



李长城, 张志刚, 刘玉芳, 等. 安江大黄杏不同成熟度果实生理指标变化[J]. 黑龙江农业科学, 2024(6):71-78.

安江大黄杏不同成熟度果实生理指标变化

李长城¹, 张志刚^{2,3,4}, 刘玉芳⁵, 王世蕾⁴, 杨璐^{3,4,6}

(1. 新疆林业学校, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆林业科学院 造林治沙研究所, 新疆 乌鲁木齐 830092; 3. 新疆林木资源与利用国家林草局重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830092; 4. 新疆林果树种选育与栽培重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830092; 5. 新疆开放大学 理工学院, 新疆 乌鲁木齐 830049; 6. 新疆林业测试中心, 新疆 乌鲁木齐 830092)

摘要:为探究安江大黄杏低温贮藏条件下适宜的采收成熟度,以安江大黄杏为试材,根据转黄率将果实分为成熟度Ⅰ、成熟度Ⅱ和成熟度Ⅲ,置于 (4 ± 1) ℃贮藏,每5 d测定相关指标的变化。结果表明,成熟度Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ的杏果实、果核、果仁各项指标均无显著差异;贮藏天数表现为成熟度Ⅰ(>20 d) $>$ 成熟度Ⅱ(20 d) $>$ 成熟度Ⅲ(18 d);各成熟度果实的硬度、总酸含量、纤维素酶活力随着贮藏时间的延长逐渐下降,质膜透性(相对电导率)、总糖含量逐渐上升,多酚氧化酶、可溶性固形物含量、半乳糖醛酸含量呈先上升后下降的趋势,细胞壁、粗纤维、过氧化物酶呈先下降后上升趋势,且总酸、可溶性固形物含量、细胞壁、质膜透性、粗纤维动态变化全过程中成熟度间差异显著,成熟度Ⅱ、Ⅲ的糖酸比较高,分别为1.022和1.245;成熟度Ⅱ与过氧化物酶、质膜透性、细胞壁显著正相关,与果胶酶显著负相关,多元线性回归拟合方程拟合度极高,为1.00。综上, (4 ± 1) ℃低温贮藏下,安江大黄杏成熟度Ⅱ的果实贮藏期为20 d,口感较甜,糖酸比为1.022,12项生理指标中有6项相对稳定,适宜作为贮藏采收标准。

关键词:低温贮藏;安江大黄杏;成熟度;腐烂率;品质指标

杏,蔷薇科(Rosaceae)李亚科(Prunoideae)杏属(*Armeniaca* Mill.)落叶乔木。世界各地均有栽培,由于栽培历史久远,品种很多,具有重要的经济价值。杏树强健,耐干旱,除作果树和观赏植物以外,还可作为防护林和水土保持用林的优良树种^[1]。新疆杏种植已经有2 000多年的历史,资源丰富,优良品种多,是我国主要的杏产区之一^[2]。随着林果产业的快速发展,新疆杏产业逐渐呈现出一系列问题^[3]。由于杏果是典型的呼吸跃变型果实,采收季节相对集中,多为高温夏季,易软化、失水、褐变,造成腐烂、不耐储运^[4],很难实现高质量的保鲜,这不仅难以满足市场的需求,也影响了当地经济的发展^[5-6]。目前,诸多学者开展了对杏果实采收后贮藏、运输方面的研究,国内外主要的贮藏保鲜技术有气调保鲜、涂膜保鲜、缓释剂和辐照保鲜等^[7-10],但有些技术成本投入大、技术含量高、操作困难。因此,控制杏果实采收后贮藏条件,寻求简单、高效的贮藏方式已成为杏贮藏中亟需解决的问题。

本研究以安江大黄杏为试材,通过研究低温

贮藏条件下3个成熟度安江大黄杏果实品质、细胞状态及酶活力的动态变化,深入了解其贮藏期间的生理活动,探讨低温贮藏对安江大黄杏3个成熟度果实品质和贮藏时间的影响,为安江大黄杏低温贮藏条件下采收的适宜成熟度及运输提供理论基础与实践依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 试验材料 安江大黄杏系延边当地品种,经择优选种稳定性状,逐步扩大,已成为本地区主推杏品种之一,树冠半圆形,树姿半开张,一年生枝向阳面红褐色,果实大,圆形,黄色,果肉淡黄色肉质细软,酸甜微香,比较抗寒。

1.1.2 仪器与设备 GY-4 硬度计,上海伦捷仪表有限公司;NK-55T 高精度数显折光仪,天津瞭望光电科技有限公司;SA224S 电子分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;DDS-307 电导率仪,上海仪电科学仪器股份有限公司;SW23 恒温振荡水浴槽,优莱博技术(北京)有限公司;DHG-A 电热鼓风干燥箱,上海一恒科学仪器有

