

采收期对冷藏橄榄果实贮藏期间冷害的影响

孔祥佳^{1,2}, 周 鹤^{2,3}, 林河通^{2,3,*}, 林艺芬^{2,3}, 陈艺晖^{2,3}, 王 慧^{2,3}

(1. 福建中医药大学药学院, 福建 福州 350122; 2. 福建农林大学食品科学学院, 福建 福州 350002;

3. 福建农林大学农产品产后技术研究所, 福建 福州 350002)

摘 要: 针对‘檀香’橄榄果实冷藏期间易发生冷害现象, 本实验研究了7个采收期(I、II、III、IV、V、VI、VII)对(2±1)℃、相对湿度85%~90%条件下冷藏橄榄果实冷害的影响。定期测定贮藏期间橄榄果实冷害指数、果皮褐变指数、果实好果率和质量损失率、果实呼吸强度和细胞膜相对渗透率、果实表面色度角、果皮叶绿素含量、果肉可溶性固形物、可滴定酸、可溶性总糖和还原糖含量的变化。结果表明: 与采收期I、II、III、IV、VI、VII相比, 采收期V能保持冷藏橄榄果实较低的冷害指数、果皮褐变指数、果实质量损失率和较高的好果率, 降低果实呼吸强度和呼吸峰值, 延缓果实细胞膜相对渗透率升高, 保持中后期较高的果实表面色度角、果皮叶绿素含量、果肉可溶性固形物、可滴定酸、可溶性总糖和还原糖含量。因此认为, 采收期V可作为减轻冷藏‘檀香’橄榄果实冷害发生的适宜采收成熟度。

关键词: 橄榄; 果实; 采收期; 冷藏; 贮藏品质; 冷害

Effects of Harvesting Date on Chilling Injury of Chinese Olive Fruits during Cold Storage

KONG Xiangjia^{1,2}, ZHOU He^{2,3}, LIN Hetong^{2,3,*}, LIN Yifen^{2,3}, CHEN Yihui^{2,3}, WANG Hui^{2,3}

(1. College of Pharmacy, Fujian University of Traditional Chinese Medicine, Fuzhou 350122, China;

2. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China;

3. Institute of Postharvest Technology of Agricultural Products, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: This study investigated effects of seven harvesting dates, which were designated as harvesting maturities I, II, III, IV, V, VI, and VII, on chilling injury of ‘Tanxiang’ Chinese olive (*Canarium album* (Lour.) Raeusch cv. Tanxiang) fruits during storage at (2 ± 1) °C and 85%–90% relative humidity (RH). During storage, chilling injury index, pericarp browning index, healthy fruit percentage, weight loss, respiration rate, relative cell membrane leakage rate, hue angle value of fruit surface, pericarp chlorophyll content, and the contents of total soluble solids, titratable acid, total soluble sugar and reducing sugar in pulp were determined. The results showed that compared with the harvesting maturities I, II, III, IV, VI, and VII, the harvesting maturity V could maintain lower chilling injury index, pericarp browning index, and weight loss and higher healthy fruit percentage, reduce respiratory rate and respiratory peak, and retard the increase in relative cell membrane leakage rate. In addition, the harvesting maturity V could maintain higher hue angle value of fruit surface, higher chlorophyll content in pericarp, and higher total soluble solids, titratable acid, total soluble sugar and reducing sugar in pulp during the middle and late storage stages. From these results, it can be concluded that the harvesting maturity V could be used as the optimum harvesting maturity for alleviating chilling injury of ‘Tanxiang’ Chinese olive fruits during cold storage.

Key words: Chinese olive (*Canarium album* (Lour.) Raeusch); fruit; harvesting date; cold storage; storage quality; chilling injury

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622039

中图分类号: TS255.3; S667.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2016)22-0255-08

引文格式:

孔祥佳, 周鹤, 林河通, 等. 采收期对冷藏橄榄果实贮藏期间冷害的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 255-262.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622039. <http://www.spkx.net.cn>

KONG Xiangjia, ZHOU He, LIN Hetong, et al. Effects of harvesting date on chilling injury of Chinese olive fruits during cold storage[J]. Food Science, 2016, 37(22): 255-262. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201622039. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2016-03-21

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31201441); 福建省自然科学基金项目(2012J05054);

福建省重点科技项目(2015N0002); 福建农林大学高水平大学建设项目(612014042)

作者简介: 孔祥佳(1983—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为果蔬采后生物学与保鲜技术。E-mail: nihaojia2005@126.com

*通信作者: 林河通(1967—), 男, 教授, 博士, 研究方向为果蔬采后生物学与保鲜技术。E-mail: hetonglin@163.com

橄榄 (*Canarium album* (Lour.) Raeusch) 是中国南方亚热带特色药食兼用型果品, 具有较高的保健功效、药用价值和加工价值, 鲜食有利咽化痰、清热解毒、抗氧化、调节血脂、降血糖等作用^[1], 倍受消费者喜爱。福建是中国橄榄分布最多的省份, 据统计, 2013年福建省橄榄种植面积10 627 hm², 总产量73 805 t, 至2014年福建省橄榄种植面积10 890 hm², 总产量84 192 t^[2]。随着其育种技术水平提升、栽种面积和总产量增加, 优质橄榄鲜果的价格也快速升高, 故采后橄榄鲜果的保鲜技术成为生产上亟待解决的问题。冷藏是目前橄榄果实贮藏保鲜最为有效的方法^[3-4], 但橄榄属于冷敏型果实, 贮藏温度低于6℃时即发生冷害, 其冷害症状表现为果实表面出现褐色凹陷、水渍状斑点, 果实失水皱缩等, 导致其食用品质和营养价值下降甚至完全丧失^[3,5-6]。因此, 研究减轻冷藏橄榄果实冷害发生的方法以延长其保鲜期具有重要意义。

