 <sup>c</sup>	32.94±0.53 <sup>e</sup>	0.13±0.01 <sup>cd</sup>	2.06±0.01 <sup>d</sup>	1.16±0.05 <sup>gh</sup>
	轮台小白杏	48.54±0.78 <sup>b</sup>	-2.63±0.12 <sup>h</sup>	35.93±0.65 <sup>c</sup>	0.20±0.01 <sup>b</sup>	2.53±0.05 <sup>c</sup>	0.81±0.08 <sup>g</sup>
	赛买提	44.69±0.63 <sup>d</sup>	14.98±0.30 <sup>c</sup>	34.65±0.29 <sup>d</sup>	0.14±0.01 <sup>c</sup>	2.50±0.05 <sup>c</sup>	1.85±0.01 <sup>a</sup>
	库买提	41.270.43 <sup>ef</sup>	7.84±0.80 <sup>f</sup>	41.47±0.36 <sup>a</sup>	0.12±0.00 <sup>d</sup>	2.74±0.02 <sup>a</sup>	1.64±0.05 <sup>bc</sup>
	大白杏	46.52±0.46 <sup>c</sup>	1.60±0.04 <sup>g</sup>	35.88±0.33 <sup>cd</sup>	0.19±0.01 <sup>b</sup>	2.61±0.02 <sup>b</sup>	1.26±0.04 <sup>efg</sup>
	和田红杏	40.70±0.36 <sup>e</sup>	12.78±0.96 <sup>d</sup>	35.67±0.14 <sup>cd</sup>	0.08±0.01 <sup>f</sup>	2.05±0.01 <sup>d</sup>	0.95±0.03 <sup>ig</sup>
	哈密吊干杏	48.49±0.37 <sup>b</sup>	21.78±0.71 <sup>b</sup>	42.31±0.99 <sup>a</sup>	0.07±0.00 <sup>g</sup>	2.05±0.02 <sup>d</sup>	1.10±0.08 <sup>hi</sup>
	伊犁吊干杏	44.22±0.50 <sup>d</sup>	13.25±0.54 <sup>d</sup>	37.92±0.87 <sup>b</sup>	0.06±0.01 <sup>g</sup>	2.07±0.02 <sup>d</sup>	1.21±0.08 <sup>fgh</sup>
桃杏	35.60±0.74 <sup>h</sup>	26.27±0.34 <sup>a</sup>	28.23±0.18 <sup>f</sup>	0.12±0.01 <sup>d</sup>	2.08±0.01 <sup>d</sup>	1.69±0.07 <sup>b</sup>	
35	库车小白杏	48.28±0.46 <sup>c</sup>	9.85±1.10 <sup>g</sup>	51.10±0.80 <sup>a</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>	3.120.12 <sup>de</sup>	1.60±0.08 <sup>fg</sup>
	小红杏	40.89±0.94 <sup>a</sup>	14.76±0.36 <sup>f</sup>	50.06±0.53 <sup>ab</sup>	0.04±0.01 <sup>de</sup>	2.64±0.04 <sup>g</sup>	0.75±0.04 <sup>h</sup>
	李光杏	41.55±0.61 <sup>e</sup>	20.08±1.32 <sup>ed</sup>	45.13±0.32 <sup>ef</sup>	0.08±0.00 <sup>b</sup>	3.28±0.07 <sup>b</sup>	1.83±0.07 <sup>bcd</sup>
	梅杏	35.04±0.55 <sup>f</sup>	25.01±0.48 <sup>c</sup>	45.40±0.70 <sup>ef</sup>	0.07±0.01 <sup>bc</sup>	3.07±0.05 <sup>e</sup>	1.58±0.05 <sup>f</sup>
	红李光杏	43.07±0.20 <sup>g</sup>	21.28±0.83 <sup>d</sup>	42.67±0.16 <sup>g</sup>	0.05±0.01 <sup>de</sup>	2.83±0.03 <sup>f</sup>	1.70±0.06 <sup>efg</sup>
	和田明星杏	51.54±0.32 <sup>d</sup>	18.47±0.94 <sup>e</sup>	38.89±0.37 <sup>h</sup>	0.05±0.01 <sup>d</sup>	3.52±0.05 <sup>a</sup>	2.21±0.07 <sup>a</sup>
	轮台小白杏	51.11±0.32 <sup>d</sup>	9.83±0.79 <sup>g</sup>	46.25±0.78 <sup>de</sup>	0.13±0.00 <sup>a</sup>	3.260.03 <sup>bc</sup>	1.74±0.04 <sup>cde</sup>
	赛买提	45.98±0.50 <sup>e</sup>	20.54±0.45 <sup>d</sup>	46.20±0.48 <sup>de</sup>	0.06±0.00 <sup>cd</sup>	2.92±0.05 <sup>f</sup>	1.71±0.10 <sup>def</sup>
	库买提	42.83±0.05 <sup>e</sup>	15.00±1.46 <sup>f</sup>	49.40±0.28 <sup>b</sup>	0.06±0.01 <sup>cd</sup>	3.210.06 <sup>bcd</sup>	1.85±0.03 <sup>bc</sup>
	大白杏	48.18±0.58 <sup>d</sup>	9.77±0.87 <sup>g</sup>	48.17±0.84 <sup>c</sup>	0.14±0.01 <sup>a</sup>	3.28±0.03 <sup>b</sup>	1.94±0.04 <sup>b</sup>
	和田红杏	41.90±0.57 <sup>h</sup>	26.41±0.22 <sup>c</sup>	44.29±0.45 <sup>f</sup>	0.05±0.01 <sup>d</sup>	2.92±0.05 <sup>f</sup>	1.84±0.05 <sup>bc</sup>
	哈密吊干杏	50.80±0.73 <sup>b</sup>	29.79±0.09 <sup>b</sup>	46.05±0.78 <sup>de</sup>	0.04±0.00 <sup>e</sup>	3.140.07 <sup>cde</sup>	1.72±0.03 <sup>def</sup>
	伊犁吊干杏	45.20±0.48 <sup>e</sup>	25.79±0.60 <sup>c</sup>	46.58±0.08 <sup>d</sup>	0.04±0.00 <sup>de</sup>	2.86±0.11 <sup>f</sup>	1.90±0.07 <sup>b</sup>
桃杏	37.590.55 <sup>cd</sup>	33.60±0.10 <sup>a</sup>	39.55±0.45 <sup>h</sup>	0.06±0.01 <sup>d</sup>	2.86±0.03 <sup>f</sup>	1.78±0.07 <sup>cde</sup>	