收稿日期:2023-11-05

基金项目:2022年新疆自治区林草发展补助资金项目(XJLYKJ-2022-06);2022年中央引导地方科技发展专项资金项目(ZYYD2022B15)。

第一作者:李长城(1991—),男,硕士,讲师,从事果树研究。E-mail:1097263031@qq.com。

通信作者:张志刚(1983—),男,博士,研究员,从事果树研究。E-mail:648753460@qq.com。

限公司;UV-2600 紫外可见分光光度计,日本岛津公司;MAG-HS4 磁力搅拌器,艾卡(广州)仪器设备有限公司;UB-7 精密酸度计(pH 计),丹佛仪器(北京)有限公司;ML-3-4 可调式电热板,京市永光明医疗仪器有限公司;KQ500DE 数控超声波清洗机,昆山市超声仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 采集位于阿克苏地区杏种植示范园内树势良好、无病虫害的安江大黄杏果品样株,示范园内株行距 4 m×5 m,10~12年生,并

对各样株标号定位。安江大黄杏花期为 3 月下旬,果实成熟期为 6 月下旬至 7 月上旬,样品采摘根据成熟度进行分级(参照不同成熟度的色泽、口感)^[11],如图 1、表 1 所示。

表 1 安江大黄杏成熟度采收标准

成熟度	色泽	口感
成熟度 I (7 成熟)	果面黄绿参半(着色面积 50%)	微酸
成熟度 II (8 成熟)	果面呈淡黄绿色(着色面积 70%)	酸甜
成熟度 III (9 成熟)	果面呈黄色(着色面积 90%)	较甜

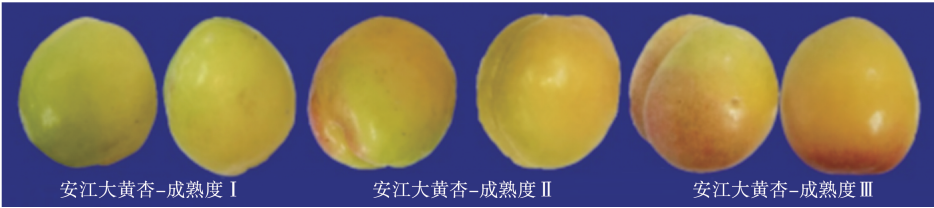


图 1 安江大黄杏果实不同成熟度分级标准

将不同成熟度的安江大黄杏果实放置于低温(4±1)℃环境下进行贮藏,并立即进行相关指标测定。作为第一次测定值(初始值),动态观测实验开始后腐烂率指标,每天上午观测 1 次,果实品质及相关酶活力等指标均间隔 4 d 测定 1 次,直至无商品价值停止测定。

1.2.2 果实基础指标的测定方法 随机选取 50 个果实(除去个别过大或过小果实),利用游标卡尺分别测量不同杏品种的果实、果核、果仁的横纵径,测量果核皮,果仁厚度等指标,通过加权平均求得各品种杏果实基础指标值;利用烘干称量法测定含水率。

1.2.3 果实腐烂率、硬度、总酸、总糖、可溶性固形物测定 用 GY-4 果实硬度计测定果实带皮硬度,单位为 kg·cm⁻²。使用 NK-55T 手持高精度数显折光仪进行可溶性固形物(Total Soluble Solids,TSS)含量的测定,单位为%;总酸(Titratable Acid,TA)的测定参考《食品安全国家标准 食品中总酸的测定(GB 12456—2021)》^[12],单位为%;总糖的测定参照《红参中总糖含量的测定 分光光度法(NY/T 2332—2013)》^[13],单位为%;果实腐烂数每隔 1 d 记录 1 次,直至果实完全失去商品性为止,统计每个周期的果实腐烂率,按照下列公式进行计算:

$$F(\%) = \frac{f_1}{f_2} \times 100$$

式中,F 为果实腐烂率(%);f₁ 为果实腐烂

个数;f₂ 为果实总个数。

1.2.4 果胶、粗纤维、细胞壁含量及质膜透性的测定 参考《水果及其制品中果胶含量的测定 分光光度法(NY/T 2016—2011)》^[14]测定半乳糖醛酸含量,单位为 mg·L⁻¹;采用《植物类食品中粗纤维的测定(GB/T 5009.10—2003)》^[15]进行粗纤维测定,单位为 mg·L⁻¹;参考曹建康^[16]等的方法测定相对电导率,单位为 S·m⁻¹;参考陈红丽等^[17]的方法,测定细胞壁含量,单位为 mg·L⁻¹。

1.2.5 酶活力的测定 参考曹建康等^[16]的方法测定果胶酶(Polygalacturonase,PG)、纤维素酶(Cellulase,Cx)活力、多酚氧化酶(Polyphenol oxidase,PPO)、过氧化物酶(Peroxidase,POD)活力,单位为 U·(g·min)⁻¹。

1.2.6 数据分析 用 Excel 2020 统计软件对实验数据进行整理统计并作图。用 SPSS 26.0 软件进行方差、相关性分析及线性回归等。

2 结果与分析

2.1 安江大黄杏不同成熟度果实特性指标

由表 2 可知,安江大黄杏果形近椭圆形(果形指数>1),果实体积较大,果核偏大、果皮较薄。对 3 个成熟度安江大黄杏果实、果核、果仁的 11 项指标进行差异性分析,发现差异均不显著。主要原因可能是 3 个成熟度杏果实均已过了膨大期,进入着色期,其果实、果核、果仁特性指标发生变化差异较小。因此,采收此 3 个成熟度果实对于产量的损失影响较小。

