

冰温贮藏对玉露香梨果实质构特性及色泽的影响

赵迎丽, 张 微, 杨志国, 王 亮, 陈会燕, 李 超

(山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西 太原 030031)

摘要:旨在探讨冰温贮藏对玉露香梨果实质构特性及色泽代谢的影响,为冷藏品质的保持提供技术参考。以玉露香梨为试材,在冷藏(0℃)、冰温贮藏(-1℃)下,就果实硬度、脆性、韧性、匀质指数等质构特性及叶绿素、类胡萝卜素、花色苷、叶绿素酶等色泽变化相关生理指标进行分析。结果表明,-1℃处理延缓了玉露香梨果实脆性及硬度的下降,减缓果肉纤维化程度,与0℃处理相比,180 d果实脆性及果皮硬度分别提高了3.17%、2.83%,匀质指数降低了10.31%,且差异显著。-1℃处理抑制叶绿素酶及苯丙氨酸解氨酶活性的上升,贮藏240 d时,果实叶绿素酶和苯丙氨酸解氨酶活性分别为7.784 mmol/(min·g)、8.135 U/g,显著低于0℃处理下果实的酶活性,从而抑制叶绿素降解及类胡萝卜素和花色苷的累积;叶绿素含量较0℃增加12.11%,类胡萝卜素和花色苷含量较0℃处理分别降低18.21%、17.01%,延缓果面色泽转黄的过程。相关性分析结果表明,玉露香梨果面色泽角与类胡萝卜素、叶绿素酶活性分别呈极显著和显著负相关;叶绿素与类胡萝卜素、叶绿素酶活性呈显著负相关。综上,冰温贮藏(-1℃)有效延缓了玉露香梨中长期贮藏果实质地的变化及果面色泽转黄,保持了果实冷藏的品质。

关键词:玉露香梨;冰温;质构特性;色泽

中图分类号:S661.2 文献标识码:A 文章编号:1002-2481(2024)06-0128-08

Effect of Ice Temperature Storage on Texture Characteristics and Color of Yuluxiang Pear

ZHAO Yingli, ZHANG Wei, YANG Zhiguo, WANG Liang, CHEN Huiyan, LI Chao

(College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In order to explore the effects of ice temperature storage on the texture characteristics and color metabolism of Yuluxiang pear fruit, and provide technical references for maintaining the cold storage quality of Yuluxiang pear. In this study, Yuluxiang pear were used as experimental material, under the conditions of cold storage(0℃) and ice temperature storage(-1℃), the changes in texture characteristics such as fruit hardness, brittleness, toughness, and homogeneity index, and physiological indicators related to color changes such as chlorophyll, carotenoids, anthocyanins, and chlorophyllase were analyzed. The results showed that -1℃ delayed the decrease in brittleness and hardness of pericarp, and slowed down the degree of flesh fibrosis. Compared with 0℃, the fruit brittleness and peel hardness increased by 3.17% and 2.83% after 180 days storage, respectively. The homogeneity index decreased by 10.31%, and the difference was significant. When stored for 240 days, the activities of chlorophyllase and phenylalanine ammonia lyase in fruits at -1℃ were 7.784 mmol/min.g and 8.135 U/g, respectively, significantly lower than those in fruits at 0℃, thus chlorophyll degradation and the accumulation of carotenoids and anthocyanins were inhibited, the chlorophyll content was 12.11% higher than that at 0℃. At the same time, the contents of carotenoids and anthocyanins were 18.21% and 17.01% lower than those at 0℃, respectively, delaying the yellowing process of fruit surface color. Correlation analysis showed that chromaticity angle H was extremely significantly and significantly negatively correlated with carotenoids and chlorophyllase activities. Chlorophyll was significantly negatively correlated with carotenoids and chlorophyllase activities, respectively. In summary, ice temperature storage(-1℃) effectively delayed the changes in fruit texture and the yellowing of fruit color in long-term storage and maintained Yuluxiang pear fruit quality in cold storage.

Key words: Yuluxiang pear; ice temperature; texture characteristics; color

玉露香梨因其耐藏性好、果实性状优良而成为近年来华北地区大面积发展的白梨品种。梨果果面

黄绿色,有红晕或暗红色条纹,具有皮薄、肉质细嫩酥脆、味甜清香^[1]等特色。但不适宜的采收及贮运

收稿日期:2023-10-20

基金项目:中央引导地方科技发展专项(YDZX20191400001463);山西省农业科学院农业科技创新工程项目(YGC2019TD05);山西省农业科学院农业科技创新研究课题(YCX2020301);山西省农业科学院应用基础研究计划(YCX2020YQ10)

作者简介:赵迎丽(1973-),女,山西清徐人,研究员,硕士,主要从事果蔬采后生理及贮藏技术研究工作。

过程中玉露香梨易出现果面黄化、油腻化、果肉磕碰伤、纤维化程度增加及果心褐变等问题。果实色泽、风味、质地是影响其品质的主要感官指标,直接影响食用品质及商品价值,为此消费终端果实品质的保持对玉露香梨贮藏技术提出更高要求。