注: 不同字母代表差异显著 (P<0.05)。

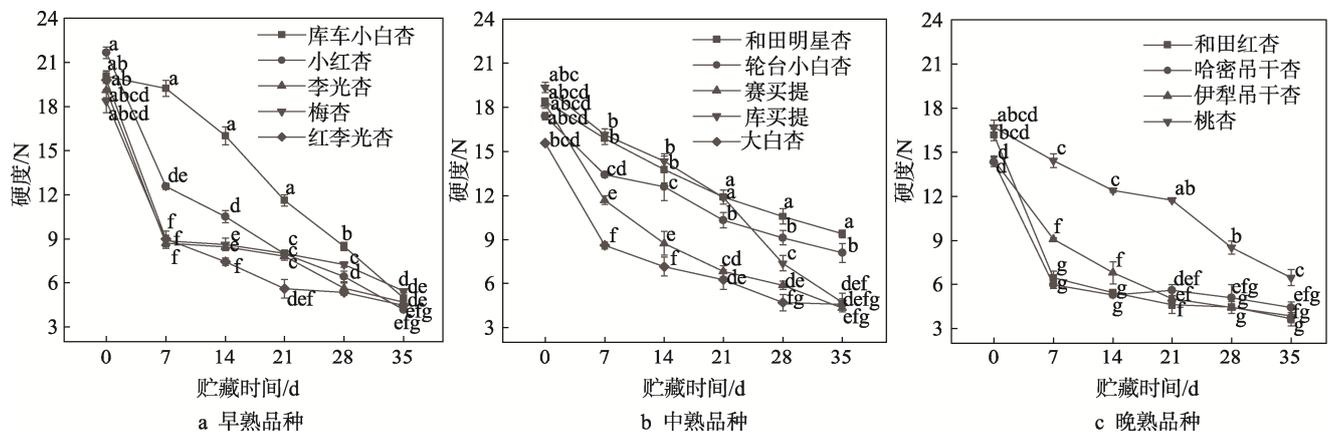


图 1 不同品种杏果实贮藏期硬度的变化

Fig.1 Changes in hardness of different varieties of apricot fruits during storage

注: 不同字母表示组间具有显著性差异, P<0.05。

较初始值下降了 81.67%，其次为“红李光杏”和“和田红杏”，硬度分别较初始值下降了 77.37%和 77.31%。“和田明星杏”硬度下降百分率最小，为 9.39 N，较初始值降幅为 48.99%，与其他品种具有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。对应的硬度降幅从高到低顺序为“小红杏”“红李光杏”“和田红杏”“赛买提”“库买提”“李光杏”“库车小白杏”“伊犁吊干杏”“大白杏”“梅杏”“哈密吊干杏”“桃杏”“轮台小白杏”“田明星杏”。呼吸代谢、酶活性、温度相关因素都会影响到果实硬度<sup>[16]</sup>。细胞壁成分的解离是此指标降低的根本原因<sup>[17-18]</sup>。在贮藏初期杏果硬度迅速降低，然后开始缓慢下降，这与 Tan<sup>[19]</sup>的研究结果相同。

### 2.3 不同品种杏果实在贮藏期间糖酸含量的变化

由图 2 可知，杏果实在贮藏早期，SSC 含量与贮藏时间存在正相关关系，在贮藏初期持续上升，后期不断的降低。这表明，在贮藏期间，各品种杏果实均在进进行糖分积累。贮藏 21 d 时，各品种的 SSC 含量均达到最高值，其中以“小红杏”SSC 含量上升最多 ( $P < 0.05$ )，

与初始值相比上升了 40.46%，其次为“李光杏”和“库车小白杏”，分别上升了 39.62%和 39.35%，“和田明星杏”可溶性固形物含量上升最少，与初始值相比上升了 20.45%。不同品种杏果实可溶性固形物上升程度由高到低顺序依次为“小红杏”“李光杏”“库车小白杏”“桃杏”“梅杏”“哈密吊干杏”“和田红杏”“大白杏”“库买提杏”“轮台小白杏”“红李光杏”“赛买提杏”“伊犁吊干杏”“和田明星杏”。上升的原因可能是果实内的有机物质转化为糖；果实内有部分水分散失造成可溶性固形物浓度增加。先上升后下降的原因可能是果实过了最佳贮藏期，消耗糖类物质，使得含量下降<sup>[20]</sup>。

杏果实当中的酸主要包括苹果酸、柠檬酸和琥珀酸<sup>[21]</sup>，它们与杏果实的风味密切相关。由图 3 结果可发现，在贮藏过程中各种杏果实的可滴定酸含量都大幅度降低。其中降低幅度最大的为“和田红杏” ( $P < 0.05$ )，降幅为 76.24%，其次为“小红杏”“大白杏”和“赛买提杏”，分别下降了 74.50%、70.20%、66.05%，“和田明星杏”下降最小 ( $P < 0.05$ )，为 31.57%。不同品种此指标的降幅从大到小排序为“和田红杏”“小红杏”“大白杏”“赛买提杏”“轮台小白杏”“哈密吊干