表 2 安江大黄杏不同成熟度果实特性指标

成熟度	果实					果核			果仁		
	横径/mm	纵径/mm	果形指数	单果重/g	含水率/%	横径/mm	纵径/mm	厚度/mm	横径/mm	纵径/mm	厚度/mm
I	37.96±0.98 a	43.96±1.58 a	1.15±0.12 a	36.70±0.49 a	0.89±0.13 a	23.90±0.23 a	32.63±1.24 a	0.92±0.05 a	14.74±0.27 a	20.64±0.50 a	5.18±0.45 a
II	40.74±0.36 a	46.29±0.33 a	1.13±0.02 a	37.42±0.57 a	0.89±0.01 a	23.96±0.91 a	32.13±0.86 a	0.97±0.14 a	14.61±0.43 a	20.37±0.36 a	5.96±0.16 a
III	39.39±0.81 a	45.57±0.58 a	1.15±0.04 a	36.48±0.71 a	0.90±0.01 a	23.67±1.48 a	32.61±1.45 a	1.14±0.02 a	14.75±0.46 a	20.41±0.33 a	5.86±0.45 a

注:表中不同小写字母表示不同成熟度间在 $P<0.05$ 水平差异显著。

2.2 低温贮藏下安江大黄杏不同成熟度果实腐烂率动态变化

低温可以抑制微生物的生命活动,减少果蔬贮藏中腐烂变质现象的发生^[18]。由图 2 可知,低温贮藏条件下 3 个成熟度果实贮藏前 4 d 腐烂率均为 0。成熟度 I 的安江大黄杏果实在贮藏第 5 天

开始腐烂,成熟度 II 第 10 天开始腐烂,二者腐烂速率变化先缓慢上升,后迅速上升,均于第 20 天腐烂率达到最高,其中成熟度 II 的腐烂率达 100%,成熟度 III 第 6 天开始腐烂,腐烂速率持续上升,第 18 天达 100%。贮藏天数为成熟度 I (>20 d)>成熟度 II (20 d)>成熟度 III (18 d)。

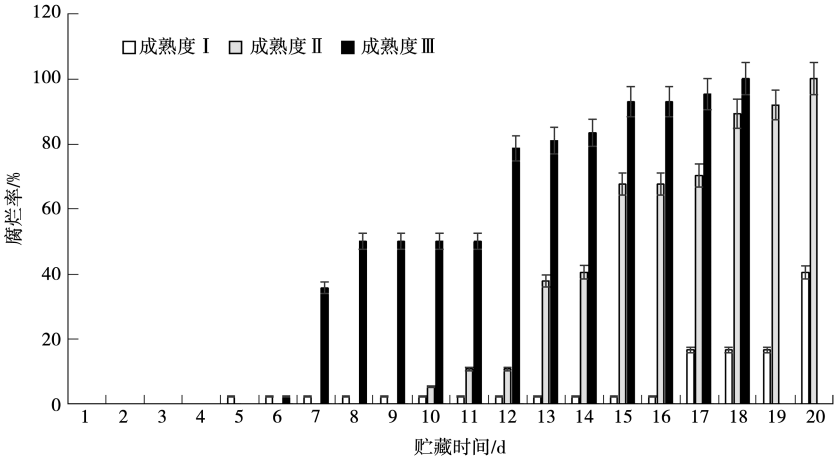


图 2 安江大黄杏不同成熟度果实腐烂率动态变化

2.3 低温贮藏下安江大黄杏不同成熟度果实品质动态变化

2.3.1 果实硬度 硬度作为果实成熟的重要指标,直接影响果实的品质和贮藏性^[19]。由图 3A 可知,3 个成熟度果实硬度均呈下降趋势,采后贮藏当天成熟度 I 硬度最大,为 0.939 kg·cm⁻²,成熟度 II 的硬度为 0.774 kg·cm⁻²、成熟度 III 的硬度为 0.664 kg·cm⁻²,成熟度 III 与前两者差异显著;贮藏至 20 d,成熟度 III 硬度最低,为 0.212 kg·cm⁻²,与成熟度 I (0.336 kg·cm⁻²)、成熟度 II (0.336 kg·cm⁻²) 差异显著。在贮藏的 20 d 内,成熟度 II 硬度变化幅度最小,下降了 56.59%。

2.3.2 果实总酸、总糖含量 总酸、总糖含量是评价果实口感及营养的常规指标。由图 3B、C 可知,果实采后,3 个成熟度总酸含量均呈下降趋势,初始值依次为 13.377%、10.677%和 9.091%,

三者差异显著;贮藏至 20 d,3 个成熟度值依次为 8.319%、7.173%和 6.649%,三者差异显著。总糖含量 3 个成熟度果实整体变化趋势均为先上升后下降,成熟度 III 始终大于成熟度 I 和 II,且差异显著,贮藏至 20 d,3 个成熟度总糖含量依次为 6.950%、7.328%和 8.280%,糖酸比分别为 0.835, 1.022 和 1.245,成熟度 II、III 口感较甜。总酸、总糖含量成熟度 III 变化幅度最小,分别下降了 26.86% 和上升 8.68%。

