

采收成熟度对‘盖县李’果实低温贮藏效果的影响

王睿,王姣,焦文晓,刘帮迪,李丽莉,曹建康*

(中国农业大学食品科学与营养工程学院,北京 100083)

摘要:为了探究不同采收成熟度对‘盖县李’果实低温贮藏效果的影响,研究了低熟(硬度 $10.7 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、SSC 8.9%)、中熟(硬度 $7.6 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、SSC 9.2%)、高熟(硬度 $4.1 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、SSC 9.8%)3个采收成熟度‘盖县李’果实低温 $(0\pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、相对湿度80%~90%环境下的贮藏品质变化和褐变情况。结果表明,在低温贮藏过程中,低熟李果实果肉硬度、出汁率、可滴定酸(TA)含量和失重率均显著高于中熟和高熟果实($p<0.05$);高熟李果实pH、可溶性固形物含量(SSC)和SSC/TA比值、乙烯释放速率和转色指数显著高于低熟和中熟果实($p<0.05$)。但是,高熟果实果肉的褐变指数显著高于其他采收成熟度的果实($p<0.05$)。结果表明,低熟~中熟李果实适于10周左右的长期贮藏;中熟~高熟李果实适于8周左右中长期贮藏。

关键词:‘盖县李’,成熟度,低温,贮藏品质

Effect of maturity on postharvest cold storage of ‘Gaixian’ plums

WANG Rui, WANG Jiao, JIAO Wen-xiao, LIU Bang-di, LI Li-li, CAO Jian-kang*

(College of Food Science & Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: To study the effects of maturity on postharvest cold storage of ‘Gaixian’ plums. The fruit quality and tissue browning of ‘Gaixian’ plum with different maturity was investigated during storage at $(0\pm 0.5)^\circ\text{C}$ with relative humidity 80%~90%. Results showed that firmness of flesh, juice yield, titratable acid (TA) content and weight loss rate of the fruit picked at low maturity were significantly higher than those of fruit picked at medium and high maturity during storage at low temperature ($p<0.05$). Meanwhile, pH value, soluble solid content (SSC) and SSC/TA ratio, ethylene releasing rate and index of color turning of the fruit picked at high maturity were distinctly higher than those of one picked at low or medium maturity ($p<0.05$). However, flesh browning index of the high mature plum fruit was obviously higher than those of fruit at other two kinds of maturity ($p<0.05$). It was suggested that ‘Gaixian’ plum harvested at low to medium maturity was suitable for long-term storage up to 10 week, and fruit harvested at medium to high maturity was suitable for 8 week storage.

Key words: ‘Gaixian’ plum; maturity; low temperature; storage quality

中图分类号:TS255.3

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2015)22-0320-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2015.22.057

李 (*Prunus salicina* L.) 是我国产量较大的核果之一,通常在6~8月高温季节采收,因其酸甜多汁、风味独特而受到消费者的喜爱。但是,李果实采收期中,采后极易后熟软化,出现组织褐变,难以长期贮藏。在实际商业生产过程中,李果实通常在未达到食用成熟度时就被采收,以延缓其后熟软化。但是,采收成熟度过低,李果实低温贮藏过程中容易出现冷害^[1];采收成熟度过高,容易过快软化,缩短货架期^[2]。如中成熟度黑宝石李更适宜长期贮藏^[3]。采收成熟度不适宜,可能引起低温贮藏果实出现食用品质

降低^[4]、褐变^[5]、细胞膜透性异常^[6]等现象。而不同成熟度的‘安诺哥’李在贮藏过程中均出现不同成熟度的果实软化、褐变等现象^[7]。因此,采收成熟度是影响李果实采后食用品质和商品性质的重要因素^[8]。

‘盖县李’ (*Prunus salicina* ‘Gaixian’) 是我国北方栽培的主要李品种之一,目前,有关采收成熟度影响‘盖县李’果实低温贮藏品质的报道则较少。本研究拟系统探究不同成熟度李果实低温贮藏下品质变化,为李果实适宜采收期的选择和实现精准贮藏提供理论依据。