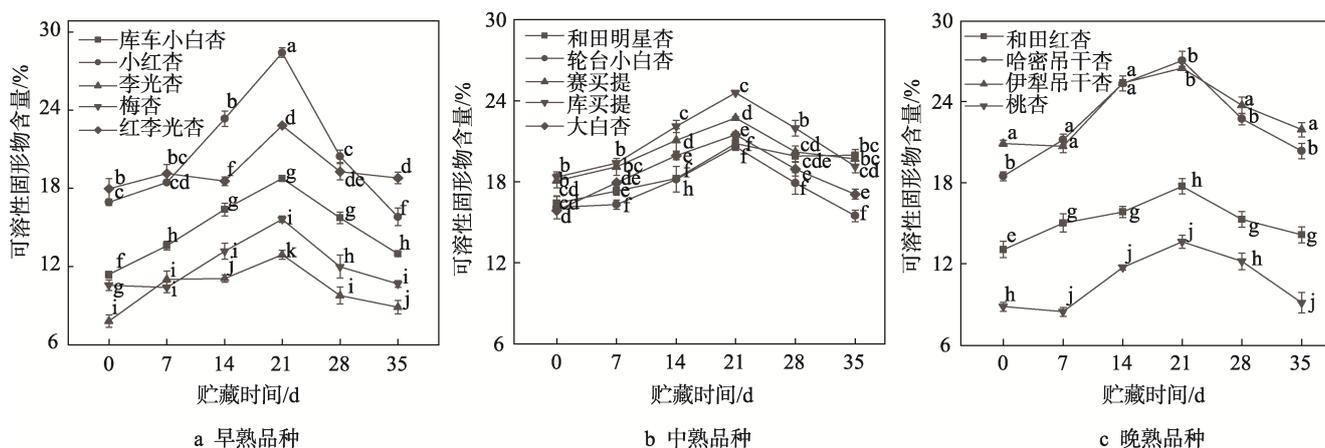


图 2 不同品种杏果实贮藏期可溶性固形物含量的变化  
Fig.2 Changes in soluble solid content of different varieties of apricot fruits during storage

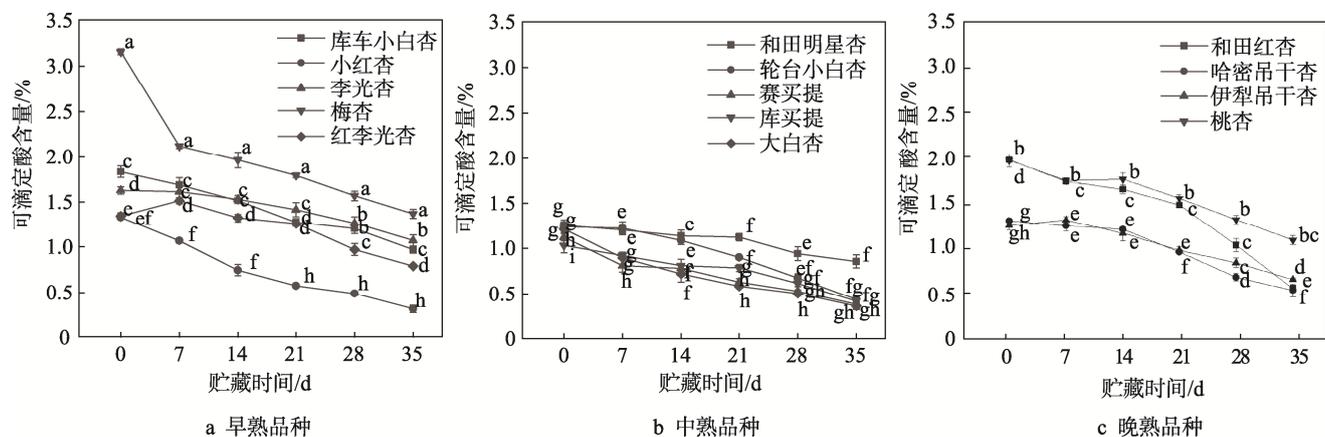


图 3 不同品种杏果实贮藏期可滴定酸含量的变化  
Fig.3 Changes in titratable acid content of different varieties of apricot fruits during storage

杏”“库买提杏”“梅杏”“伊犁吊干杏”“库车小白杏”“红李光杏”“桃杏”“和田明星杏”。由于可滴定酸呈连续下降趋势, 从图 3 可明显看出, 可滴定酸的初始值对最终值的影响较大, 初始值较高的, 其最终值也会相对偏高, 但可滴定酸是杏果实重要的风味因子, 果实的品质并不能只看数值的高低, 而是需要综合评估。

### 2.4 不同品种杏果实在贮藏期间 Vc 含量的变化

Vc 是杏果实中的营养物质之一, 在贮藏期间可以起到抗氧化, 延缓果实变质的作用。由图 4 可知, 在贮藏期间各品种杏果实 Vc 含量均持续下降, 在贮藏 35 d 时, Vc 降幅最大的品种为“小红杏”, 降幅达到了 76.24%, 与其他品种杏果相比降幅最大, 其次为“和田红杏”和“大白杏”, 降幅为 74.50%和 70.30%, “和田明星杏”下降最小, 与其他品种差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 仅为 31.57%。各品种此指标的降幅由高到低排序为“小红杏”“和田红杏”“大白杏”“赛买提杏”“轮台小白杏”“哈密吊干杏”“库买提杏”“梅

杏”“伊犁吊干杏”“库车小白杏”“红李光杏”“桃杏”“李光杏”“和田明星杏”。这是由于果实在衰老过程中, Vc 的降解远高于 Vc 的合成。

### 2.5 不同杏果实在贮藏期间呼吸强度的比较

杏是呼吸跃变型果实, 因此, 不同品种的杏果实在贮藏期间的呼吸强度大小也有所不同。由图 5 所示, 可以看到在贮藏 14 d 时, “小红杏”“李光杏”“梅杏”“红李光杏”和“伊犁吊干杏”出现了呼吸高峰, 在贮藏 21 d 时其余品种均出现呼吸高峰, 此时的乙烯含量也达到峰值, 乙烯会刺激杏果实的成熟, 说明“小红杏”“李光杏”“梅杏”“红李光杏”和“伊犁吊干杏”的贮藏性可能相较于另外几种杏果实较差。其中, “小红杏”的峰值比其余峰值高 15.07%~37.17%, 与其他峰值具有显著差异 ( $P < 0.05$ )。而“和田明星杏”的峰值比其余峰值低 22.62%~40.42%, 远远低于其他峰值。说明“和田明星杏”内的新陈代谢活动较低, 或是控制呼吸相关的酶活性较低, 导致“和田明星杏”呼吸强度较低, 乙烯高峰出现得较慢, 与其他杏果实相比成熟较晚。