叶绿素、类胡萝卜素和酚类色素等色素的种类和含量决定了果实呈现的色泽^[2]。采后果实色泽的变化受贮藏环境条件尤其是温度的影响。有研究表明,低温贮藏可抑制芹菜^[3]、生菜叶绿素的降解^[4],改善贮藏保鲜效果;预冷处理结合低温贮藏西兰花,可有效延缓其黄化,保持较高的叶绿素、游离酚含量,有效抑制叶绿素酶活性^[5];0℃低温贮藏可延缓红富士苹果采后花青苷及果皮叶绿素的降解,抑制果皮类胡萝卜素的积累^[6];−1℃的低温延缓了库尔勒香梨果皮叶绿素含量的下降^[7]。另外,就冰温对果实品质的研究表明,冰温贮藏保持了绿芦笋的硬度和色泽,延缓了绿芦笋的衰老^[8];冰温状态下蓝莓鲜果的硬度、脆性和咀嚼性等质构特性均优于对照^[9];意大利葡萄果皮强度、弹性、硬度、咀嚼性等质地结构参数在冰温条件下均优于其他温度处理^[10]。

玉露香梨作为优新中晚熟品种,低温^[11]及气调贮藏^[12]可一定程度延缓果实的衰老,然而就限制其中长期冷藏品质的色泽转黄,果肉纤维化程度增加等问题尚未见深入研究。本研究通过探讨冰温对玉露香梨果实贮藏过程中质地、色泽变化的规律及对品质的影响,旨在为保持果实冷藏品质提供一定的理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

玉露香梨2022年9月采收于山西省临汾市隰县管理良好的果园。选择果面色泽一致、果个大小均匀、无机械伤、无病虫害、成熟度一致的果实为试材。

1.2 试验方法

玉露香梨采收当日运至山西农业大学食品科学与工程学院实验冷库预冷,利用NCS001水果无损检测仪器分选出可溶性固形物含量为11.0%~13.0%的果实,随机分组,设(−1.0±0.5)℃和(0.0±0.5)℃共2组温度处理,各处理300个果,高渗出CO₂聚乙烯保鲜袋(0.018 mm厚)包装,分别置于不同温度下冷藏240 d。

1.3 测定项目及方法

在贮藏期间,每60 d取样测定相关品质指标,每个处理3次重复。质构特性测定:采用TA.HD.

plus质构分析仪(英国Stable Micro Systems公司)整果带皮穿刺测定^[13],P/6探头,刺入果实深度15 mm,包括以下参数:果皮硬度(果皮穿刺最大力,g);果皮韧性(果皮受力位移距离,mm);果实脆性(果皮、果肉受力值跌落的斜率,%);果肉平均硬度(g);果肉匀质指数。采用CR-400型色差仪(日本Minolta公司)测定果实对称两面的L*值、H值。

叶绿素、类胡萝卜素含量的测定参照张微等^[11]的方法进行,花色苷含量采用PH示差法测定,类黄酮参照XU等^[14]方法测定,总酚含量采用Folin-酚试剂法测定,叶绿素酶活性参照周鑫等^[15]方法测定,苯丙氨酸解氨酶活性参照KOU等^[16]的方法测定。

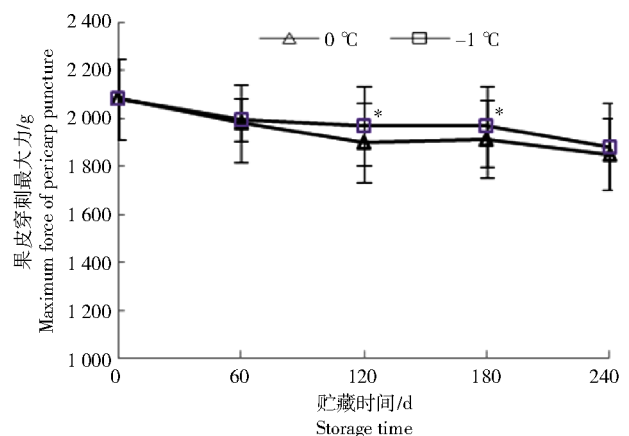
1.4 数据分析

采用Excel 2007处理数据,采用SPSS Statistics v17.0进行Pearson相关性分析。

2 结果与分析

2.1 冰温对玉露香梨果实质构特性的影响

由图1可知,整个贮藏期不同温度处理下玉露香梨果皮硬度均呈逐渐下降的趋势。−1℃处理贮藏120、180 d的果皮穿刺最大力较0℃处理分别增加6.05%和2.83%,且差异显著($P<0.05$);贮藏至240 d时,0℃处理和−1℃处理果皮穿刺最大力分别下降到1 851.56、1 883.29 g。



*表示同一时间不同处理在 $P<0.05$ 水平差异显著。下图同
* Indicated significant difference at $P<0.05$ between different treatments at the same time. The same as below

图1 冰温对梨果皮硬度的影响
Fig.1 Effect of ice temperature on hardness of pericarp

果皮韧性可以用果皮受力开始至破裂位移的距离表示。由图2可知,贮藏初期玉露香梨果皮韧性略有下降;随后0℃在60 d、−1℃在120 d后果皮韧性开始回升;贮藏至240 d,不同温度处理下玉露