收稿日期:2015-01-30

作者简介:王睿(1993-),女,在读硕士研究生,研究方向:农产品加工及贮藏,E-mail:wangrui199301@163.com。

*通讯作者:曹建康(1976-),男,博士,副教授,研究方向:果蔬采后生理,E-mail:cjk@cau.edu.cn。

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(21173034)。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

‘盖县李’果实 分别于2013年8月18日(低熟, 硬度 $10.7 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、SSC 8.9%)、24日(中熟, 硬度 $7.6 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、SSC 9.2%)、30日(高熟, 硬度 $4.1 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 、SSC 9.8%)采摘于北京市密云县东邵渠镇石峨村, 果实于采收当天运回, 剔除残次破损果, 挑选大小相近、颜色一致的果实, 置于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下预冷24 h, 对各成熟度果实, 随机装入规格统一的塑料周转筐, 每筐200个果实, 每个成熟度装3筐用聚乙烯塑料薄膜保鲜袋包装并封口。置于 $(0\pm 0.5)\text{ }^{\circ}\text{C}$, 相对湿度80%~90%条件下贮藏。实验重复三次。NaOH 分析纯。

SE1501F型电子天平 奥豪斯仪器(上海)有限公司; GY-3型果实硬度计(直径11 mm柱形测试探头) 爱德堡仪器有限公司; PAL-1型数显糖度计 日本ATAGO(爱岩)公司; 3H16RI型高速冷冻离心机 湖南赫西仪器装备有限公司; PB-10 pH计 德国Sartorius(赛多利斯)公司; T6新世纪紫外可见分光光度计 北京普析通用仪器制造有限公司; GC7890F气相色谱仪 配备有氢火焰检测器(FID)和不锈钢填充柱(Porapak-100), 柱长2 m, 载气 N_2 , 上海天美科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 果肉硬度、可溶性固形物含量(SSC)、可滴定酸(TA)含量、失重率测定 参照文献方法^[9-10]进行。

1.2.2 出汁率及pH测定 称取5.0 g果肉组织, 置于研钵中, 研磨破碎, 于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $8000 \text{ r}/\text{min}$ 离心20 min。收集上清液即为果汁, 称量。出汁率(%)为果汁占果肉总质量的百分比。测定上清液pH作为果实pH。

1.2.3 转色指数测定 取30个果实, 根据果皮颜色从绿到红的程度划分等级: 0级: 全绿; 1级: 果皮转浅绿泛黄; 2级: 果皮出现淡红, 且转红程度 $<10\%$; 3级: 转红程度为 $10\%\sim 30\%$; 4级: 转红程度为 $30\%\sim 60\%$; 5级: 转红程度 $>60\%$ 。每组统计总果数为10个, 统计重复3次。

转色指数 $=\frac{\sum(\text{转色级别}\times\text{果实个数})}{(\text{最高转色级别}\times\text{总统计果数})}\times 100$

1.2.4 褐变指数的测定 取30个果实, 沿缝合线切开, 根据果肉切面出现褐变的程度, 划分等级: 无褐变为0级, 褐变面积 $1\%\sim 10\%$ 为1级, $10\%\sim 30\%$ 为2级, $30\%\sim 50\%$ 为3级, $50\%\sim 70\%$ 为4级, 褐变面积 $>70\%$ 为5级。每组统计总果数为10个, 统计重复3次, 按照下列公式计算指数:

褐变指数(%) $=\frac{\sum(\text{褐变级别}\times\text{果实个数})}{(\text{最高褐变级别}\times\text{总统计果数})}\times 100$

1.2.5 乙烯释放速率测定 参考文献方法, 使用气相色谱法测定^[10]。

1.3 数据处理

运用Excel 2013统计分析数据, 计算标准偏差并制图。运用SPSS Statistics 17.0, 进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实硬度的影响