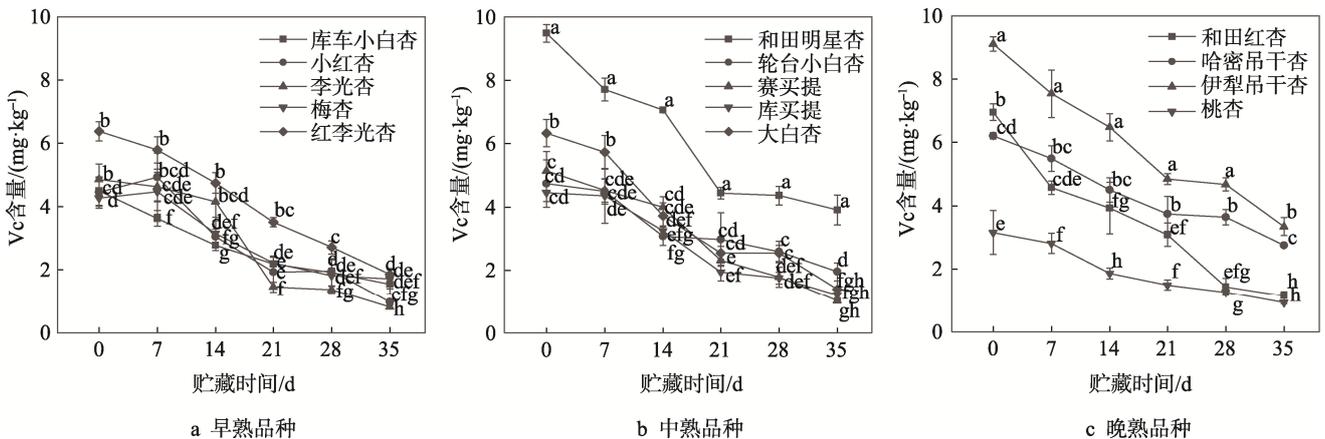


图 4 不同品种杏果实贮藏维生素 C 含量的变化

Fig.4 Changes in vitamin C content of different varieties of apricot fruits during storage

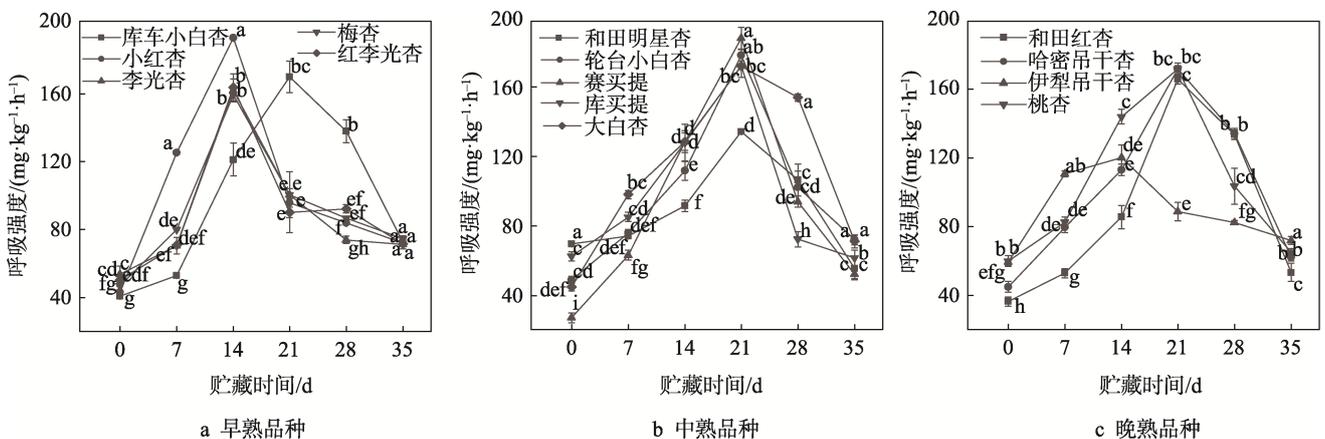


图 5 不同品种杏果实贮藏期呼吸强度的变化

Fig.5 Changes in respiration intensity of different varieties of apricot fruits during storage

### 2.6 不同杏果实在贮藏期间相对电导率的比较

通过图 6 可知,在贮藏过程中,各品种果实细胞膜透性表现出持续增加趋势,在 4 d 后大幅度提高,与张佳佳等<sup>[22]</sup>的结果相符合。在贮藏 35 d 时,“小红杏”的相对电导率为 86.11%,与初始值相比上升了 82.51%,要显著高于其他品种 ( $P < 0.05$ );其次为“和田红杏”和“库买提杏”,与初始值相比上升了 77.03% 和 74.95%;而“和田明星杏”的相对电导率在 35 d 时仅达到了 67.95%,与初始值相比上升了 52.66%,为各品种间最低,显著低于其他品种 ( $P < 0.05$ )。不同品种杏果电导率按上升百分率由高到低依次排序为“小红杏”“和田红杏”“库买提杏”“伊犁吊干杏”“桃杏”“库车小白杏”“赛买提杏”“轮台小白杏”“哈密吊干杏”“大白杏”“梅杏”“红李光杏”“李光杏”“和田明星杏”。“和田明星杏”果实的细胞膜相对完整,渗透率较低,这意味着果实中的水分难以流失。果实的软化是由于果实内部的细胞膜失去完整性,导致水分流失和细胞间隙增大所致。因此,和田明星杏果实的软化速率相对较低,表明其细胞膜的完整性较高。

### 2.7 不同杏果实在贮藏期间腐烂率的比较

腐烂率是代表果实综合品质与耐贮藏性的重要指标之一。杏果实的腐烂率与贮藏时间成正比,与李明璇<sup>[23]</sup>的研究结果一致。但由于品种的不同,腐烂时间的快慢具有一定的差异性。由图 7 可知,“和田明星杏”开始腐烂的时间较晚,在 28 d 左右才开始出现腐烂,与其他品种差异较为显著 ( $P < 0.05$ )。从腐烂速率来看,各品种的腐烂速率从快到慢的顺序为“小红杏”“大白杏”“田红杏”“库买提”“赛买提”“李光杏”“桃杏”“伊犁吊干杏”“梅杏”“哈密吊干杏”“轮台小白杏”“库车小白杏”“红李光杏”“田明星杏”。这说明不同品种杏果实在贮藏期间腐烂率差异较大,“和田明星杏”出现腐烂的时间较晚,比较耐贮藏。