2.3.3 可溶性固形物含量 可溶性固形物(TSS)含量是衡量果实成熟的重要指标,其含量高低影响着果实的风味^[20]。由图 3D 可知,采收期果实成熟度越高 TSS 含量越高。采后成熟度 III 的果实 TSS 含量最高,为 11.93%,与成熟度 I (9.90%)和成熟度 II (10.43%),差异显著。3 个成熟度变化趋势均为先上升后下降,贮藏至 20 d,成熟度 I 和

成熟度Ⅱ TSS 含量分别为 11.67% 和 11.27%，二者与成熟度Ⅲ(10.20%)差异显著。由此分析，果实后熟软化致使成熟度Ⅰ和成熟度Ⅱ TSS 含量增加，成熟度Ⅲ含量下降。成熟度Ⅱ变化幅度最小，上升了 8.05%。

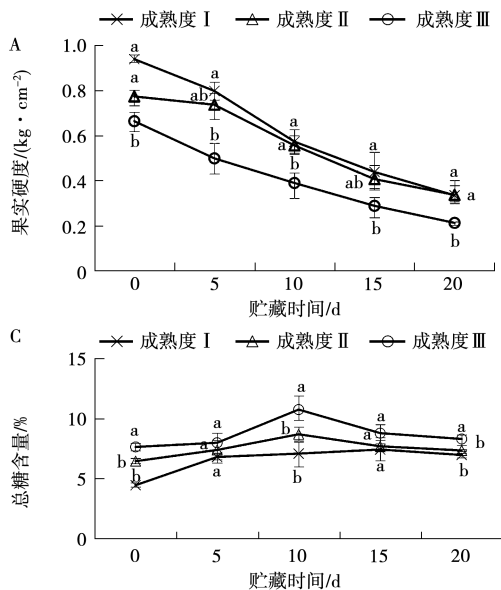


图3 安江大黄杏不同成熟度果实品质动态变化

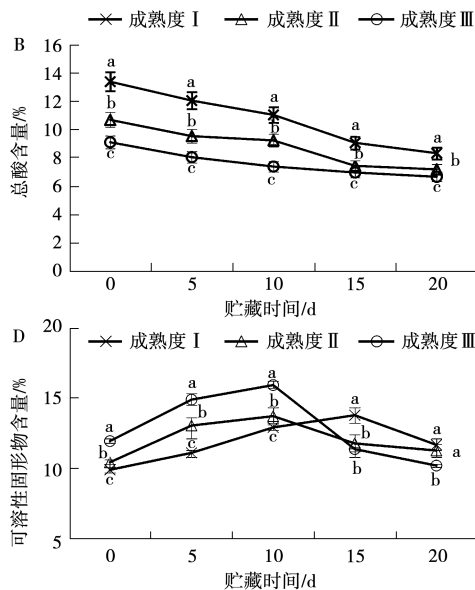
注：不同小写字母表示不同成熟度间在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

2.4 低温贮藏下安江大黄杏不同成熟度果实酶活力动态变化

2.4.1 过氧化物酶 由图 4A 可知，褐变是果实中的酚类物质在过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)共同作用下的结果^[22]。3个成熟度果实 POD 初始活力成熟度Ⅲ最大，为 $7.015 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ，与成熟度Ⅰ [$5.793 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 和成熟度Ⅱ [$5.543 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 差异显著；经过低温贮藏 3 个成熟度变化趋势为先下降后上升，贮藏至 20 d 达到最大值，依次为 10.280、8.650 和 $7.660 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ，三者差异显著，分别比初始值相对提升 77.46%、56.05% 和 9.19%，说明成熟度Ⅲ的 POD 活力最为稳定。

2.4.2 多酚氧化酶 由图 4B 可知，PPO 活力初始值成熟度Ⅰ最低，为 $1.219 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ，与成熟度Ⅱ [$2.094 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$]、成熟度Ⅲ [$2.145 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 差异显著；低温贮藏 3 个成熟度 PPO 活力变化趋势整体表现为先上升后下降，均在贮藏 10 d 时达到最大值，其中成熟度ⅡPPO 值最大，为 $4.217 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ，与成熟度Ⅰ [$3.393 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 和成熟度Ⅲ [$2.630 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 差异显著；贮藏 20 d 时成

低温贮藏是果品采后保证品质的有效方法，采后主要的生理变化是果实的后熟软化，这也是影响果实贮藏性的主要因素之一^[21]。综合评价，成熟度Ⅱ贮藏期间硬度下降慢，甜度较高，TSS 较稳定。



熟度Ⅰ的 PPO 活力较贮藏初始时上升了 125.51%，成熟度Ⅱ和成熟度Ⅲ分别下降了 1.62% 和 5.03%，说明成熟度Ⅱ和成熟度Ⅲ较为稳定。

2.4.3 果胶酶 由图 4C 可知，3 个成熟度果实果胶酶(PG)活力变化趋势为成熟度Ⅰ呈先上升后下降，与成熟度Ⅱ、成熟度Ⅲ持续下降趋势不一致。PG 活力初始值成熟度Ⅰ最低，为 $3.840 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ，与成熟度Ⅱ [$5.136 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 和成熟度Ⅲ [$6.116 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 差异显著；低温贮藏至 20 d 时成熟度Ⅰ的 PG 活力值最大，为 $2.732 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ，与成熟度Ⅱ [$2.230 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 和成熟度Ⅲ [$2.081 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$] 差异显著，分别比初始值相对下降 28.85%、56.58% 和 65.97%，成熟度Ⅲ的 PG 活力下降幅度最大，成熟度Ⅰ较为稳定。