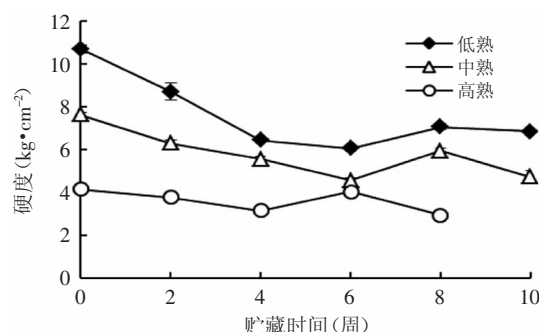


图1 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实硬度的影响
Fig.1 Effect of different maturity on firmness of plums during storage at low temperature

果肉硬度变化反映了果实软化的程度。如图1所示, 低熟、中熟、高熟李果实采收硬度分别为 10.7 、 7.6 、 $4.1 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。低熟、中熟采收成熟度李果实低温贮藏前6周, 硬度都先呈现较快下降, 而后趋于平缓稳定; 高熟李果实采收时硬度较低, 在贮藏过程中硬度略有下降然后保持基本稳定。在贮藏结束时(分别贮藏10、10、8周), 低熟、中熟、高熟李果实硬度分别降至 6.8 、 4.7 、 $2.9 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$, 低熟李果实硬度显著高于中熟、高熟李果实($p<0.05$)。贮藏前期李果实硬度的下降可能是由于果胶物质水解引起的^[12]; 贮藏后期低熟、中熟李果实硬度不再明显下降, 甚至有所上升, 可能与贮藏过程中失水引起果实组织变化有关。

2.2 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实出汁率的影响

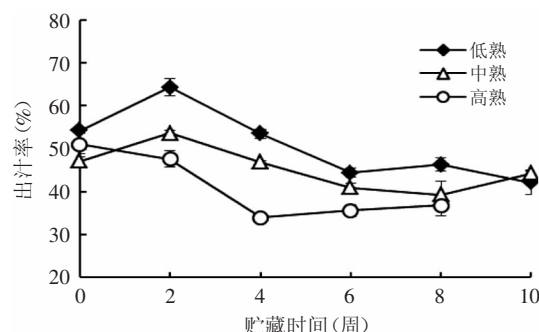


图2 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实出汁率的影响
Fig.2 Effect of different maturity on fruit juice yield of plums during storage at low temperature

出汁率是体现果实食用口感和加工特性的重要指标之一。不同采收成熟度李果实在低温贮藏过程中出汁率变化如图2所示, 低熟、中熟李果实在贮藏前2周出汁率明显上升, 在第2周达到最高值, 分别为 64.4% 和 53.6% ; 随后逐渐下降, 在贮藏6周后保持平稳状态。高熟李果实采收时出汁率为 47.6% , 在贮藏过程中呈逐渐下降趋势, 在贮藏4周后保持基本稳

定。在贮藏结束时(分别为10、10、8周),低熟、中熟、高熟李果实出汁率分别为42.1%、44.2%、36.8%。出汁率的下降可能与贮藏期间果实失水有关,也可能与果实软化过程中果胶、多糖等大分子物质的水解产物对自由水的束缚能力增强、容易形成凝胶态而使榨出汁液减少有关^[13]。

2.3 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实pH的影响

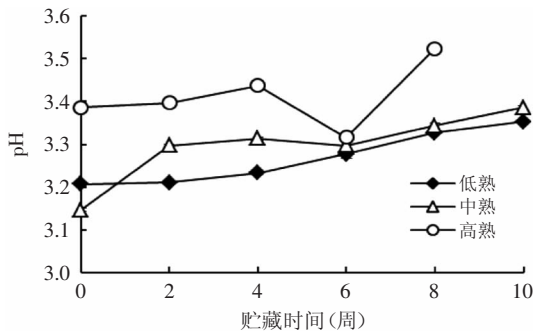


图3 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实pH的影响
Fig.3 Effect of different maturity on pH value of plums during storage at low temperature

由图3可知,不同采收成熟度‘盖县李’果实在低温贮藏过程中pH均呈现缓慢上升趋势。采收时,低熟、中熟、高熟李果实pH分别为3.21、3.15、3.39,在贮藏结束时(分别为10、10、8周),pH分别上升为3.35、3.39、3.52。在整个贮藏过程中,高熟李果实pH始终高于其他成熟度果实,低熟果实pH水平最低。果实汁液pH的变化可能改变了果实细胞后熟衰老相关生化代谢酶的活性^[14],从而影响了果实生理过程和品质及风味变化。