### 2.8 相关性分析

通过贮藏期间各指标的相关性(见表 3),可判断出各品种果实品质指标间都有一定相关性。随着贮藏时间的变化,一些品质的改变也会对其他品质产生影响,因而这些品质间相互制约,也即信息重叠<sup>[24]</sup>。在研究过程中为更加准确客观地分析不同指标对杏果实品质的影响水平,进一步采用主成分分析法来评价。

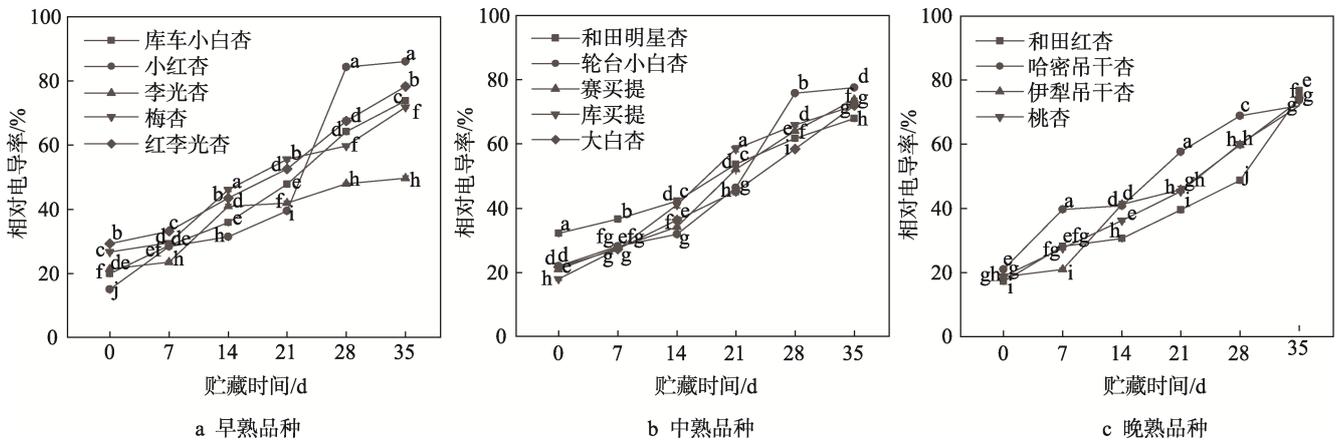


图 6 不同品种杏果实贮藏期相对电导率的变化

Fig.6 Changes in relative electrical conductivity of different varieties of apricot fruits during storage

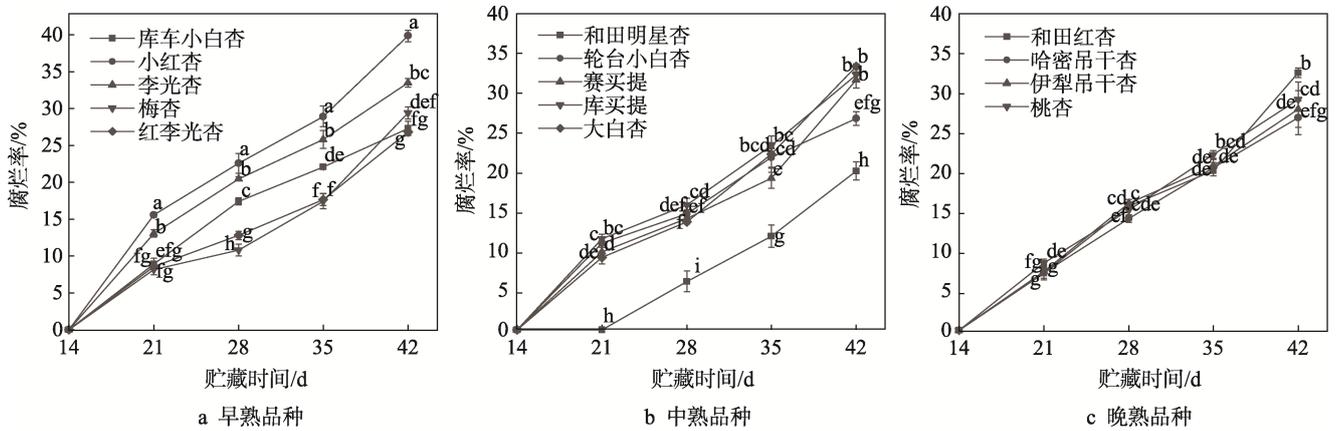


图 7 不同品种杏果实贮藏期腐烂率的变化

Fig.7 Changes in rotten rate of different varieties of apricot fruits during storage

表 3 不同品种杏果实贮藏期间各指标的相关系数  
Tab.3 Correlation coefficients of various indexes of different varieties of apricot fruits during storage

相关性	贮藏时间	$a^*$	$b^*$	$L^*$	SSC	硬度	TA	VC	呼吸强度	相对电导率	总酚	类黄酮	叶绿素	腐烂率
贮藏时间	1	0.561	-0.846*	-0.881*	0.858*	0.851*	-0.875*	0.822*	0.807	-0.836*	-0.572	-0.651	-0.839*	0.814*
$a^*$	0.561	1	-0.037	0.019	-0.027	-0.429**	0.034	-0.232**	-0.022	0.371**	-0.123	0.363**	-0.699**	0.044
$b^*$	-0.846*	-0.037	1	0.624**	0.342**	-0.564**	-0.526**	-0.392**	0.111	0.545**	0.501**	0.179**	-0.165**	0.422**
$L^*$	-0.881*	0.019	0.624**	1	0.289**	-0.456**	-0.670**	-0.305**	0.108	0.623**	0.405**	0.06	-0.055	0.318**
SSC	0.858*	-0.027	0.342**	0.289**	1	-0.247**	-0.563**	0.206**	0.319**	0.027	0.035	0.194**	-0.282**	0.437**
硬度	0.851*	-0.429**	-0.564**	-0.456**	-0.247**	1	0.440**	0.517**	-0.282**	-0.660**	-0.430**	-0.332**	0.530**	-0.615**
TA	-0.875*	0.034	-0.526**	-0.670**	-0.563**	0.440**	1	0.239**	-0.133*	-0.491**	-0.406**	-0.257**	0.195**	-0.406**
VC	0.822*	-0.232**	-0.392**	-0.305**	0.206**	0.517**	0.239**	1	-0.213**	-0.634**	-0.669**	-0.380**	0.137*	-0.694**
呼吸强度	0.807	-0.022	0.111	0.108	0.319**	-0.282**	-0.133*	-0.213**	1	0.073	0.292**	0.452**	0.064	0.742**
相对电导率	-0.836*	0.371**	0.545**	0.623**	0.027	-0.660**	-0.491**	-0.634**	0.073	1	0.548**	0.307**	-0.390**	0.709**
总酚	-0.572	-0.123	0.501**	0.405**	0.035	-0.430**	-0.406**	-0.669**	0.292**	0.548**	1	0.411**	0.068	0.692**
类黄酮	-0.651	0.363**	0.179**	0.06	0.194**	-0.332**	-0.257**	-0.380**	0.452**	0.307**	0.411**	1	-0.111	0.548**
叶绿素	-0.839*	-0.699**	-0.165**	-0.055	-0.282**	0.530**	0.195**	0.137*	0.064	-0.390**	0.068	-0.111	1	-0.182*
腐烂率	0.814*	0.044	0.422**	0.318**	0.437**	-0.615**	-0.406**	-0.694**	0.742**	0.709**	0.692**	0.548**	-0.182*	1