2.4.4 果实纤维素酶 由图 4D 可知，3 个成熟度果实纤维素酶(Cx)活力整体呈先下降后上升趋势，初始值成熟度Ⅲ最大，为 $4.187 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ，成熟度Ⅱ为 $3.835 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ 、成熟度Ⅰ为 $2.924 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ，三者差异显著；贮藏至 15 d，3 个成熟度下降到最低值，依次为 0.953、0.807 和 $0.392 \text{ U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$ ；贮藏至 20 d，上升至 1.274、

2.071和 1.712 $\text{U} \cdot (\text{g} \cdot \text{min})^{-1}$, 三者差异显著, 分别比初始值下降 56.43%、46.00%和 59.11%, 成熟度Ⅲ Cx 活力下降幅度较大, 成熟度Ⅱ 较为稳定。

低温贮藏初始阶段能够有效抑制安江大黄杏 POD、PG、Cx 活力, 但 PPO 酶活力抑制效果不明

显, 且有小幅上升趋势。目前许多研究提到, 当果实组织结构发生破坏时, 用于催化作用的 PPO 含量增多, 从而表现出更强的催化活性, 加速组织衰老及果皮褐变^[23]。总体表现为成熟度Ⅱ 4 个酶活力变化相对稳定。

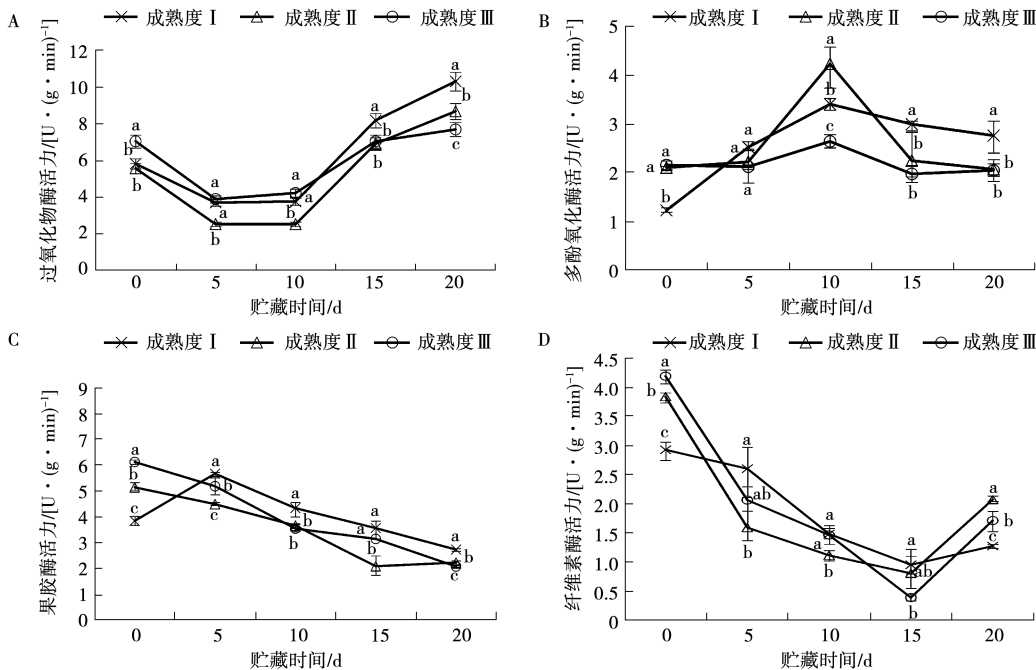


图4 安江大黄杏不同成熟度果实酶活力动态变化

2.5 低温贮藏下安江大黄杏不同成熟度果实细胞膜和细胞壁动态变化

2.5.1 果实细胞壁含量

采后果实细胞壁等组成分代谢的变化可以作为衡量其后熟软化程度的参数^[24]。由图 5A 可知, 3 个成熟度杏果实细胞壁含量均呈先下降后上升趋势, 且变化全过程 3 个成熟度差异显著, 3 个成熟度初始值依次为 1.624, 1.413 和 1.237 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 经过低温贮藏至 20 d 细胞壁含量依次为 2.704, 2.343 和 3.135, 细胞壁含量分别上升 66.50%、65.82%和 153.44%, 说明成熟度Ⅱ 细胞壁含量相对稳定。

2.5.2 质膜透性

由图 5B 可知, 随着果实的后熟软化, 3 个成熟度相对电导率均呈稳定上升的趋势, 由初始值 12.69, 15.60 和 16.06 $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$, 到低温贮藏 20 d 上升至 75.20, 92.86 和 93.94 $\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$, 成熟度Ⅰ 与成熟度Ⅱ 和Ⅲ 差异显著, 3 个成熟度相对电导率分别较初始值提升 492.59%、495.26%和 484.93%, 说明 3 个成熟度的安江大黄杏质膜透性增幅均较大。