2.4 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实可滴定酸(TA)的影响

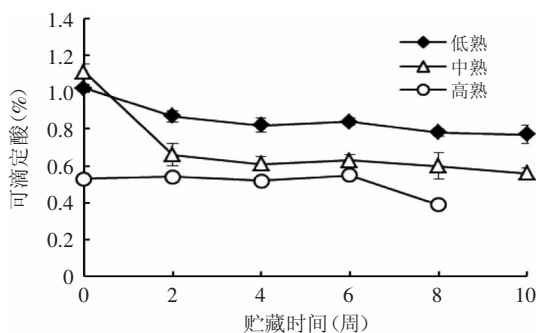


图4 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实TA的影响
Fig.4 Effect of different maturity on titratable acid content of plums during storage at low temperature

高熟李果实采收时具有较低的可滴定酸(TA)含量,仅为0.53%,并且在贮藏过程中保持基本稳定(图4);低熟、中熟李果实TA含量在采收时较高,分别为1.02%、1.11%,在贮藏过程中呈现逐渐下降趋势,但是到贮藏结束时仍显著地高于高熟李果实($p < 0.05$)。不同采收成熟度李果实SSC、可滴定酸含量有明显的

差异,进而对果实风味产生影响。

2.5 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实可溶性固形物(SSC)的影响

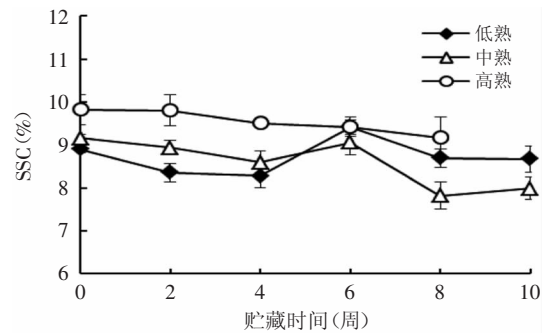


图5 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实SSC的影响
Fig.5 Effect of different maturity on SSC of plums during storage at low temperature

高熟李果实采收时具有较高的SSC含量,为9.8%,在贮藏过程中基本保持稳定(图5);低熟、中熟李果实SSC含量在采收时分别为8.9%、9.2%,但在贮藏4周时开始上升,到贮藏6周时均出现峰值,达到了高熟果实SSC含量水平。

2.6 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实固酸比(SSC/TA)的影响

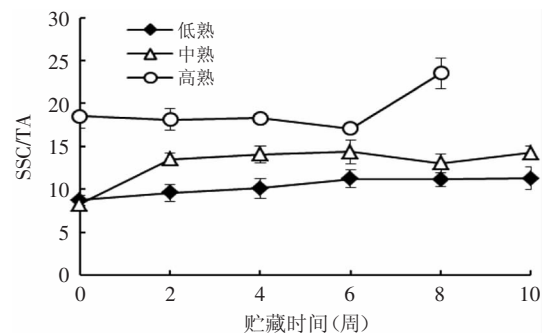


图6 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实SSC/TA的影响
Fig.6 Effect of different maturity on SSC/TA of plums during storage at low temperature

果实汁液中可溶性固形物(SSC)和可滴定酸(TA)含量关系到李果实的风味。如图6所示,高熟果实具有较高的SSC/TA比值,果实甜度突出,风味浓郁,而低熟果实具有较低的SSC/TA,尽管果实仍然很甜,但酸味口感过于突出。中熟果实甜、酸等风味居中。

2.7 采收成熟度对‘盖县李’果实低温贮藏过程中失重率的影响

由图7可知,李果实在贮藏过程中极易发生由水分散失引起的质量损耗。在贮藏4周后,低熟果实失重率显著高于中熟、高熟果实。在贮藏结束时(10周),低熟果实失重率高达8.3%,中熟果实失重率也有7.0%。至于高熟果实,尽管在贮藏前2周重量损失较快,但在贮藏4周后变得缓慢。在贮藏结束时(8周)高熟果实失重率仅为6.2%。低成熟度果实较易失水,这可能与低成熟度可溶性固形物含量较低导致细胞持