注: \*在 0.05 级别 (双尾), 相关性显著; \*\*在 0.01 级别 (双尾), 相关性显著。

## 2.9 主成分分析

在研究过程中为更加准确客观分析不同指标对杏果实品质的影响水平, 进一步采用主成分分析法来评价。所得结果如下。

将 14 种样品的 13 个评价指标进行 PCA 分析, 基于表 4 结果可发现, 以特征值>1.0 为标准可确定出 4 个主成分, 其中第 1 主成分 ( $F_1$ ) 的特征值为 4.49, 对应的贡献水平为 34.55%, 代表了  $L^*$  值、 $a^*$  值、 $b^*$  值、呼吸强度、相对电导率等指标 (见表 5), 说明这些指标是指示果实衰老程度的首要因素。 $F_2$  的特征值为 2.48, 贡献水平为 19.11%, 代表果实的硬度、叶绿素等指标 (见表 5)。 $F_3$  的特征值为 2.04, 贡献水平为 11.66%, 代表可滴定酸等指标,  $F_3$  代表着杏果实的风味 (见表 5)。 $F_4$  的特征值为 1.25, 贡献水平为 9.62%, 典型的指标为 Vc 含量, 其表示着杏果实的营养成分 (见表 5)。4 个主成分的贡献水平总和为 78.94%, 由此可判断出这 4 个指标基本上可以代表杏果实采后品质状况, 可用于对果实品质的准确描述<sup>[25]</sup>。

接着计算出特征向量, 在此基础上进行回归分析而得到 4 个主成分的回归方程分别为:

$$F_1=0.067X_1+0.301X_2+0.270X_3+0.317X_4-0.331X_5-0.286X_6-0.232X_7+0.384X_8+0.394X_9+0.277X_{10}+0.312X_{11}-0.090X_{12}+0.044X_{13}$$

表 4 主成分的特征值和贡献率

Tab.4 Eigenvalues and contribution rates of principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	4.49	34.55	34.55
2	2.48	19.11	53.66
3	2.04	15.66	69.32
4	1.25	9.62	78.94
5	0.76	5.86	84.80
6	0.53	4.08	88.88
7	0.37	2.83	91.70
8	0.34	2.62	94.33
9	0.25	1.93	96.25
10	0.15	1.18	97.43
11	0.15	1.12	98.55
12	0.10	0.80	99.34

$$F_2=-0.586X_1+0.169X_2+0.181X_3-0.025X_4+0.216X_5-0.191X_6-0.073X_7-0.022X_8-0.170X_9+0.356X_{10}-0.149X_{11}+0.479X_{12}+0.314X_{13}$$

$$F_3=0.079X_1-0.179X_2-0.381X_3-0.410X_4-0.017X_5+0.358X_6-0.525X_7+0.169X_8+0.077X_9+0.299X_{10}+0.242X_{11}+0.087X_{12}+0.236X_{13}$$

$$F_4=0.021X_1-0.064X_2+0.335X_3-0.255X_4+0.159X_5+$$

$$0.152X_6 - 0.022X_7 + 0.080X_8 + 0.267X_9 - 0.019X_{10} + 0.131X_{11} + 0.483X_{12} - 0.664X_{13}$$

其中,  $X_1-X_{13}$  为标准化后的指标数值。

基于方差贡献率为权重,建立起相应的综合评价模型:  $F=0.38145F_1+0.16118F_2+0.1356F_3+0.11758F_4$ 。

将 14 种样品的指标标准值代入上述回归方程,计算出各样品果实在贮藏过程中的综合得分  $F$  值。此分值与综合品质存在正相关关系,分析图 9 结果可判断出,各样品的综合得分与贮藏时间都存在正相关关系,由此可判断出,采后果实的生理代谢失调,衰老速度迅速上升。不过对比还可发现,各品种果实贮藏期间综合得分的变化有明显差异,由图 9 可知,在贮藏 0 d 时,“库车小白杏”“小红杏”“李光杏”“梅杏”“红

李光杏”“和田明星杏”“轮台小白杏”“赛买提杏”“库买提杏”“大白杏”“和田红杏”“哈密吊干杏”“伊犁吊干杏”“桃杏”的综合得分依次为-0.006 4、0.621 5、0.899 5、0.249 3、-0.09、0.055、0.560 4、0.620 6、0.771、1.168 4、-0.170 5、0.945 6、-0.423 4、0.052 9。然而在贮藏末期时,14 种杏果实的综合评分都有不同程度的下降,按照与初始值相比,下降速率由高到低依次排序为“小红杏”“库车小白杏”“李光杏”“赛买提杏”“大白杏”“桃杏”“和田红杏”“梅杏”“红李光杏”“库买提杏”“轮台小白杏”“伊犁吊干杏”“哈密吊干杏”“和田明星杏”。这说明“小红杏”的耐贮性最差,而“和田明星杏”的耐贮性最好,与前期指标测定的结果较为接近。