采收期决定果蔬的成熟度, 成熟度不仅关系到采后果蔬的贮藏品质^[7-11], 还会影响到其冷藏时的冷敏性^[12-15]。但成熟度对冷藏果实冷敏性的影响因果蔬种类不同而异。在猕猴桃^[10]、芒果^[12]、水蜜桃^[13]、黄瓜^[16]等果实中研究发现, 成熟度越低的果实对低温越敏感, 也就越易发生冷害; 而在柑橘^[17]、‘Green Gage’李子^[18]等果实中研究表明, 成熟度较高的果实更易发生冷害。因此认为, 果实成熟度与其冷敏性关系密切。但目前有关采收期对冷藏橄榄果实冷害的影响鲜见报道。本研究以福建主栽橄榄品种‘檀香’橄榄果实为材料, 研究不同采收期对冷藏橄榄果实贮藏期间冷害的影响, 旨在确定适宜冷藏的橄榄果实采收期, 为减轻橄榄果实冷害、延长冷藏橄榄果实保鲜期提供适用技术和生产指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

供试‘檀香’橄榄果实采自福建省闽清县安仁溪橄榄科技示范场。根据橄榄果实的生长特性, 从2013年9月7日起按节气分7次采收(7个采收期(I~VII))的橄榄果实特征见表1)。果实采收当天运至福建农林大学农产品产后技术研究所(福州), 选择大小均匀、色泽一致、无病虫、无损伤的健康果实进行实验。

碳酸钙、无水乙醇、蒽酮、乙酸乙酯、氢氧化钠(均为分析纯)、3,5-二硝基水杨酸(3,5-dinitrosalicylic acid, DNS)(化学纯)、酚酞(指示剂) 国药集团化学试剂有限公司; 葡萄糖标准品 上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

表1 7个采收期的橄榄果实特征
Table 1 Characteristics of Chinese olive fruits at seven different harvesting dates

| 采收期 | 采收时间(年-月-日) | 果实特征 |
|-----|----------------|---|
| I | 2013-9-7(白露) | 果实青绿色、饱满, 果肉浅黄色, 肉质粗, 涩(回甘弱), 果核浅黄色 |
| II | 2013-9-23(秋分) | 果实青绿色、饱满, 果肉浅黄色, 肉质较粗, 较涩(回甘较弱), 果核浅黄色 |
| III | 2013-10-8(寒露) | 果实绿色、饱满, 果肉浅黄色, 肉质较粗, 较涩(回甘强但时间短), 果核浅黄色 |
| IV | 2013-10-23(霜降) | 果实绿色(小部分位置呈黄绿色)、饱满, 肉质较细, 果肉浅黄色, 较涩(回甘强且迅速), 果核黄色 |
| V | 2013-11-7(立冬) | 果实绿色、黄绿色各半, 果实饱满, 果肉黄色, 肉质细, 回甘强且持久, 果核土黄色 |
| VI | 2013-11-22(小雪) | 果实黄绿色、饱满, 果肉黄色, 肉质细嫩, 回甘强且持久, 果核土黄色 |
| VII | 2013-12-7(大雪) | 果实黄绿色、饱满, 果肉黄色, 肉质较细但略有木质化, 甜中带涩有回甘(回甘较弱), 果核红黄色 |

1.2 仪器与设备

GXH-3051H果蔬呼吸测定仪 北京均方理化科技研究所; 3173型台式电导率仪 上海任氏电子有限公司; ADCI-60-C型全自动测色色差计 北京辰泰克仪器技术有限公司; T6新世纪紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; WYT-1型手持折光仪 上海精密仪器仪表有限公司; GL-20G-II型高速冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂; HH-4型数显恒温水浴锅 国华电器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 橄榄果实处理

橄榄果实经清洗、晾干后, 用0.015 mm厚的聚乙烯薄膜袋密封包装, 每袋装果100个, 每个采收期重复6袋, 果实包装后在(2±1)℃、相对湿度85%~90%的冷库中冷藏。每隔20 d取样一次, 其中3袋用于贮藏效果的统计, 另外3袋用于定期取样测定生理品质指标。

1.3.2 果实贮藏效果评价

1.3.2.1 果实冷害分级及冷害指数计算

按照孔祥佳等^[5]的方法计算橄榄果实冷害指数, 如式(1)所示:

$$\text{果实冷害指数} = \frac{\sum (\text{冷害级数} \times \text{该级果数})}{\text{总果数}} \quad (1)$$

1.3.2.2 果皮褐变评价

按照孔祥佳等^[5]的方法评价橄榄果皮褐变程度, 褐变指数计算如式(2)所示:

$$\text{果皮褐变指数} = \frac{\sum (\text{褐变级数} \times \text{该级果数})}{\text{总果数}} \quad (2)$$

1.3.2.3 果实好果率和质量损失率测定

参照李辉等^[19]的方法测定橄榄果实好果率和质量损失率。

1.3.3 生理和品质指标测定

1.3.3.1 果实呼吸强度测定

随机从每个重复中取10个橄榄果实,称质量,置入果蔬呼吸测定仪的呼吸室,启动气流泵,待读数稳定后读取呼吸室CO₂体积,按照公式(3)计算呼吸强度,结果以CO₂计。

$$\text{呼吸强度}/(\text{mg CO}_2/(\text{kg} \cdot \text{h})) = \frac{F \times 60 \times C}{22.4} \times \frac{44}{M} \times 10^{-6} \times \frac{273}{273+T} \quad (3)$$