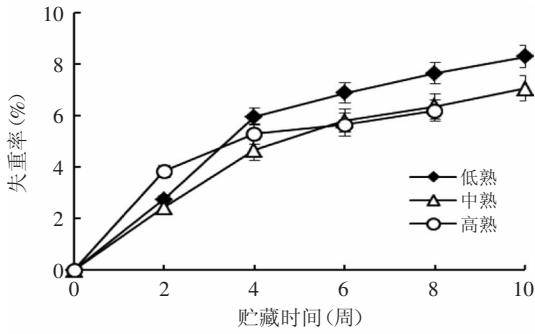


图7 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实失重率的影响
Fig.7 Effect of different maturity on weight loss rate of plums during storage at low temperature

水力较弱,同时,低成熟度果实表皮较嫩,水分易散失^[15-16]。在贮藏后期,当自由水由于受果胶、多糖等大分子物质的水解产物束缚而不易失去时,果实的失重变得缓慢,与此相对应,果实出汁率也呈现稳定水平。

2.8 采收成熟度对‘盖县李’果实低温贮藏过程中转色指数的影响

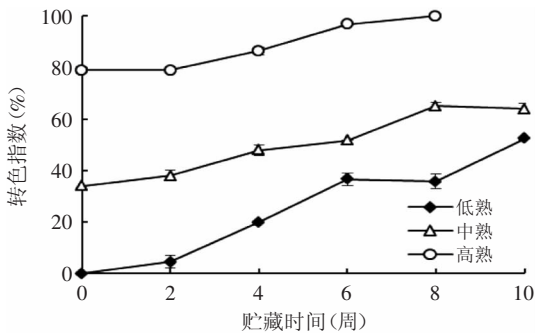


图8 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实转色指数的影响
Fig.8 Effect of different maturity on color turning index of plums during storage at low temperature

在成熟过程中,‘盖县李’果实果皮颜色逐渐由绿转红。但是,不同采收成熟度李果实在低温贮藏过程中果皮色泽转化进程差异较大(图8),低熟李果实在采收时尚处于绿熟阶段,果皮呈浅绿色,在贮藏过程中,果皮逐渐由绿泛黄并开始转红,到贮藏10周时,转色指数达到52.5%。中熟果实在采收时果皮呈半黄色,在贮藏过程中,果皮逐渐转红,到贮藏10周时,转色指数达到64%。高熟果实在采收时已经开始转红至贮藏终点全部转红。实际上,低熟、中熟果实在低温贮藏结束后,在货架期能继续转红。推迟贮藏期间转色程度,能够明显延长果实贮藏期和提高货架品质。

2.9 采收成熟度对‘盖县李’果实低温贮藏过程中褐变程度的影响

在低温贮藏过程中,不同采收成熟度‘盖县李’果实均出现了果肉褐变现象,且褐变程度随贮藏时间的延长而增加(图9)。低熟李果实的褐变指数显著低于中熟和高熟果实。在贮藏10周时,低、中熟果实

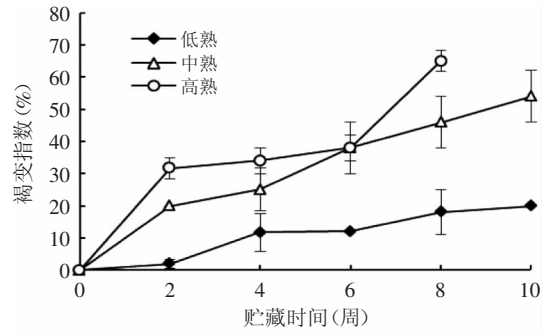


图9 采收成熟度对低温贮藏过程中‘盖县李’果实褐变指数的影响
Fig.9 Effect of different maturity on browning index of plums during storage at low temperature