2.5.3 半乳糖醛酸含量

果胶类物质是细胞壁的重要组成部分, 在果实成熟及衰老过程中具有增溶作用^[23]。半乳糖醛酸是果胶酸的组成单位, 也是果胶的主要成分。由图 5C 可知, 3 个成熟度果实半乳糖醛酸含量变化趋势为先上升后下降, 初始值依次为 9.191, 7.616 和 6.915 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 成熟度Ⅰ 与成熟度Ⅱ 和Ⅲ 差异显著; 贮藏至 20 d 成熟度Ⅱ 半乳糖醛酸含量最高, 为 9.287 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 与成熟度Ⅲ (7.656 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) 差异不显著, 二者显著高于成熟度Ⅰ (6.765 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 成熟度Ⅰ 下降了 26.40%, 而成熟度Ⅱ 和Ⅲ 分别上升了 21.94%和 10.72%, 成熟度Ⅰ 下降幅度较大。

2.5.4 果实粗纤维含量

由图 5D 可知, 3 个成熟度果实粗纤维含量初始值依次为 0.730, 0.608 和 0.542 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 贮藏至 20 d, 含量值依次为 0.572, 0.627 和 0.743 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 变化中 3 个成熟度过程差异显著。成熟度Ⅰ 相对下降了 21.64%, 成熟度Ⅱ 和Ⅲ 分别上升了 3.13%和 37.08%, 说明成熟度Ⅱ 果实粗纤维含量相对稳定。

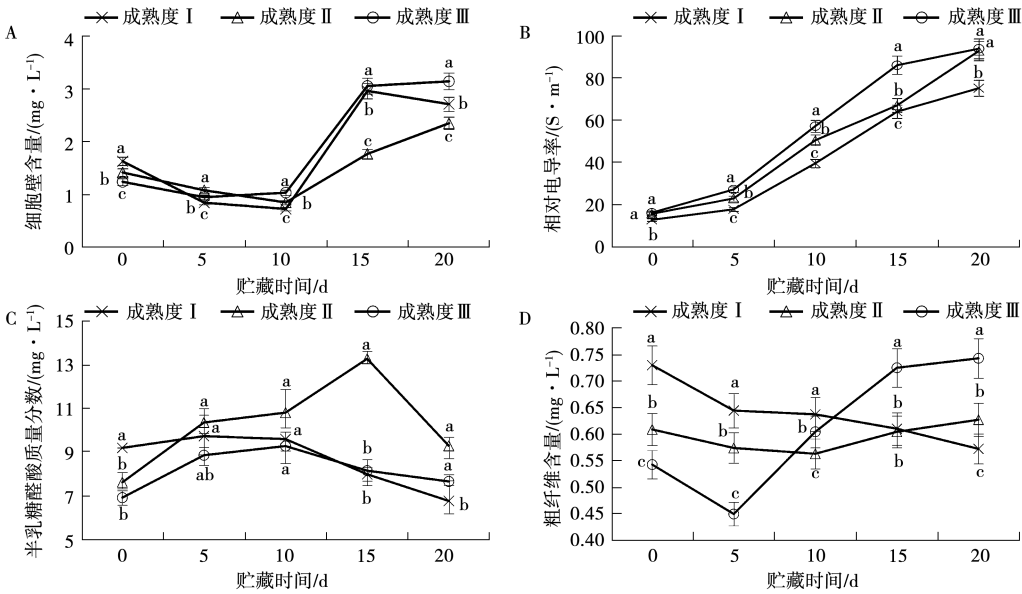


图 5 安江大黄杏不同成熟度果实细胞膜和细胞壁动态变化

2.6 低温贮藏下安江大黄杏不同成熟度果实腐烂率与关键指标相关性分析

由表 3、表 4 可知,3 个成熟度杏果实与各指标相关性不同,成熟度 I 表现为腐烂率与 MP 为显著正相关,与硬度、果胶为显著负相关,对成熟度 I 的腐烂率与相关指标进行多元线性回归,得到方程 $Y = -1.37X_1 - 0.02X_2 - 0.14X_3 + 2.74$, $R^2 = 0.98$,拟合程度较高;成熟度 II 与过氧化物酶、相对电导率、细胞壁含量显著正相关,与果胶酶显著负相关,对成熟度 II 的腐烂率与相关指标进行多元线性回归,得到方程 $Y = 0.05X_1 - 0.02X_2 + 0.01X_3 + 0.53X_4 - 0.46$, $R^2 = 1.00$,完

全拟合;成熟度 III 与相对电导率、细胞壁、粗纤维显著正相关,与果胶酶显著负相关,对成熟度 III 的腐烂率与相关指标进行多元线性回归,得到方程 $Y = -0.02X_1 - 1.06X_2 - 0.04X_3 + 2.24X_4 - 0.32$, $R^2 = 1.00$,完全拟合。杏果实腐烂是复杂多变的过程,不仅与温度、自身成熟度有关,还与环境微生物、果实内部营养成分含量等因素相关^[25],因此安江大黄杏 3 个成熟度低温贮藏下腐烂率的相关指标存在差异。综上所述,可以通过改变环境因子来控制安江大黄杏果实各特性指标稳定性,降低腐烂率,延长贮藏时间,从而筛选出果实适宜采收的成熟度。