香梨果皮韧性均略有上升, -1°C 处理果皮韧性略低于 0°C 处理, 但 2 个处理间差异不显著。

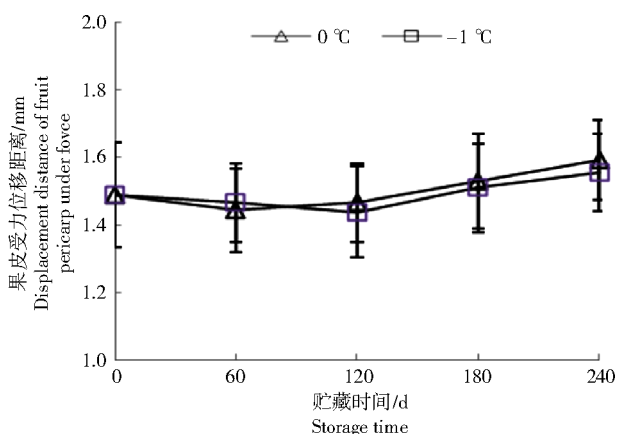


图2 冰温对梨果皮韧性的影响
Fig.2 Effect of ice temperature on toughness of pericarp

由图3可知, 不同温度处理果实皮肉受力跌落斜率(脆性)呈缓慢下降趋势。贮藏前期120 d, 不同温度处理之间差异不显著, 180 d后 -1°C 处理果实脆性较 0°C 处理果实高, 且差异显著($P < 0.05$); 240 d时 0°C 处理和 -1°C 处理皮肉受力跌落斜率分别为34.28%、36.67%。

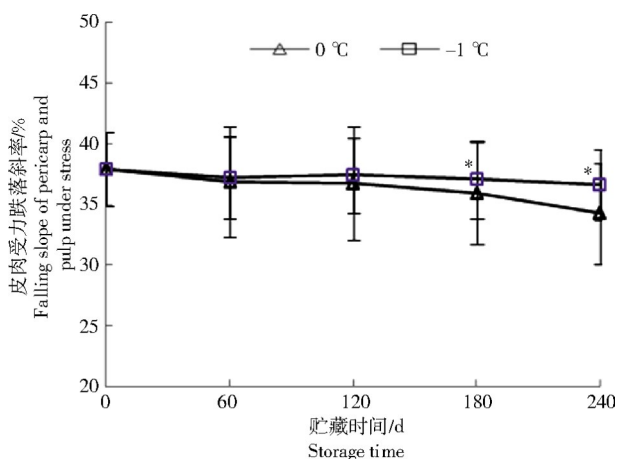


图3 冰温对梨果实脆性的影响
Fig.3 Effect of ice temperature on fruit brittleness of pear

从图4可以看出, 玉露香梨贮藏期间不同温度处理果肉平均硬度变化不大, 变化幅度在 $\pm 30\text{ g}$ 。 0°C 处理果肉硬度在120 d后缓慢下降, -1°C 处理在180 d后缓慢下降; 240 d后 0°C 处理和 -1°C 处理果肉硬度分别下降了3.11%和1.29%。

果肉匀质指数越大代表果肉纤维程度越高。从图5可以看出, 随着贮藏期的延长, 0°C 处理玉露香梨果肉匀质指数缓慢增加; 贮藏180 d时, -1°C 处理的果肉匀质指数较 0°C 处理降低10.31%, 且

差异显著($P < 0.05$); 贮藏240 d后, 0°C 处理的果肉匀质指数为14.75, 较入贮时增加了9.91%; -1°C 处理的果肉匀质指数为13.96, 较入贮时增加了4.02%。

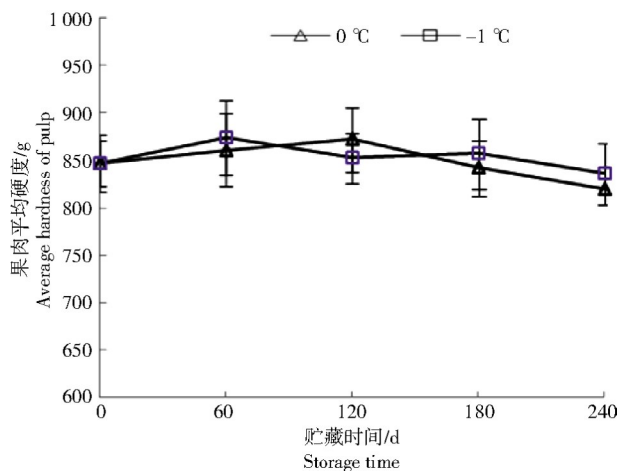


图4 冰温对梨果肉平均硬度的影响
Fig.4 Effect of ice temperature on average hardness of pear pulp

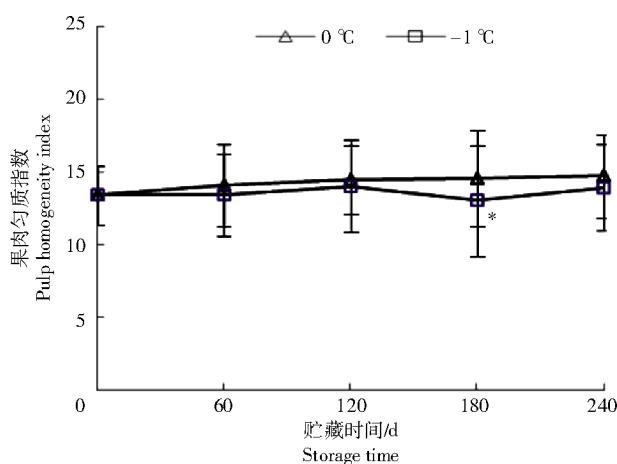


图5 冰温对梨果肉匀质指数的影响
Fig.5 Effect of ice temperature on homogeneity index of pear pulp