褐变指数分别为20%、54%;而高熟李果实在贮藏6周后褐变急速加剧,在贮藏8周时褐变指数就达到65%,对果实品质产生了不良影响。前人研究也表明,成熟度较高的果实在贮藏过程中容易出现组织褐变。可能是较高成熟度的果实细胞膜通透性大,酶与多酚等褐变底物接触机会增加导致的^[17]。

2.10 采收成熟度对‘盖县李’果实低温贮藏过程中乙烯释放速率的影响

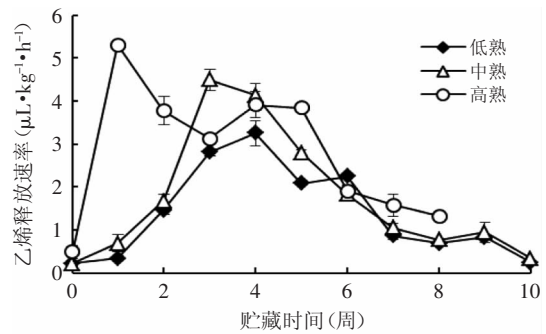


图10 采收成熟度对‘盖县李’果实低温贮藏过程中乙烯释放速率的影响
Fig.10 Effect of different maturity on ethylene releasing rate of plums during storage at low temperature

如图10所示,三种不同采收成熟度的‘盖县李’果实在低温贮藏过程中均出现较为明显的乙烯释放高峰。低、中熟‘盖县李’果实在贮藏3~4周时出现了乙烯释放高峰,高熟果实在贮藏1周后即出现了乙烯释放高峰。随着采收成熟度的提高,‘盖县李’果实乙烯释放速率峰值也升高,可见,其属于乙烯释放高峰型果实。因此,控制适当的采收成熟度能有效延缓乙烯释放高峰和降低乙烯释放量^[18]。

3 结论

采收时硬度为7.6~10.7 kg·cm⁻²、SSC为8.9%~9.2%的‘盖县李’果实(即低成熟度~中成熟度)具有较高的硬度和可滴定酸含量、转色缓慢,适宜用于10周左右的长期贮藏;采收时硬度为4.1~7.6 kg·cm⁻²、SSC为9.2%~9.8%的‘盖县李’果实(即中成熟度~高成熟度)具有较高的SSC和较好风味、转色快,适宜用于8周左右贮藏;采收时硬度低于4.1 kg·cm⁻²、SSC高

于9.2%的‘盖县李’果实适宜6周或更短时期的贮藏。‘盖县李’果实采收时硬度高于 $10.7 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、SSC低于8.9%时,果实在贮藏过程中可能出现严重失水、贮藏后货架期不能正常转红,影响产品商品性状及食用品质。