表 5 主成分的载荷矩阵和特征向量  
Tab.5 Load matrix and eigenvector of principal components

指标	符号	主成分 1		主成分 2		主成分 3		主成分 4	
		载荷系数	特征向量	载荷系数	特征向量	载荷系数	特征向量	载荷系数	特征向量
$a^*$	$X_1$	0.14	0.17	-0.92	-0.59	0.11	0.08	0.02	0.02
$b^*$	$X_2$	0.64	0.30	0.27	0.17	-0.26	-0.18	-0.07	-0.06
$L^*$	$X_3$	0.57	0.27	0.29	0.18	-0.54	-0.38	0.38	0.34
SSC	$X_4$	0.67	0.32	-0.04	-0.02	-0.59	-0.41	-0.29	-0.25
硬度	$X_5$	-0.70	-0.33	0.34	0.22	-0.02	-0.02	0.18	0.16
TA	$X_6$	-0.61	-0.29	-0.30	-0.19	0.51	0.36	0.17	0.15
Vc	$X_7$	-0.49	-0.23	-0.12	-0.07	-0.75	-0.52	-0.03	-0.02
呼吸强度	$X_8$	0.81	0.38	-0.03	-0.02	0.24	0.17	0.09	0.08
相对电导率	$X_9$	0.84	0.39	-0.27	-0.17	0.11	0.08	0.30	0.27
总酚	$X_{10}$	0.59	0.28	0.56	0.36	0.43	0.30	-0.02	-0.02
类黄酮	$X_{11}$	0.66	0.31	-0.24	-0.15	0.35	0.24	0.15	0.13
叶绿素	$X_{12}$	-0.19	-0.09	0.76	0.48	0.12	0.09	0.54	0.48
腐烂率	$X_{13}$	0.09	0.04	0.50	0.31	0.34	0.23	-0.74	0.66

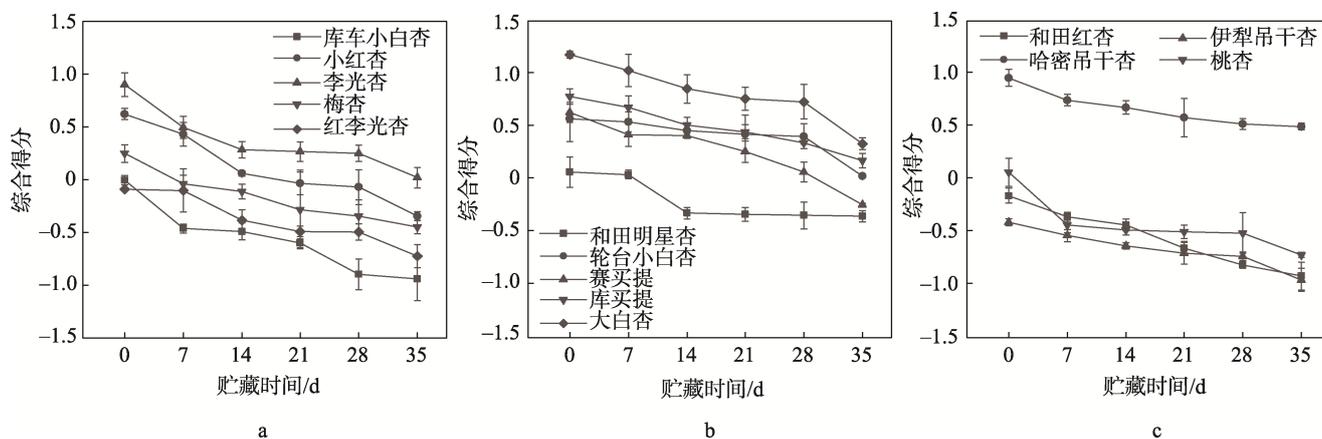


图 9 不同品种杏果实贮藏期间的综合得分  
Fig.9 Comprehensive scores of different varieties of apricot fruits during storage

### 3 结语

本文研究了新疆主栽和主售的 14 种商业成熟度的杏果实贮藏期间的品质指标。结果表明, 在贮藏期间杏果实品质整体均呈现下降趋势, 品种间差异较大, 这表明不同品种杏果实贮藏性存在明显差异。因此, 在贮藏期间各品种表现出的生理特性也各不相同。“和田明星杏”的硬度、可滴定酸、Vc 含量、 $L^*$  值、 $a^*$  值、黄酮含量明显好于其他品种,  $b^*$  值也较高, 而各品种的叶绿素含量在此过程中的差异不显著。相关性分析说明, 14 种杏果实的多项贮藏指标均呈现相关性, 通过 PCA 方法对各指标简化处理, 确定出 4 个主成分。影响水平总和达 78.936%, 以上 4 个主成分代表了杏果实的初始信息, 并进一步建立杏果实品质评价体系, 将 14 种杏果实的信息带入后得出, “和田明星杏”在贮藏期间的综合评分与其他品种相比较, 与前文中品质变化的情况相同。“和田明星杏”的贮藏性较好, 但机理并不明朗, 初步推断可能与品种间调控软化和乙烯释放等酶类有关。本实验建立的评价模型可以通过果实在贮藏期间的各项指标体现出其在贮藏期间的综合品质, 对品种种植区域布局与设计采收方案等具有一定的理论意义。但本实验所涉及的杏果实品质较少, 检测指标比较简单, 后续可以增加指标, 建立更全面的评价系统。