2.2 冰温对玉露香梨果面色泽的影响

从图6可以看出, 随着贮藏期的延长, 玉露香梨果面逐渐出现光泽, 果面油腻化显现。不同温度处理下, 反映果面的亮度 L^* 值在冷藏后均呈不同趋势的上升。与 0°C 处理相比, -1°C 处理果面 L^* 值上升趋势较缓慢, 0°C 处理果面的 L^* 值在60 d上升后略有下降, 贮藏后期180 d又呈上升趋势; -1°C 处理果面的 L^* 值贮藏前120 d缓慢上升后下降, 贮藏后期略有上升。

玉露香梨果实随贮藏期延长, 果面底色逐渐转黄。由图7可知, 贮藏前期120 d, 不同温度处理的玉露香梨果面色度角H值保持较平稳, 略有下降;

120 d后,降幅增加。-1℃处理的果面H值贮藏期间均高于0℃处理。

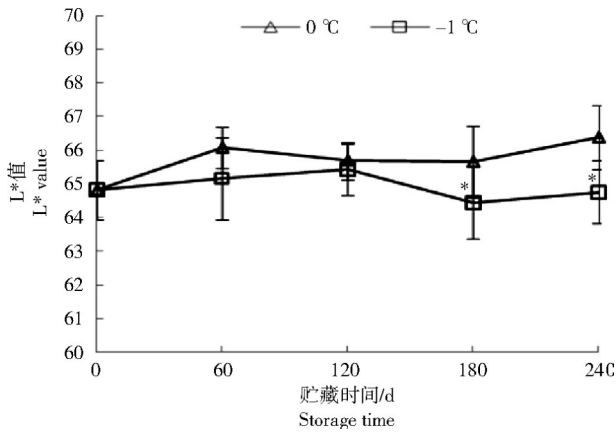


图6 冰温对梨果面L*值的影响
Fig.6 Effect of ice temperature on L* value of pericarp

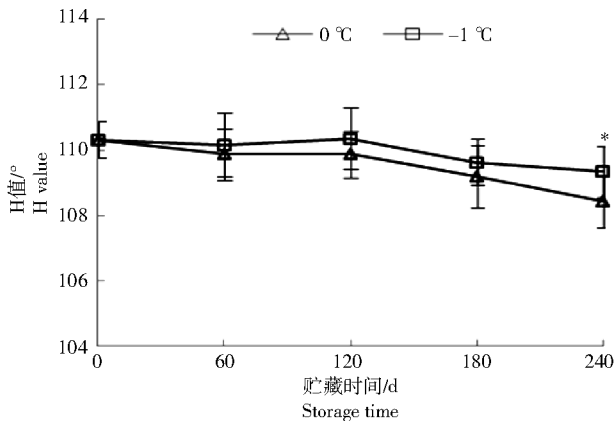


图7 冰温对梨果面H值的影响
Fig.7 Effect of ice temperature on H value of pericarp

2.3 冰温对玉露香梨果皮叶绿素、类胡萝卜素、花色苷含量的影响

玉露香梨果皮叶绿素含量在2个温度下均呈下降趋势。0℃处理贮藏前期果皮叶绿素含量下降幅度较大;120 d后减缓;且120 d时叶绿素含量较-1℃处理差异显著($P < 0.05$)。-1℃处理贮藏前期一直保持相对较高的叶绿素含量,在120 d后降幅增加;240 d梨果的叶绿素含量较0℃增加12.11%,但处理间差异不显著(图8)。

由图9可知,玉露香梨果皮类胡萝卜素含量在不同温度下呈逐渐上升的趋势。贮藏前期120 d,果皮类胡萝卜素上升缓慢,且处理间差异不显著;120 d后,0℃处理果皮类胡萝卜素含量上升趋势增加,在180、240 d与-1℃处理胡萝卜素含量差异显著($P < 0.05$);贮藏240 d后,0℃处理和-1℃处理的果皮类胡萝卜素含量分别上升了0.305、0.151 μg/g,-1℃处理的类胡萝卜素含量较0℃处理降低18.21%。

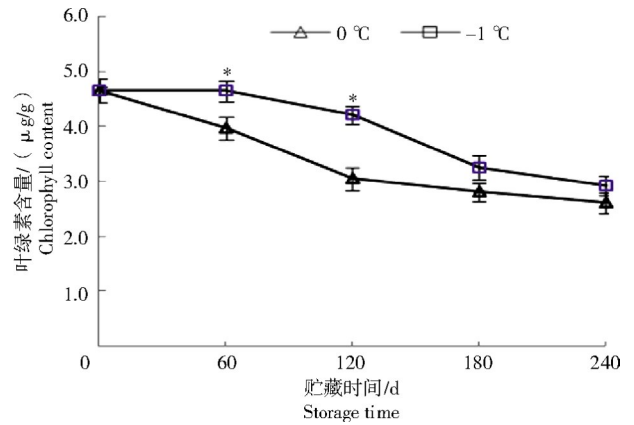


图8 冰温对梨果皮叶绿素含量的影响
Fig.8 Effect of ice temperature on chlorophyll content of pericarp