表 3 安江大黄杏腐烂率与各指标相关性分析

项目	成熟度	多酚氧化酶	过氧化物酶	果胶酶	果实纤维素酶	硬度	相对电导率	细胞壁	果胶	粗纤维
腐烂率	I	0.26	0.75	-0.62	-0.46	-0.81*	0.84*	0.49	-0.83*	-0.74
	II	-0.40	0.88*	-0.85*	-0.18	-0.58	0.91*	0.94*	-0.17	0.77
	III	-0.17	0.51	-0.96*	-0.71	-0.64	0.99*	0.87*	0.28	0.96*

注:表中*表示该指标与腐烂率存在显著相关($\alpha = 0.05$)。

表 4 不同成熟度果实腐烂率与显著相关指标的线性回归方程

成熟度	多元回归方程	R^2
I	$Y = -1.37X_1 - 0.02X_2 - 0.14X_3 + 2.74$	0.98
II	$Y = -0.05X_1 - 0.02X_2 + 0.01X_3 + 0.53X_4 - 0.46$	1.00
III	$Y = -0.02X_1 - 1.06X_2 - 0.04X_3 + 2.24X_4 - 0.32$	1.00

注:Y 为腐烂率;X 为表 3 中从左到右依次与腐烂率存在显著相关的对应指标。

3 讨论

采收成熟度是影响果实品质的重要因素。通过分析不同采收成熟度与果实品质的关系,对科学地确定杏果实不同采收成熟度具有重要意义。本研究所用果样采收标准依据不同杏品种各成熟度进行分级(参照不同成熟度的色泽、口感),安江大黄杏果形近椭圆形(果形指数 >1),3 个成熟度

果实、果核、果仁特性指标差异不显著,此时采摘对产量影响较小;成熟度Ⅱ在 $(4\pm 1)^\circ\text{C}$ 低温贮藏期为 20 d。马玄等^[26]研究表明“赛买提”杏成熟度Ⅲ(着色面积 $>80\%$)低温贮藏(4°C)21 d 出现严重败絮。敬媛媛等^[21]研究“赛买提”成熟度Ⅱ(着色面积 $50\%\sim 80\%$) 4°C 、 $90\%\sim 95\%$ RH 贮藏条件下保持较低 PG、PME 活力和纤维素含量、且木质素含量和果胶含量较为稳定,成熟度Ⅱ适宜采后贮藏。本研究中安江大黄杏成熟度Ⅱ的 PPO、 C_x 活力下降幅度为 1.62% 和 46.00% ,细胞壁含量上升 65.82% 、半乳糖醛酸含量上升 21.94% 、粗纤维含量上升 3.13% ,细胞结构相对稳定,果实品质成熟度Ⅱ口感较甜,糖酸比为 1.022 ,对成熟度Ⅱ进行多元线性回归, $R^2=1.00$,完全拟合,测定的 12 项指标中有 6 项指标较为稳定。张丽敏等^[27]在对百香果适宜采收成熟度筛选时,采用了不成熟度生理指标稳定性的数量多少,判定适宜采收成熟度。因此,安江大黄杏成熟度Ⅱ适宜采后低温贮藏,此研究结果可为安江大黄杏实际采收、低温贮藏与运输提供理论依据。