式中: F 为气体流速/(mL/min); C 为CO₂体积含量/(μL/L); M 为果实鲜质量/kg; T 为测定温度/℃。

1.3.3.2 果实细胞膜相对渗透率测定

按照孔祥佳等^[5]的方法测定,计算如式(4)所示:

$$\text{细胞膜相对渗透率}/\% = \frac{C_1}{C_2} \times 100 \quad (4)$$

式中: C_1 为煮沸前溶液的电导率/(mS/m); C_2 为煮沸后溶液的电导率/(mS/m)。

1.3.3.3 果实表面颜色测定

色度角反映果实表面颜色的变化。取5个橄榄果实,沿果实赤道线取4个相对部位,按照孔祥佳等^[20]的方法,用全自动测色色差计测定橄榄果实表面 a^* 、 b^* 值。色度角计算如式(5)所示:

$$\text{色度角}/(^{\circ}) = 180 + \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad (5)$$

1.3.3.4 果皮叶绿素含量测定

从10个橄榄果实中取果皮0.5 g,按照孔祥佳等^[5]的方法测定果皮叶绿素含量,以鲜质量计。

1.3.3.5 果肉可溶性固形物和可滴定酸含量测定

按照孔祥佳等^[20]的方法测定。随机从每个重复中取10个橄榄果实,采用WYT-1型手持折光仪测定果肉可溶性固形物含量;从10个橄榄果实中取果肉2.0 g,采用0.01 mol/L NaOH溶液滴定法测定果肉可滴定酸含量(以苹果酸计,折算系数为0.067)。

1.3.3.6 果肉可溶性总糖和还原糖含量测定

从10个橄榄果实中取果肉2.0 g,参照曹建康等^[21]的方法,略有修改,分别采用蒽酮试剂法、DNS法测定可溶性总糖和还原糖含量,以葡萄糖溶液作标准曲线,以质量分数表示。

1.4 数据处理

采用Excel对实验数据进行统计及制图,采用SPSS 19.0数据分析软件中的 t 检验进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 采收期对冷藏橄榄果实冷害指数和果皮褐变指数的影响

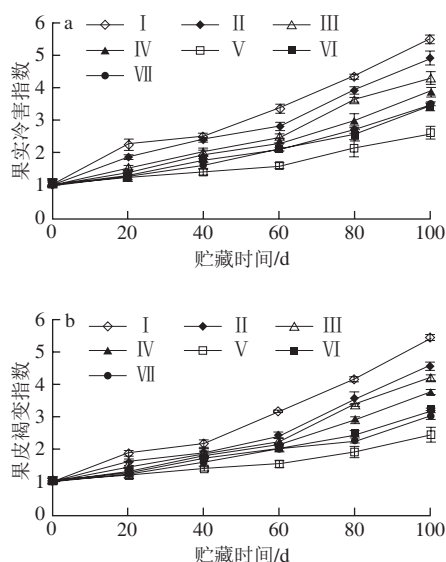


图1 采收期对冷藏橄榄果实冷害指数(a)和果皮褐变指数(b)的影响
Fig. 1 Effects of harvesting date on chilling injury index and pericarp browning index of cold-stored Chinese olive fruits

由图1可知,橄榄果实冷害指数和果皮褐变指数随冷藏时间的延长而增加,不同采收期对冷藏橄榄果实冷害指数和果皮褐变指数的影响不同。其中,采收期V的橄榄果实整个贮藏期内的同一贮藏时间,果实冷害指数和果皮褐变指数均低于采收期I~IV、VI~VII,但采收期I~VII的橄榄果实冷害指数和果皮褐变指数在冷藏0~40 d内差异不显著($P>0.05$)。由图1a可知,在冷藏40~100 d内,采收期V的橄榄果实冷害指数显著($P<0.05$)低于采收期I、II,而与其他4个采收期差异不显著($P>0.05$);但冷藏至第100天时,采收期V的橄榄果实冷害指数极显著($P<0.01$)低于采收期III(冷害指数为4.30),显著($P<0.05$)低于采收期IV、VI、VII(冷害指数分别为3.88、3.45、3.47)。由图1b可知,采收期V的橄榄果实果皮褐变指数在冷藏40~100 d内显著($P<0.05$)低于采收期I,而与其他5个采收期差异不显著($P>0.05$);但冷藏至第100天时,采收期V的橄榄果实果皮褐变指数显著($P<0.05$)低于采收期III、IV、VI(褐变指数分别为4.20、3.76、3.15)。上述结果表明,与采收期I~IV、VI~VII的橄榄果实相比,采收期V可延缓冷害和褐变的发生。

2.2 采收期对冷藏橄榄果实好果率和质量损失率的影响

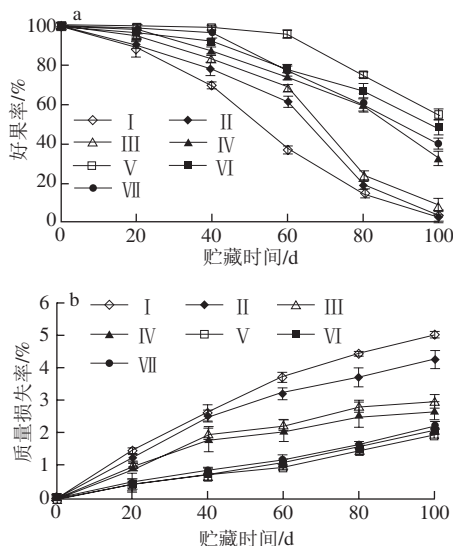


图2 采收期对冷藏橄榄果实好果率(a)和质量损失率(b)的影响
Fig. 2 Effects of harvesting date on healthy fruit percentage and weight loss of cold-stored Chinese olive fruits