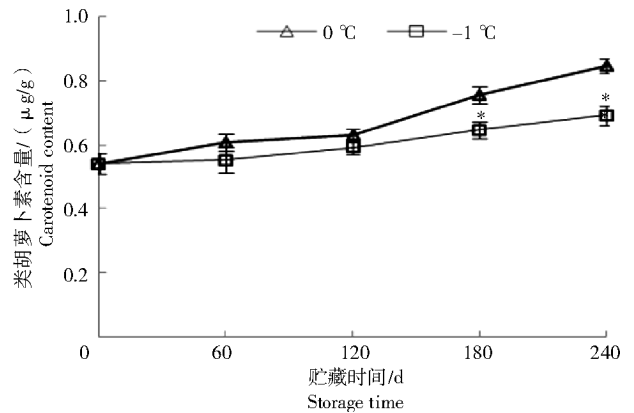


图9 冰温对梨果皮类胡萝卜素含量的影响
Fig.9 Effect of ice temperature on carotenoid content of pericarp

贮藏期间,不同温度处理玉露香梨果皮花色苷含量均呈前期缓慢上升后出现一个积累高峰,然后再下降的变化趋势。0℃下果实贮藏120 d,花色苷含量达到峰值,为5.303 μg/g;冰温贮藏处理延缓花色苷累积,贮藏180 d花色苷含量达4.281 μg/g,随后下降;240 d花色苷含量-1℃冰温处理较0℃处理降低17.01%(图10)。

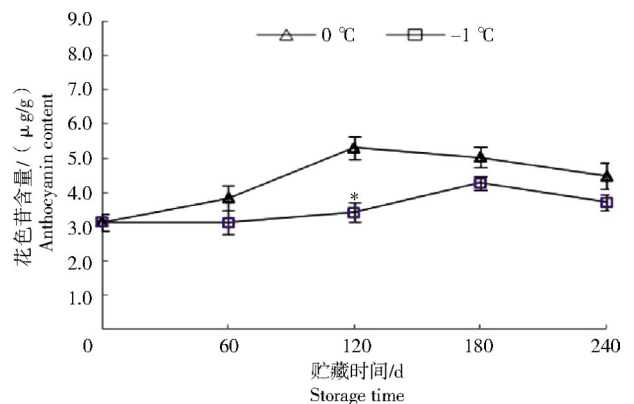


图10 冰温对梨果皮花色苷含量的影响
Fig.10 Effect of ice temperature on anthocyanin content of pericarp

2.4 冰温对玉露香梨果皮总酚及类黄酮含量的影响

由图 11 可知,入贮时玉露香梨果皮总酚含量为 3.34 mg/g,冷藏期间,不同温度处理下果皮的总酚含量呈缓慢下降的趋势。 0°C 处理在贮藏 60 d 时果皮总酚含量略有上升,随后呈下降趋势; -1°C 处理贮藏前期总酚含量变化较为平缓,180 d 开始降幅增加;贮藏 240 d 时, 0°C 处理和 -1°C 处理玉露香梨果皮总酚含量分别较入贮时下降了 35.92%、20.23%。

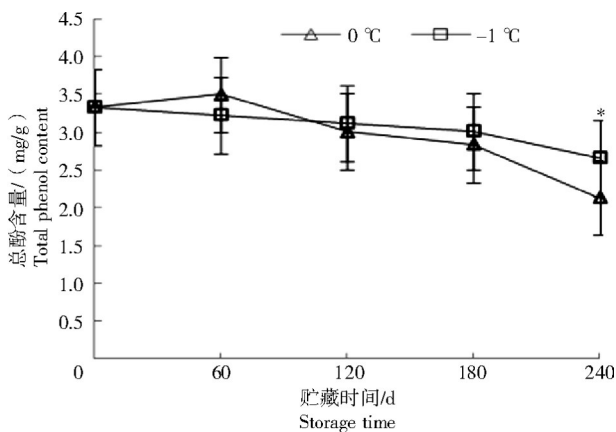


图 11 冰温对梨果皮总酚含量的影响
Fig.11 Effect of ice temperature on total phenol content of pericarp

从图 12 可以看出,入贮时玉露香梨果皮类黄酮含量为 17.01 mg/g;随贮藏时间的延长,不同温度处理下果皮类黄酮含量在入贮初期上升后逐渐下降, -1°C 处理延缓了果实类黄酮含量在贮藏中后期的下降;贮藏 60、180 d 时,果皮类黄酮含量均显著高于 0°C 处理($P<0.05$)。

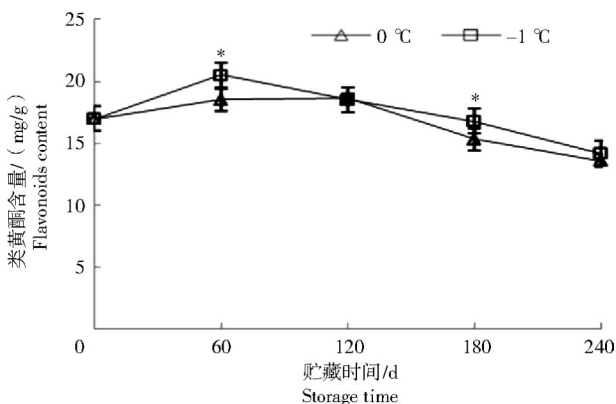


图 12 冰温对梨果皮类黄酮含量的影响
Fig.12 Effect of ice temperature on flavonoid content of pericarp