4 结论

成熟度较低或者较高的果实冷藏期间生理指标均容易发生变化,果实硬度等外在表象容易产生败絮,导致品质大幅下降。由此可知,成熟度Ⅱ与过氧化物酶、质膜透性(相对电导率)、细胞壁含量显著正相关,与果胶酶显著负相关,多元线性回归拟合方程拟合度极高, R^2 为 1.00 。综上, $(4\pm 1)^\circ\text{C}$ 低温贮藏下,安江大黄杏成熟度Ⅱ的果实贮藏期为 20 d,口感较甜,糖酸比为 1.022 ,研究中测定的 12 项生理指标中有 6 项相对稳定,适宜作为贮藏采收标准。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第三十八卷[M]. 北京:科学出版社,1986:24-38.
- [2] 李自芹,杨慧,李文绮,等. 新疆鲜杏保鲜技术研究现状[J]. 农产品加工,2020(20):89-94.
- [3] 张定元. 新疆杏产业发展风险分析及规避[J]. 农村经济与科技,2014,25(7):97-99.
- [4] 张君萍,高疆生,李疆,等. 新疆杏与华北杏果实主要营养成分比较分析[J]. 新疆农业科学,2006,43(2):140-144.
- [5] 王瑞军. 浅析果蔬贮藏基本原理[J]. 食品安全导刊,2017(21):90-91.
- [6] 方庆. 果蔬贮藏保鲜技术现状与展望[J]. 农业工程,2019,9(8):69-71.
- [7] 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.
- [8] 吴宪玲,李晓敏,周雪婷. 气调包装技术在食品包装中的应用[J]. 农业科技与装备,2021(6):86-87.
- [9] 张欢欢. 近冰温结合钙处理对杏果实贮藏品质的影响[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2021.
- [10] 周涵梦,黄金发,马辉,等. 可食性涂膜在鲜切果蔬保鲜中的研究进展[J]. 中国果菜,2021,41(7):7-14,28.
- [11] 张志刚,刘玉芳,李长城,等. 不同成熟度对杏果实品质的影响[J]. 浙江农业学报,2021,33(8):1402-1408.
- [12] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中总酸的测定:GB 12456—2021[S]. 北京:中国标准出版社,2021.
- [13] 中华人民共和国农业部. 红参中总糖含量的测定 分光光度法:NY/T 2332—2013[S]. 北京:中国农业出版社,2013.
- [14] 中华人民共和国农业部. 水果及其制品中果胶含量的测定 分光光度法:NY/T 2016-2011[S]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [15] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会. 植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10-2003[S]. 北京:中国标准出版社,2004.
- [16] 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.
- [17] 陈红丽,任晓红,杨永锋,等. 四川烤烟烟叶细胞壁物质含量与外观质量、感官质量的关系[J]. 烟草科技,2011,44(1):9-12.
- [18] 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(8): 1756-1772.
- [19] 宋梦圆,宁国法,田永强,等. 不同成熟度番茄果实在贮藏期间的品质变化[J]. 中国蔬菜,2023(2):45-50.
- [20] 王宝刚,李文生,侯玉茹,等. 甜樱桃果实成熟过程中糖累积与品质形成研究[J]. 果树学报,2017,34(5):576-583.
- [21] 敬媛媛,杨婷婷,马玄,等. 不同成熟度杏果采后细胞壁物质代谢规律的研究[J]. 现代食品科技,2017,33(5):103-108.
- [22] 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.
- [23] WANG H, CHEN Y H, SUN J Z, et al. The changes in metabolisms of membrane lipids and phenolics induced by *Phomopsis longanae* Chi infection in association with pericarp browning and disease occurrence of postharvest Longan fruit[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2018, 66(48): 12794-12804.
- [24] 张继明,潘艳芳,王威,等. 不同温度对树上干杏贮藏特性

- 的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(6): 20-24.
- [25] 姚昕. 石榴采后品质劣变及控制技术的研究[D]. 成都: 四川农业大学, 2017.
- [26] 马玄, 朱璇, 赵亚婷, 等. 不同成熟度杏果实组织的结构变化与絮败关系[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(8): 203-207.
- [27] 张丽敏, 巴良杰, 吉宁, 等. 不同成熟度采收对百香果常温贮藏品质的影响[J]. 中国南方果树, 2021, 50(6): 74-78, 83.

Changes in Physiological Indicators of Anjiang Dahuang Apricot Fruits at Different Maturities

LI Changcheng¹, ZHANG Zhigang^{2,3,4}, LIU Yufang⁵, WANG Shilei⁴, YANG Lu^{3,4,6}

(1. Xinjiang Forestry School, Urumqi 830011, China; 2. Institute of Afforestation and Desertification Control, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830092, China; 3. Key Laboratory of Forest Resources and Utilization, State Forestry and Grassland Administration of Xinjiang, Urumqi 830092, China; 4. Xinjiang Key Laboratory of Tree Species Selection and Cultivation, Urumqi 830092, China; 5. Institute of Technology, Xinjiang Open University, Urumqi 830049, China; 6. Xinjiang Forestry Testing Center, Urumqi 830092, China)

Abstract: In order to explore the suitable maturity for harvesting Anjiang Dahuang apricot under low-temperature storage conditions, according to the yellowing rate, the fruit was divided into maturity I, maturity II and maturity III, stored at $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ and measure changes in relevant indicators every 5 days. The results indicated that, there was no significant difference in various indicators of apricot fruits, pits, and kernels among maturity levels I, II, and III. The storage period showed maturity I (over 20 days) > Maturity II (20 days) > Maturity III (18 days). The hardness, total acid content, and cellulase activity of fruits at different maturity levels gradually decreased with the extension of storage time, the membrane permeability and total sugar content gradually increased, the content of polyphenol oxidase, soluble solids, and galacturonic acid showed a trend of first increasing and then decreasing. The cell wall, crude fibers, and peroxidase showed a trend of first decreasing and then increasing. There were significant differences in total acid, soluble solid content, cell wall, plasma membrane permeability, and crude fiber dynamics among different maturity levels throughout the entire process. The sugar and acid ratios of maturity II and III were high, at 1.022 and 1.245, respectively. Maturity II was significantly positively correlated with peroxidase, membrane permeability, and cell wall, and negatively correlated with pectinase. The multiple linear regression equation had a very high fitting degree of 1.00. In summary, under low temperature storage at $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$, the storage period of Anjiang Dahuang apricot fruit with maturity II was 20 days, and sweet taste, the sugar to acid ratio was 1.022, among the 12 physiological indicators, six of them were relatively stable and suitable as storage and harvesting standards.

Keywords: low temperature storage; Anjiang Dahuang apricot; maturity; rotten rate; quality indicators

欢迎关注本刊微信公众号