由图2a可知,不同采收期的橄榄果实在冷藏期间,果实好果率随着贮藏时间的延长而下降,但其下降幅度因采收期不同而各有差异。其中,采收期V的橄榄果实在整个贮藏期内的同一贮藏时间,果实好果率显著($P<0.05$)高于采收期I~IV、VI,在冷藏0~40 d内高于采收期VII,且二者差异不显著($P>0.05$),但在冷藏40~100 d内,采收期V的橄榄果实好果率显著($P<0.05$)高于采收期VII。

由图2b可知,不同采收期的橄榄果实在冷藏期间,果实质量损失率随着贮藏时间的延长而增加,在整个贮藏期间的同一贮藏时间内,采收期V的橄榄果实质量损失率低于其余6个采收期。统计分析表明,采收期V的橄榄果实在整个贮藏期内的同一贮藏时间,果实质量损失率显著($P<0.05$)低于采收期I~IV,但与采收期VI、VII差异不显著($P>0.05$)。

上述结果表明,与采收期I~IV、VI~VII的橄榄果实相比,采收期V有利于减少果实的腐烂和质量损失,从而保持较高的好果率。

2.3 采收期对冷藏橄榄果实呼吸强度的影响

果实的呼吸作用可用呼吸强度的大小来表示^[5]。由图3可知,采收期当天的橄榄果实呼吸强度随着成熟度的增加而降低。采后贮藏期间,不同采收期的橄榄果实呼吸强度变化趋势相似,均随冷藏时间的延长呈先降后升再降的变化趋势,但不同采收期的橄榄果实呼吸峰值出现的时间不一致。其中,采收期I~II、VI~VII的橄榄果实呼吸高峰于冷藏的第40天出现,而采收期III~V的呼吸高峰于冷藏的第60天出现;7个采收期的橄榄果实

呼吸峰值相比,采收期V的呼吸峰值最小,为67.65 mg CO₂/(kg·h),分别比采收期I~IV、VI~VII降低32.76%、22.97%、20.13%、12.85%、11.99%、3.72%。统计分析表明,采收期V的橄榄果实呼吸强度极显著($P<0.01$)低于采收期I~III,显著($P<0.05$)低于采收期IV、VI,而与采收期VII差异不显著($P>0.05$),但冷藏至第100天时,采收期V的橄榄果实呼吸强度极显著($P<0.01$)低于采收期VII。上述结果表明,与采收期I~II、VI~VII的橄榄果实相比,采收期V可推迟呼吸高峰的出现;与采收期III、IV的橄榄果实相比,采收期V又可降低呼吸峰值。

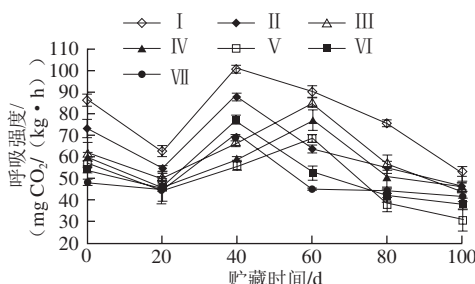


图3 采收期对冷藏橄榄果实呼吸强度的影响
Fig. 3 Effects of harvesting date on respiration rate of cold-stored Chinese olive fruits

2.4 采收期对冷藏橄榄果实细胞膜相对渗透率的影响

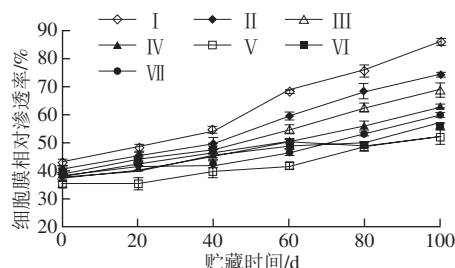


图4 采收期对冷藏橄榄果实细胞膜相对渗透率的影响
Fig. 4 Effects of harvesting date on relative cell membrane leakage rate of cold-stored Chinese olive fruits

细胞膜完整性可用细胞膜相对渗透率大小表示^[5,19]。由图4可知,不同采收期的橄榄果实在冷藏期间,果实细胞膜相对渗透率随着贮藏时间的延长而升高,但其上升幅度因采收期不同而各有差异。其中,采收期I~III的橄榄果实细胞膜相对渗透率在冷藏0~40 d缓慢增加,40~100 d内快速增加;采收期IV~VII的橄榄果实细胞膜相对渗透率在整个贮藏期内平缓增加。统计分析表明,在整个贮藏期内的同一贮藏时间,采收期V的橄榄果实细胞膜相对渗透率极显著($P<0.01$)低于采收期I~IV、VI~VII。上述结果表明,与采收期I~IV、VI~VII的橄榄果实相比,采收期V可较好地维持橄榄果实细胞膜结构的完整性。

2.5 采收期对冷藏橄榄果实表面色度角的影响

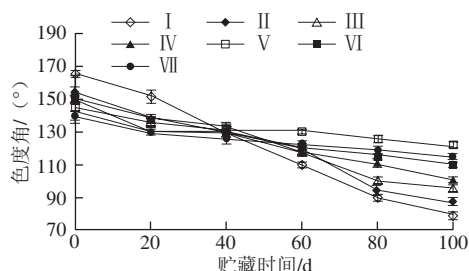


图5 采收期对冷藏橄榄果实表面色度角的影响

Fig. 5 Effects of harvesting date on hue angle value of the surface of cold-stored Chinese olive fruits