2.5 冰温对玉露香梨果皮叶绿素酶、苯丙氨酸解氨酶活性的影响

从图 13 可以看出,整个贮藏期间,不同温度

处理果皮叶绿素酶活性均呈逐渐升高的趋势。入贮前 60 d,2 个温度处理叶绿素酶活性差异不显著;随贮藏期的延长, -1°C 处理抑制果实叶绿素酶活性的升高;在贮藏 120 d 后显著低于 0°C 处理($P<0.05$);240 d 时 0°C 处理的叶绿素酶活性为 8.934 mmol/(min·g), -1°C 处理的叶绿素酶活性仅为 7.784 mmol/(min·g)。

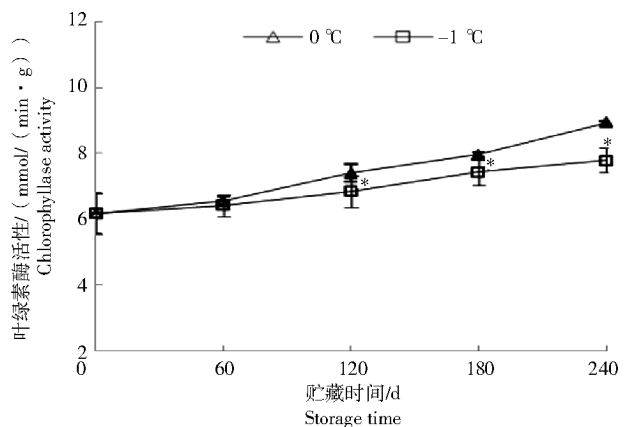


图 13 冰温对梨果皮叶绿素酶活性的影响
Fig.13 Effect of ice temperature on chlorophyllase activity of pericarp

从图 14 可以看出,玉露香梨果皮苯丙氨酸解氨酶活性在入贮后呈缓慢上升的趋势, 0°C 处理在 60 d 后酶活性升高幅度增加, -1°C 处理的酶活性增幅较平缓;240 d 时其苯丙氨酸解氨酶活性为 8.135 U/g, 0°C 处理苯丙氨酸解氨酶活性达到 9.438 U/g。在贮藏 120、180、240 d, -1°C 处理果皮的苯丙氨酸解氨酶活性均显著低于 0°C 处理($P<0.05$)。

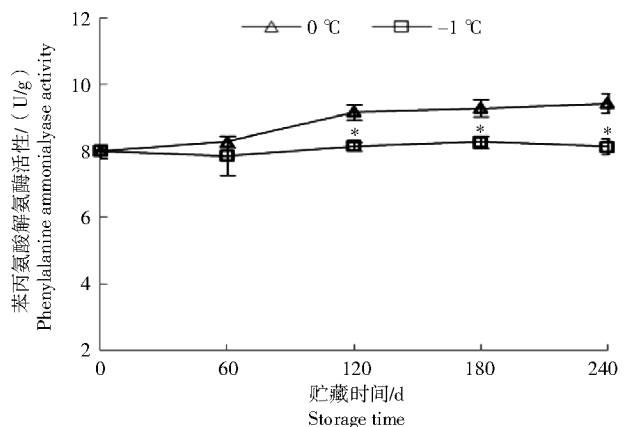


图 14 冰温对梨果皮苯丙氨酸解氨酶活性的影响
Fig.14 Effect of ice temperature on phenylalanine ammonia lyase activity of pericarp

2.6 玉露香梨果皮色泽参数相关性分析

对影响果实色泽的参数相关性分析,结果表明

(表1),色度角H与总酚的相关系数为0.922,达显著相关($P<0.05$);与类胡萝卜素的相关系数为-0.990,呈极显著负相关($P<0.01$),与叶绿素酶的相关系数为-0.959,呈显著负相关($P<0.05$)。叶绿素与类胡萝卜素、叶绿素酶活性均呈显著负相关($P<0.05$),相关系数分别达-0.882、-0.932。类胡萝卜素与叶绿素酶呈极显著正相关($P<0.01$),相

关系数为0.972,与总酚相关系数为-0.916,呈极显著负相关($P<0.01$)。总酚与叶绿素酶呈显著负相关($P<0.05$),相关系数为-0.959。另外,果面色度角H与叶绿素、类黄酮相关系数较高,花色苷与苯丙氨酸解氨酶活性相关系数较高,叶绿素与花色苷和总酚相关系数较高,但均不显著,可能与采样周期过长有关。