参考文献

- [1] Ozturka B, Kucukera E, Karamanb S, et al. The effects of cold storage and aminoethoxyvinylglycine (AVG) on bioactive compounds of plum fruit (*Prunus salicina* Lindell cv. 'Black Amber') [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 72: 35-41.
- [2] 张佰清, 公谱, 郝义. 成熟度对冷藏晚香蕉李果肉褐变的影响[J]. *食品科技*, 2010(6): 67-70.
- [3] 及华, 关军锋, 孙玉龙, 等. 不同采收成熟度黑宝石李冷藏期间品质变化的研究[J]. *保鲜与加工*, 2010(3): 22-25.
- [4] 田密霞, 姜爱丽, 何煜波, 等. 采收成熟度与贮藏温度对甜樱桃果实品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2011(4): 348-351.
- [5] 邝海燕, 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.
- [6] 孙芳娟, 韩明玉, 赵彩萍, 等. 不同采收成熟度油桃贮藏效果及果肉细胞超微结构观察[J]. *果树学报*, 2009, 26(4): 450-455.
- [7] 及华, 刘媛, 王燕霞, 等. 1-MCP对不同成熟度安哥诺李冷藏品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2013, 33(10): 178-182.
- [8] 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.
- [9] 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: 49-51.
- [10] 王姣, 李丽莉, 袁树枝, 等. 不同品种李果实低温贮藏特性研究[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(19): 343-350.
- [11] Ansorena M R, Marcovich N E, Roura S I. Impact of edible coatings and mild heat shocks on quality of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L.) during refrigerated storage [J]. *Postharvest biology and technology*, 2011, 59(1): 53-63.
- [12] Taylor M A, Rabe E, Jacobs G, et al. Effect of harvest maturity on pectic substances, internal conductivity, soluble solids and gel breakdown in cold stored 'Songold' plums [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1995, 5(4): 285-294.
- [13] Minasa I S, Vicentec A R, Dhanapalb A P, et al. Ozone-induced kiwifruit ripening delay is mediated by ethylenebiosynthesis inhibition and cell wall dismantling regulation [J]. *Plant Science*, 2014, 229: 76-85.
- [14] Sun Y, Zhang W, Zeng T, et al. Hydrogen Sulfide Inhibits Enzymatic Browning of Fresh-cut Lotus Root Slices by Regulating Phenolic Metabolism [J]. *Food Chemistry*, 2015, 117(15): 377-381.
- [15] 高豪杰, 贾志伟, 李雯, 等. 采收成熟度与果实贮藏保鲜关系的研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(5): 2897-2898.
- [16] Casquero PA, Guerra M. Harvest parameters to optimise storage life of European plum 'Oullins Gage' [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2009, 44(10): 2049-2054.
- [17] 周鹤, 林毅雄, 段起, 等. 果蔬成熟度与抗冷性的关系及其作用机理研究进展[J]. *包装与食品机械*, 2014, 32(1): 45-49.
- [18] Candan A P, Graell J, Larrigaudière C. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 47: 107-112.
- [19] Mu H, Høy CE. The digestion of dietary triacylglycerols [J]. *Progress in Lipid Research*, 2004, 43: 105-133.
- [20] Bernard A, Carlier H. Absorption and intestinal catabolism of fatty acids in the rat: Effect of chain length and unsaturation [J]. *Experimental Physiology*, 1991, 76: 445-455.
- [21] Forsyth J S. Lipids and infant formulas [J]. *Nutrition Research Reviews*, 1998(1): 255-278.
- [22] Lien EL, Boyle FG, Yuhas R, et al. The effect of triglyceride positional distribution on fatty acid absorption in rats [J]. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 1997, 25: 167-174.
- [23] Aoe S, Yamamura J, Matsuyama H, et al. The Positional Distribution of Dioleoyl-Palmitoyl Glycerol Influences Lymph Chylomicron Transport, Composition and Size in Rats [J]. *Journal of Nutrition*, 1997, 127(7): 1269-1273.
- [24] Srivastava A, Akoh CC, Chang SW, et al. *Candida rugosa* lipase lip1-catalyzed transesterification to produce human milk fat substitute [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54: 5175-5181.
- [25] Sahin N, Akoh CC, Karaali A. Lipase-catalyzed acidolysis of tripalmitin with hazelnut oil fatty acids and stearic acid to produce human milk fat substitutes [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53: 5779-5783.
- [26] Xiao LQ, Yun MW, Yong HW, et al. Preparation and Characterization of 1,3-Dioleoyl-2-palmitoylglycerol [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(10): 5714-5719.
- [27] Senanayake SPJN, Shahidi F. Enzymatic incorporation of docosahexaenoic acid into borage oil [J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1999, 76: 1009-1015.
- [28] Xu X, Balchen S, Høy C, et al. Production of specific-structured lipids by enzymatic interesterification in a pilot continuous enzyme bed reactor [J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1998, 75: 1573-1579.
- [29] Zou X, Huang J, Jin Q. Preparation of human milk fat substitutes from palm stearin with arachidonic and docosahexaenoic acid: combination of enzymatic and physical methods [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60: 9415-9423.
- [30] Luddy FE, Barford RA, Herb SF, et al. Pancreatic lipase hydrolysis of triglycerides by a semimicro technique [J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1964, 41: 693-696.
- [31] Macrae AR. Lipase-catalyzed interesterification of oils and fats [J]. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 1983, 60: 291-294.
- [32] Xu X. Engineering of enzymatic reactions and reactors for lipid modification and synthesis [J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2003, 105: 289-304.

(上接第220页)