果实外观颜色是评价果实外观品质和商品价值的重要指标^[5,19], 可通过色度角反映果实表面颜色的变化, 0°表示紫红色, 90°表示黄色, 180°表示绿色, 270°表示蓝色^[22]。由图5可知, 不同采收期当天的橄榄果实表面色度角随着成熟度的增加而降低, 果皮颜色逐渐由绿色向黄绿色转变。采后贮藏期间, 不同采收期的橄榄果实表面色度角随着冷藏时间的延长而下降, 但其下降幅度不同。其中, 采收期I的橄榄果实表面色度角在整个贮藏期内快速下降; 采收期II、III的橄榄果实表面色度角在冷藏0~40 d内缓慢下降, 之后迅速下降; 而采收期IV~VII的橄榄果实表面色度角在整个贮藏期内缓慢下降。如冷藏至第100天时, 采收期I~VII的橄榄果实表面色度角分别为78.62°、86.37°、95.61°、101.54°、120.87°、110.68°、114.68°, 与各自采收0 d时相比, 分别下降86.69°、68.42°、55.08°、47.11°、23.87°、30.51°、25.18°。统计分析表明, 在冷藏60~100 d内, 采收期V的橄榄果实表面色度角极显著 ($P<0.01$) 高于采收期I, 显著 ($P<0.05$) 高于采收期II~IV; 且采收期V的橄榄果实表面色度角在整个贮藏期内的同一贮藏时间极显著 ($P<0.01$) 高于采收期VI、VII。上述结果表明, 与采收期I~IV、VI~VII的橄榄果实相比, 采收期V的橄榄果实表面色度角下降缓慢, 较好延缓果实色泽转变, 这种作用在冷藏中后期尤其明显。

2.6 采收期对冷藏橄榄果实果皮叶绿素含量的影响

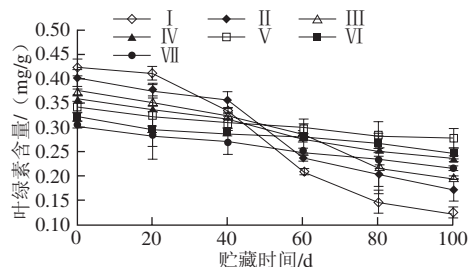


图6 采收期对冷藏橄榄果实果皮叶绿素含量的影响

Fig. 6 Effects of harvesting date on chlorophyll content in pericarp of cold-stored Chinese olive fruits

果实成熟过程中的颜色变化主要是由于叶绿素降解导致^[5]。由图6可知, 不同采收期当天的橄榄果实果皮叶绿素含量随着成熟度的增加而下降。采后贮藏期间, 不同采收期的橄榄果实果皮叶绿素含量随着冷藏时间的延长而降低, 但其下降幅度不同。其中, 采收期I的橄榄果实果皮叶绿素含量在冷藏0~20 d内缓慢下降, 之后快速下降; 采收期II的橄榄果实果皮叶绿素含量在冷藏0~40 d内缓慢下降, 之后快速下降; 采收期III的橄榄果实果皮叶绿素含量在冷藏0~60 d内平缓下降, 之后快速下降; 而采收期IV~VII的橄榄果实果皮叶绿素含量在整个贮藏期内缓慢下降。如冷藏至第100天时, 采收期I~VII的橄榄果实果皮叶绿素含量分别为0.12、0.17、0.19、0.24、0.28、0.25、0.22 mg/g, 与各自采收0 d时相比, 分别降低71.09%、57.14%、48.40%、34.08%、19.01%、22.81%、29.28%。统计分析表明, 在冷藏60~100 d内, 采收期V的橄榄果实果皮叶绿素含量极显著 ($P<0.01$) 高于采收期I、II, 显著 ($P<0.05$) 高于采收期III、IV; 且采收期V的橄榄果实果皮叶绿素含量在整个贮藏期内的同一贮藏时间极显著 ($P<0.01$) 高于采收期VI、VII。上述结果表明, 与采收期I~IV、VI~VII的橄榄果实相比, 采收期V的橄榄果实果皮叶绿素含量下降缓慢, 较好延缓果实色泽转变, 这种作用在冷藏中后期尤其明显。

2.7 采收期对冷藏橄榄果实果肉可溶性固形物和可滴定酸含量的影响

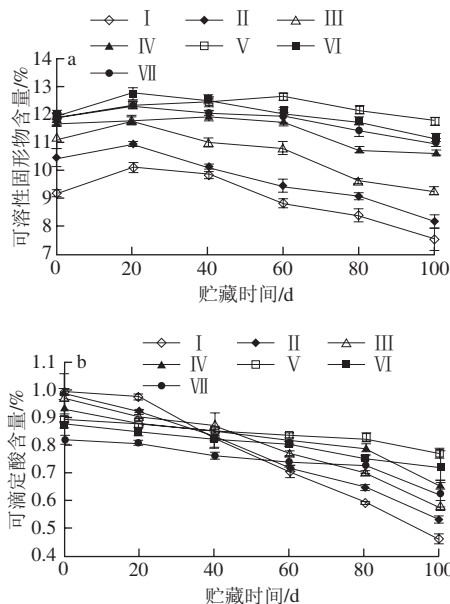


图7 采收期对冷藏橄榄果实果肉可溶性固形物 (a) 和可滴定酸 (b) 含量的影响

Fig. 7 Effects of harvesting date on the contents of total soluble solids and titratable acid in pulp of cold-stored Chinese olive fruits