表1 玉露香梨果皮色泽参数相关性分析
Tab.1 Correlation analysis of pericarp color parameters of Yuluxiang pear

| 参数 Parameter | 亮度L* Bright- ness L* | 色度角H Hue angle H | 叶绿素 Chlorophyll | 类胡萝卜素 Carotenoid | 花色苷 Anthocy- anin | 类黄酮 Flavonoid | 总酚 Total phenol | 苯丙氨酸解氨酶 Phenylalanine ammonia lyase | 叶绿素酶 Chlorophyl- lase |
|--|----------------------------|------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|---|-----------------------------|
| 亮度L* Brightness L* | 1 | | | | | | | | |
| 色度角H Hue angle H | -0.764 | 1 | | | | | | | |
| 叶绿素 Chlorophyll | -0.684 | 0.832 | 1 | | | | | | |
| 类胡萝卜素 Carotenoid | 0.722 | -0.990** | -0.882* | 1 | | | | | |
| 花色苷 Anthocyanin | 0.432 | -0.450 | -0.869 | 0.540 | 1 | | | | |
| 类黄酮 Flavonoid | -0.329 | 0.845 | 0.531 | -0.836 | -0.098 | 1 | | | |
| 总酚 Total phenol | -0.555 | 0.922* | 0.808 | -0.916* | -0.469 | 0.864 | 1 | | |
| 苯丙氨酸解氨酶 Phenylalanine ammonia lyase | -0.426 | -0.145 | -0.172 | 0.245 | 0.873 | -0.483 | -0.204 | 1 | |
| 叶绿素酶 Chlorophyllase | 0.687 | -0.959* | -0.932* | 0.972** | 0.643 | -0.754 | -0.959* | 0.196 | 1 |

注: *在0.05水平(双侧)上显著相关; **在0.01水平(双侧)上极显著相关。

Notes: * meant significant correlation at the level of 0.05(bilateral); ** meant extremely significant correlation at the level of 0.01(bilateral).

3 结论与讨论

果实质地分析能多角度地反映果实物性特性^[17-19],果实细嫩酥脆多汁是玉露香梨的品质特性。但在冷藏过程中,玉露香梨果实衰老加剧,果实质地也不断变化,果皮硬度、果实脆性均呈下降趋势。测试方法及参数的差异使果实质构特性结果的呈现也不尽相同,但就硬度和脆性的变化趋势,与砂梨采后质地的变化趋势一致^[20],且果皮破裂力与果肉受力跌落的斜率表征脆性也较单纯依据破裂力表征脆性更客观^[21]。梨果肉细腻程度与石细胞团大小及密度以及其周围薄壁细胞结构等因素有关^[22-23]。玉露香梨石细胞少、果肉细腻是其品质的体现,但随着贮藏期的延长果肉匀质指数增加,本研究表明,相对于0℃贮藏,-1℃处理延缓了果皮硬度和脆性下降的同时,保持了果肉细腻的品质,推测与低温延缓薄壁细胞结构的变化有关^[24]。