#### 参考文献:

- [1] 谢辉, 艾尼瓦尔·肉孜, 王乔, 等. 新疆杏产业发展现状分析及前景展望[J]. 中国果树, 2019(2): 108-112.  
XIE H, ENIVAR R, WANG Q, et al. Present Situation Analysis and Prospect of Apricot Industry in Xinjiang[J]. China Fruits, 2019(2): 108-112.
- [2] 熊子璇, 吴志蒙, 黄华, 等. 不同保鲜袋包装对采后油桃果实贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2022, 43(3): 78-86.  
XIONG Z X, WU Z M, HUANG H, et al. Effects of Different Packaging Films on Quality of Postharvest Ambient Storage in Nectarine Fruits[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(3): 78-86.
- [3] HUA X W, LI T T, WU C E, et al. Novel Physical Treatments (Pulsed Light and Cold Plasma) Improve the Quality of Postharvest Apricots after Long-Distance Simulated Transportation[J]. Postharvest Biology and Technology, 2022, 194(41): 112098.
- [4] 周嘉佳, 吴艳明, 张文乐, 等. 1-MCP 可控缓释包装纸对杏果实贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(2): 248-254.  
ZHOU J J, WU Y M, ZHANG W L, et al. Effect of 1-MCP Controlled Release Packaging Paper on Storage Quality of Apricot Fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(2): 248-254.
- [5] 崔宽波, 朱占江, 杨莉玲, 等. 新疆杏采后贮藏保鲜研究现状及展望[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(2): 280-286.  
CUI K B, ZHU Z J, YANG L L, et al. Research on Status and Prospects of Xinjiang Apricot Storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(2): 280-286.
- [6] ZHANG M Y, BAI L, JING Y L, et al. Effect of 1-Methylcyclopropene on the Postharvest Softening of Nanguo Pear Fruits[J]. Food Science, 2018, 39(17): 206-231.
- [7] CORTELLINO G, GOBBI S, BIANCHI G, et al. Modified Atmosphere Packaging for Shelf Life Extension of Fresh-Cut Apples[J]. Trends in Food Science & Technology, 2015, 46(2): 320-330.
- [8] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2007: 21-115.  
CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Guidance on Postharvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 21-115.
- [9] 王学奎, 黄见良. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2015: 45-83.  
WANG X K, HUANG J L. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment[M]. 3rd ed. Beijing: Higher Education Press, 2015: 45-83.
- [10] NISAR N, LI L, LU S, et al. Carotenoid Metabolism in Plants[J]. Molecular Plant, 2015, 8(1): 68-82.
- [11] LI W F, YANG H Y, ZHAO Q, et al. Polyphenol-Rich Loquat Fruit Extract Prevents Fructose-Induced Nonalcoholic Fatty Liver Disease by Modulating Glycometabolism, Lipometabolism, Oxidative Stress, Inflammation, Intestinal Barrier, and Gut Microbiota in Mice[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2019, 67(27): 7726-7737.
- [12] 高名月, 赵政阳, 王燕, 等. 气调贮藏对瑞雪苹果的保鲜效果与果皮褐变机制的初探[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(4): 123-129.  
GAO M Y, ZHAO Z Y, WANG Y, et al. Effects of Controlled Atmosphere on Preservation of Ruixue Apples and Preliminary Study on Pericarp Browning Mechanism[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(4): 123-129.
- [13] NIYOGI K K. Photoprotection Revisited: Genetic and Molecular Approaches[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1999, 50: 333-359.

- [14] 傅秀敏. 红肉和白肉枇杷果实类胡萝卜素差异积累机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.  
FU X M. Study on the Differential Accumulation Mechanism of Carotenoids in Red Meat and White Meat Loquat Fruits[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [15] 崔建潮, 贾晓辉, 孙平平, 等. 不同品种甜樱桃果实贮藏期间品质及生理特性变化[J]. 保鲜与加工, 2019, 19(5): 24-32.  
CUI J C, JIA X H, SUN P P, et al. Changes in the Quality and Physiological Property of Different Varieties of Sweet Cherry during Storage[J]. Storage and Process, 2019, 19(5): 24-32.
- [16] SCHEIDT T B, SILVA F V M. High Pressure Processing and Storage of Blueberries: Effect on Fruit Hardness[J]. High Pressure Research, 2018, 38(1): 80-89.
- [17] 李明璇, 岳明, 靳江平, 等. 1-MCP 熏蒸结合不同温度对杏果实细胞壁代谢的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(2): 62-68.  
LI M X, YUE M, JIN J P, et al. Effect of 1-MCP Fumigation Combined with Different Temperatures on Cell Wall Metabolism in Apricot Fruit[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(2): 62-68.
- [18] FAN X G, JIANG W B, GONG H S, et al. Cell Wall Polysaccharides Degradation and Ultrastructure Modification of Apricot during Storage at a near Freezing Temperature[J]. Food Chemistry, 2019, 300: 125194.
- [19] TAN B, KUŞ E, TAN K, et al. Determination of Optimum Harvest Time and Physical and Chemical Quality Properties of Shalakh(Aprikoz) Apricot Cultivar during Fruit Ripening[J]. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, 2023, 22(1): 37-46.
- [20] 周丹丹, 李婷婷, 吴彩娥, 等. 转录和蛋白质组学分析热空气处理对桃果实采后冷藏期间糖酸和酚类物质代谢的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(17): 208-220.  
ZHOU D D, LI T T, WU C E, et al. Transcriptomics and Proteomics Analysis Provide Insight into Metabolisms of Sugars, Organic Acids and Phenols in Hot Air Treated Peaches during Cold Storage[J]. Food Science, 2022, 43(17): 208-220.
- [21] 周洲. 杏种质资源果皮和果肉酸度及有机酸组成评价[J]. 中国果业信息, 2022(2): 55.  
ZHOU Z. Apricot Germplasm Peel and Pulp Acidity and Organic Acid Composition Evaluation[J]. China Fruit News, 2022(2): 55.
- [22] 张佳佳, 周鹤, 易薇, 等. 1-甲基环丙烯结合高氧处理对杏果贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(2): 68-73.  
ZHANG J J, ZHOU H, YI W, et al. Effects of 1-MCP Combined with High Oxygen Treatment on Storage Quality of Apricot[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(2): 68-73.
- [23] 李明璇. 1-MCP 结合不同温度处理对杏果生理及品质的影响[D]. 新疆: 新疆农业大学, 2022.  
LI M X. The Effect of 1-MCP Combined with Different Temperature Treatments on the Physiology and Quality of Apricot Fruit[D]. Xingjiang: Xinjiang Agricultural University, 2022.
- [24] 戴瀚铖, 成纪予. 不同品种鲜切桃贮藏期品质变化与主成分分析[J]. 包装工程, 2021, 42(19): 85-92.  
DAI H C, CHENG J Y. Quality Changes and Principal Component Analysis in Fresh-Cut Peach of Different Varieties during Storage[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(19): 85-92.
- [25] 潘照, 周文化, 肖玥惠子. 基于主成分分析的不同种鲜食葡萄品质评价[J]. 食品与机械, 2018, 34(9): 139-146.  
PAN Z, ZHOU W H, XIAO Y H Z. Quality Evaluation of Different Table Grape Based on Principal Component Analysis[J]. Food & Machinery, 2018, 34(9): 139-146.