果实冷藏期间可溶性固形物的积累有利于降低其冷敏性^[23]。由图7a可知, 不同采收期的橄榄果实, 在冷藏期间,

果肉可溶性固形物含量均呈先上升后下降的变化趋势,但其达到峰值的时间不一致。其中,采收期I~III、VI~VII的橄榄果实果肉可溶性固形物含量在冷藏的第20天达到峰值,采收期IV在冷藏的第40天达到峰值,而采收期V则在冷藏的第60天达到峰值。统计分析表明,采收期V的橄榄果实果肉可溶性固形物含量在整个贮藏期内的同一贮藏时间极显著 ($P<0.01$) 高于采收期I~IV,在冷藏60~100 d内显著 ($P<0.05$) 高于采收期VI,在冷藏40~100 d内极显著 ($P<0.01$) 高于采收期VII。

由图7b可知,不同采收期当天的橄榄果实果肉可滴定酸含量随着成熟度的增加而下降。采后贮藏期间,不同采收期的橄榄果实果肉可滴定酸含量随着冷藏时间的延长而降低,但其下降幅度不同。其中,采收期I的橄榄果实果肉可滴定酸含量在冷藏0~20 d缓慢下降,之后快速降低;采收期II的橄榄果实果肉可滴定酸含量在整个贮藏期间平稳快速下降;采收期III的橄榄果实果肉可滴定酸含量在冷藏0~40 d缓慢下降,之后快速降低;采收期IV、V、VII的橄榄果实果肉可滴定酸含量在冷藏0~80 d缓慢下降,之后快速降低;而采收期VI的橄榄果实果肉可滴定酸含量在冷藏0~60 d缓慢下降,之后快速降低。如冷藏至第100天时,采收期I~VII的橄榄果实果肉可滴定酸含量分别为0.46%、0.53%、0.58%、0.65%、0.77%、0.72%、0.62%,与各自采收0 d时相比,分别降低53.26%、45.89%、40.39%、30.27%、14.01%、17.81%、24.62%。统计分析表明,采收期V的橄榄果实果肉可滴定酸含量在冷藏60~100 d内显著 ($P<0.05$) 高于采收期I、II;且采收期V的橄榄果实果肉可滴定酸含量在冷藏60~100 d内高于采收期III、在冷藏40~100 d内高于采收期IV,但彼此间差异不显著 ($P>0.05$);同时,采收期V的橄榄果实果肉可滴定酸含量在整个贮藏期内的同一贮藏时间极显著 ($P<0.01$) 高于采收期VI、VII。

上述结果表明,与采收期I~IV、VI~VII的橄榄果实相比,采收期V可延缓果肉可溶性固形物和可滴定酸含量下降,较好保持果实风味。

2.8 采收成熟度对冷藏橄榄果实果肉可溶性总糖和还原糖含量的影响

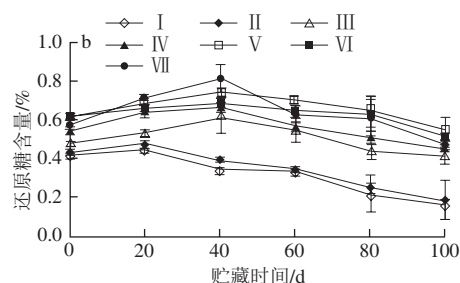
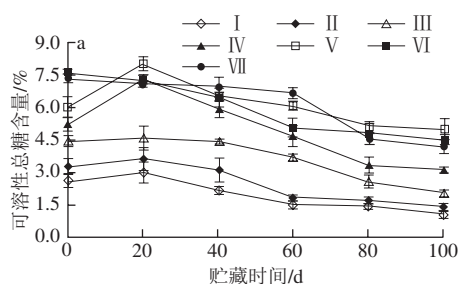


图8 采收期对冷藏橄榄果实果肉可溶性总糖 (a) 和还原糖 (b) 含量的影响

Fig. 8 Effects of harvesting date on the contents of total soluble sugar and reducing sugar in pulp of cold-stored Chinese olive fruits

由图8a可知,不同采收期的橄榄果实果肉可溶性总糖含量在冷藏期间变化趋势不同。其中,采收期I~V的橄榄果实果肉可溶性总糖含量在冷藏期间呈先升高后降低的变化趋势,均在冷藏的第20天时达到峰值,且以采收期V的橄榄果实果肉可溶性总糖含量最高;统计分析发现,采收期V的橄榄果实果肉可溶性总糖含量在整个贮藏期内的同一贮藏时间极显著 ($P<0.01$) 高于采收期I~IV。采收期VI、VII的橄榄果实果肉可溶性总糖含量随着冷藏时间的延长而下降,但其下降的幅度不同;采收期VI的橄榄果实果肉可溶性总糖含量在冷藏0~20 d内缓慢下降,20~60 d内较快下降,之后平缓下降;而采收期VII的橄榄果实果肉可溶性总糖含量在冷藏0~60 d缓慢下降,之后快速下降;进一步分析发现,采收期V的橄榄果实果肉可溶性总糖含量在冷藏20~100 d内显著 ($P<0.05$) 高于采收期VI,在冷藏80~100 d内高于采收期VII,但二者差异不显著 ($P>0.05$)。

由图8b可知,不同采收期的橄榄果实果肉还原糖含量在冷藏期间呈先上升后下降的变化趋势,但不同采收期的橄榄果实还原糖含量达到峰值的时间不一致。其中,采收期I、II的橄榄果实果肉还原糖含量在冷藏的第20天达到峰值,之后迅速下降;采收期III~VII的橄榄果实果肉还原糖含量在冷藏的第40天达到峰值,之后快速下降。统计分析表明,采收期V的橄榄果实果肉还原糖含量在整个贮藏期内的同一贮藏时间极显著 ($P<0.01$) 高于采收期I~IV,显著 ($P<0.05$) 高于采收期VI,在冷藏60~100 d内显著 ($P<0.05$) 高于采收期VII。上述结果表明,与采收期I~IV、VI~VII的橄榄果实相比,采收期V可延缓果肉可溶性总糖和还原糖降低,较好保持果实风味。

3 讨论与结论

冷藏是果蔬贮藏保鲜的主要手段,但生长在热带、亚热带果蔬在冷藏期间易发生冷害作用,严重影响其外观品质和商品性状,使其表面出现凹陷、水渍状斑点、

褐变, 果肉出现黏稠浆化、木质化现象, 果实出现出汁率下降、失水皱缩等冷害现象^[5-6,13,24-25], 并引起一系列复杂的生理变化, 以抵御冷胁迫并修复冷伤害^[24]。因此, 控制采后果实冷劣变是延长冷敏型果实贮藏保鲜期的关键。采收时果蔬的成熟度可影响其口感风味、贮藏品质、腐烂表现形式、采后生理变化及其对冷胁迫的反应, 而适宜的采收期对提高果实的耐贮性和抗冷性至关重要^[7-18,24-25]。

本研究发现, 不同采收期的橄榄果实冷害指数、果皮褐变指数、果实质量损失率、果实细胞膜相对渗透率均随冷藏时间的延长而上升; 果实好果率、果实表面色度角、果皮叶绿素含量、果肉可滴定酸含量均随冷藏时间的延长而下降; 果肉可溶性固形物和还原糖含量均随冷藏时间的延长先升高后降低; 而可溶性总糖含量在冷藏20~100 d内随冷藏时间的延长而下降。相关分析表明, 不同采收期的橄榄果实冷害指数与质量损失率呈极显著 ($P<0.01$) 正相关 ($r_I=0.966$ 、 $r_{II}=0.945$ 、 $r_{III}=0.922$ 、 $r_{IV}=0.916$ 、 $r_V=0.992$ 、 $r_{VI}=0.987$ 、 $r_{VII}=0.990$), 与细胞膜相对渗透率呈极显著 ($P<0.01$) 正相关 ($r_I=0.982$ 、 $r_{II}=0.984$ 、 $r_{III}=0.997$ 、 $r_{IV}=0.997$ 、 $r_V=0.990$ 、 $r_{VI}=0.992$ 、 $r_{VII}=0.994$), 与好果率呈极显著 ($P<0.01$) 负相关 ($r_I=-0.971$ 、 $r_{II}=-0.984$ 、 $r_{III}=-0.989$ 、 $r_{IV}=-0.989$ 、 $r_V=-0.955$ 、 $r_{VI}=-0.988$ 、 $r_{VII}=-0.986$), 与表面色度角呈极显著 ($P<0.01$) 负相关 ($r_I=-0.975$ 、 $r_{II}=-0.990$ 、 $r_{III}=-0.985$ 、 $r_{IV}=-0.951$ 、 $r_V=-0.933$ 、 $r_{VI}=-0.956$ 、 $r_{VII}=-0.933$); 果皮褐变指数与叶绿素含量呈极显著 ($P<0.01$) 负相关 ($r_I=-0.957$ 、 $r_{II}=-0.943$ 、 $r_{III}=-0.992$ 、 $r_{IV}=-0.966$ 、 $r_V=-0.934$ 、 $r_{VI}=-0.975$ 、 $r_{VII}=-0.980$)。据此认为, 不适宜的冷藏引起不同采收期的橄榄果实失水、好果率降低、细胞膜结构完整性破坏、表面色度角下降, 果皮褐变、叶绿素降解, 果肉可滴定酸含量、冷藏中后期可溶性固形物、可溶性总糖和还原糖含量降低, 使果实表现出外观色变、失水皱缩、风味变淡等冷害现象。因此, 采收期显著影响冷藏橄榄果实品质的变化和冷害的发生。

进一步比较发现, 与采收期 I~IV、VI~VII 的橄榄果实相比, 采收期 V 能保持较低的果实冷害指数、果皮褐变指数、果实质量损失率、细胞膜相对渗透率和较高的果实好果率, 推迟其呼吸高峰出现并降低呼吸峰值, 延缓冷藏60~100 d内的果实表面色度角、果皮叶绿素含量、果肉可溶性固形物、可滴定酸和还原糖含量以及冷藏80~100 d内的果肉可溶性总糖含量降低。因此认为, 采收期 I~IV 的橄榄果实处于生长成熟期, 在冷藏期间由于冷害发生过早而不能正常后熟, 使其外观品质和风味不佳, 冷劣变严重; 采收期 VI、VII 的橄榄果实成熟度高, 鲜食口感佳, 但在冷藏期间由于呼吸高峰早到而使

其营养物质、风味物质快速消耗, 加速果实衰老, 导致其冷害症状加剧; 而采收期 V 的橄榄果实冷藏期间降低果实呼吸强度和呼吸峰值, 维持细胞膜结构的完整性, 通过延缓冷藏中后期可溶性固形物、可溶性总糖和还原糖含量的降低而提高果实的抗冷性, 较好保持果实的色泽、风味和品质, 有效减轻其冷害。

综合以上分析认为, 采收期 V 可作为减轻 (2 ± 1) °C、相对湿度85%~90%条件下冷藏“檀香”橄榄果实冷害发生的适宜采收成熟度。

参考文献:

- [1] 常强, 苏明华, 陈清西. 橄榄化学成分与药理活性研究进展[J]. 热带作物学报, 2013, 34(8): 1610-1616. DOI:10.3969/j.issn.1000-2561.2013.08.035.
- [2] 福建省统计局. 福建统计年鉴—2015[DB/OL]. (2015-08-26). <http://www.stats-fj.gov.cn/tongjijianjian/dz2015/index-cn.htm>.
- [3] 林河通, 傅虬声, 洪启征. 橄榄果实的冷藏适温与冷害初报[J]. 福建农业大学学报, 1996, 25(4): 485-489.
- [4] 孔祥佳, 林河通, 陈雅平, 等. 低温贮藏对“长营”橄榄果实采后生理和品质的影响[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(2): 1-5. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2011.02.001.
- [5] 孔祥佳, 林河通, 郑俊峰, 等. 诱导冷藏橄榄果实抗冷性的适宜热空气处理条件优化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 371-376. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2011.08.065.
- [6] 孔祥佳, 林河通, 郑俊峰, 等. 热空气处理诱导冷藏橄榄果实抗冷性及其与膜脂代谢的关系[J]. 中国农业科学, 2012, 45(4): 752-760. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2012.04.016.
- [7] GUERRA M, SANZ M A, CASQUERO P A. Influence of harvest dates on quality, storage capacity and sensory attributes of European plum cv. Green Gage[J]. Food Science and Technology International, 2009, 15(6): 527-534. DOI:10.1177/1082013209350537.
- [8] BALOCH M K, BIBI F. Effect of harvesting and storage conditions on the post harvest quality and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruit[J]. South African Journal of Botany, 2012, 83: 109-116. DOI:10.1016/j.sajb.2012.08.001.
- [9] 朱通, 徐俐, 刘涵玉, 等. 采收成熟度对刺梨果实贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22): 330-335. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201422064.
- [10] BURDON J, PIDAKALA P, MARTIN P, et al. Postharvest performance of the yellow-fleshed ‘Hort16A’ kiwifruit in relation to fruit maturation[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92: 98-106. DOI:10.1016/j.postharvbio.2014.01.004.
- [11] 杨婷婷, 朱璇, 向玉洁, 等. 采收成熟度对杏果实贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(7): 277-282. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.7.044.
- [12] ZHAO Z L, CAO J K, JIANG W B, et al. Maturity-related chilling tolerance in mango fruit and the antioxidant capacity involved[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2009, 89(2): 304-309. DOI:10.1002/jsfa.3443.
- [13] 郇海燕, 陈杭君, 陈文炬, 等. 采收成熟度对冷藏水蜜桃果实品质和冷害的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(2): 612-618. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2009.02.028.
- [14] LOPRESTI J, HALE G, BRADY S, et al. Effect of fruit maturity and cool storage on chilling injury in peach and nectarine[J]. Acta Horticulturae, 2015, 1084: 741-748. DOI:10.17660/ActaHortic.2015.1084.99.

[15] MANNING M, BURDON J, de SILVA N, et al. Maturity and postharvest temperature management affect rot expression in 'Hort16A' kiwifruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 113: 40-47. DOI:10.1016/j.postharvbio.2015.10.012.

[16] QIAN C L, MI H B, ZHAO Y Y, et al. Effect of maturity stage on the gene expression of antioxidative enzymes in cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruits under chilling stress[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013, 12(8): 1495-1500. DOI:10.1016/S2095-3119(13)60550-X.

[17] LAFUENTE M T, ZACARIAS L, MARTÍNEZ-TÉLLEZ M A, et al. Phenylalanine ammonia-lyase and ethylene in relation to chilling injury as affected by fruit age in citrus[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 29(3): 309-318. DOI:10.1016/S0925-5214(03)00047-4.

[18] GUERRA M, CASQUERO P A. Effect of harvest date on cold storage and postharvest quality of plum cv. Green Gage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(3): 325-332. DOI:10.1016/j.postharvbio.2007.07.009.

[19] 李辉, 林河通, 袁芳, 等. 不同浓度1-MCP处理对采后油棕果实的保鲜效应[J]. 农业机械学报, 2012, 43(5): 114-121. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.05.020.

[20] 孔祥佳, 林河通, 周鹤, 等. 鲜食橄榄果实的适宜采收期及其品质评价参数的研究[J]. 保鲜与加工, 2016, 16(2): 6-14. DOI:10.3969/j.issn.1009-6221.2016.02.002.

[21] 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: 57-62.

[22] CARREÑO J, MARTÍNEZ A, ALMELA L, et al. Proposal of an index for the objective evaluation of the colour of red table grapes[J]. Food Research International, 1995, 28(4): 373-377. DOI:10.1016/0963-9969(95)00008-A.

[23] BURDON J, LALLU N, PIDAKALA P, et al. Soluble solids accumulation and postharvest performance of 'Hayward' kiwifruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 80: 1-8. DOI:10.1016/j.postharvbio.2013.01.009.

[24] 千春录. 黄瓜果实成熟度与耐冷性的关系及其生理机制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012: 1-21.

[25] 吴锦程, 梁杰, 陈建琴, 等. 采收成熟度与冷藏枇杷果实木质化关系研究[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 255-259.

更 正

发表于《食品科学》2016年第20期151-156页的文章《X射线检测海水鱼片中鱼刺》，应作者要求对表2中部分数据进行更正，更正后的表2数据如下：

表 2 不同鱼种对应的X射线最优检测参数
Table 2 Optimal working parameters of X-ray detector for different fish species

| 参数 | 竹荚鱼 | 狭鳕 | 鲈鱼 | 好吉鱼 | 红鱼 | 秋鲑 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 电压/kV | 45 | 30~40 | 30~35 | 30~40 | 35~40 | 30~40 |
| 电流/ μ A | 5 500~6 000 | 4 200~5 200 | 5 000~6 000 | 4 500~5 000 | 3 200~4 700 | 4 000~5 500 |
| 亮度 | 4~5 | 4 | 4~5 | 4 | 4~6 | 4 |

《食品科学》编辑部