果品的色泽由底色及面色共同决定,且随着果实成熟衰老,叶绿素的降解及其他色素组分的合成与积累、色泽发生着不同变化^[2,25]。玉露香梨采后

果实呈绿色,0℃下随贮藏时间的延长,果面色差L*值增加,H值下降。叶绿素合成速率减慢,其他色素合成增加,使得果实逐渐变为绿黄色至黄绿色^[26],果面的红晕也逐渐加深。果皮呈现红色的主要成分是花色苷的积累^[25,27],冰温通过抑制玉露香梨叶绿素降解酶及苯丙氨酸解氨酶活性的上升,从而抑制了叶绿素降解及花色苷累积,延缓了果实转黄的过程。相关性分析也表明,色度角H与类胡萝卜素、叶绿素酶分别呈极显著负相关和显著负相关;花色苷与苯丙氨酸解氨酶活性的相关性不显著。冯守千等^[28]在红色砂梨满天红的研究中发现,苯丙氨酸解氨酶与花色素苷合成的关系不密切。但黄春辉等^[29]研究认为,苯丙氨酸解氨酶与云红梨1号砂梨花色素苷合成的启动有关。刘清玮等^[30]对转色期至成熟期山桃稠李果实色泽的研究表明,总花色苷含量变化与苯丙氨酸解氨酶活性呈正相关,但其活性变化趋势与花色苷并不完全同步,推测与其他酶参与调节花色苷的合成有关。苯丙氨酸解氨酶活性与花色素苷关系的研究结果存在异同,推测可能与各品种呈色机理不同及果实成熟所处不同阶段有一定的关系,还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 郭黄萍,郝国伟,张晓伟,等. '玉露香梨'的性状表现与栽培贮藏保鲜技术[J]. 落叶果树, 2011, 43(5): 41-43.
GUO H P, HAO G W, ZHANG X W, et al. Character expression and cultivation, storage and preservation techniques of 'Yuluxiang pear'[J]. Deciduous Fruits, 2011, 43(5): 41-43.
- [2] 袁梓滢,尹保凤,邓丽莉,等. 果蔬采后色素物质代谢调控研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 236-244.
YUAN Z Y, YIN B F, DENG L L, et al. Advances in regulation of pigment metabolism in postharvest fruits and vegetables [J]. Food Science, 2016, 37(17): 236-244.
- [3] 贾敏,朱胜琪,王雅慧,等. 不同贮藏条件对芹菜叶绿素含量的影响及相关基因表达分析[J]. 农业生物技术学报, 2022, 30(6): 1078-1086.
JIA M, ZHU S Q, WANG Y H, et al. Effects of different storage conditions on the content of chlorophyll and expression analysis of related genes in celery (*Apium graveolens*) [J]. Journal of Agricultural Biotechnology, 2022, 30(6): 1078-1086.
- [4] 唐坚,马丽,王凯晨,等. 冰温贮藏对生菜抗氧化能力及贮藏效果的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(22): 255-259.
TANG J, MA L, WANG K C, et al. Effect of freezing-point storage on antioxidation capacity and preservation of postharvest lettuce[J]. Food Science, 2015, 36(22): 255-259.
- [5] 谢晓宇,张飞,石洁,等. 预冷处理结合低温贮藏对西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(7): 302-310.
XIE X Y, ZHANG F, SHI J, et al. Effect of pre-cooling treatment and low temperature storage on storage quality of broccoli [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(7): 302-310.
- [6] 李秀芳,杨拉弟,韩叶,等. 温度对采后'红富士'苹果果皮色泽、色素及其相关酶活性变化的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(5): 97-103.
LI X F, YANG L D, HAN Y, et al. Effects of temperature on peel color, pigments and activities of related enzymes of 'Red Fuji' apple during post-harvest storage[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2014, 23(5): 97-103.
- [7] 王震涛,兰海鹏,牛浩,等. 库尔勒香梨贮藏品质的量化评价方法[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 138-147.
WANG Z T, LAN H P, NIU H, et al. A method for the quantitative evaluation of storage quality of Korla fragrant pear[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 138-147.
- [8] 宋秀香,鲁晓翔,陈绍慧,等. 冰温贮藏对绿芦笋品质及酶活性的影响[J]. 食品工业科技, 2013, 34(11): 325-329.
SONG X X, LU X X, CHEN S H, et al. Effect of ice-temperature preservation on quality and enzymatic activity of green asparagus[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(11): 325-329.
- [9] 李庆鹏,李洋,霍若冰,等. 冰温状态下蓝莓质量损失率与质构参数变化规律及相关分析[J]. 林业科学, 2022, 58(8): 117-125.
LI Q P, LI Y, HUO R B, et al. Quality loss rate and change pattern of texture parameters of fresh blueberry under ice temperature and their correlation[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2022, 58(8): 117-125.
- [10] 张哲,陈佳楠,张志强,等. 冰温对葡萄质地结构参数及代谢速率的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(11): 47-52.
ZHANG Z, CHEN J N, ZHANG Z Q, et al. Effects of ice temperature storage on texture and metabolic rate of grape fruit[J]. Food Science and Technology, 2019, 44(11): 47-52.
- [11] 张微,赵迎丽,杨志国,等. 不同温度贮藏对隰县玉露香梨果实品质及叶绿素荧光参数的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(2): 236-242.
ZHANG W, ZHAO Y L, YANG Z G, et al. Effect of different temperature storage on fruit quality and chlorophyll fluorescence parameters of Yuluxiang pears in Xixian county[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2021, 49(2): 236-242.
- [12] 贾晓辉,张鑫楠,刘佰霖,等. 低 O₂/高 CO₂ 气调结合 1-MCP 对'玉露香'梨贮藏品质的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(23): 4717-4727.
JIA X H, ZHANG X N, LIU B L, et al. Effects of low oxygen/high carbon dioxide controlled atmosphere combined with 1-methylcyclopropene on quality of Yuluxiang pear during cold storage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(23): 4717-4727.
- [13] 赵迎丽,王亮,张微,等. 长短枝红富士苹果冰温贮藏期质构特性及品质变化[J]. 北方园艺, 2021(7): 104-109.
ZHAO Y L, WANG L, ZHANG W, et al. Texture characteristics and quality changes of long-short branch Red Fuji apple during ice temperature storage[J]. Northern Horticulture, 2021(7): 104-109.
- [14] XU D Y, ZUO J H, FANG Y L, et al. Effect of folic acid on the postharvest physiology of broccoli during storage[J]. Food Chemistry, 2021, 339: 127981.
- [15] 周鑫,张璇,周倩,等. 保鲜膜包装对西兰花采后花蕾黄化的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(13): 67-74.
ZHOU X, ZHANG X, ZHOU Q, et al. Effect of three preservative film packaging on postharvest broccoli yellowing[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(13): 67-74.
- [16] KOU X H, CHAI L P, YANG S, et al. Physiological and metabolic analysis of winter jujube after postharvest treatment with calcium chloride and a composite film[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2021, 101(2): 703-717.
- [17] 王磊明,李洋,张茜,等. 不同温度下蓝莓失重率和质构特性的相关性分析[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(5): 171-176.
WANG L M, LI Y, ZHANG Q, et al. Correlation analysis of weight loss and texture characteristics of blueberries at different temperatures[J]. Food Research and Development, 2018, 39(5): 171-176.
- [18] 潘好斌,刘东,邵青旭,等. 不同品种薄皮甜瓜成熟期果实质地品质分析及综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(21): 35-42.
PAN H B, LIU D, SHAO Q X, et al. Analysis and comprehensive evaluation of textural quality of ripe fruits from different varieties of oriental melon (*Cucumis melo* var. makuwa makino) [J]. Food Science, 2019, 40(21): 35-42.
- [19] 潘睿,薛忠,李海亮,等. 不同品种菠萝果皮穿刺力学特性研究[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2023, 43(4): 86-95.
PAN R, XUE Z, LI H L, et al. Study on mechanical properties of skin penetration for different pineapple varieties[J]. Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition),

- 2023,43(4):86-95.
- [20] 周慧娟,叶正文,曾思懿,等.砂梨品种果实冷藏期间质地及品质差异性评价[J].食品与机械,2023,39(1):125-131.
ZHOU H J, YE Z W, ZENG S Y, et al. Evaluation on fruit texture and quality of different pear varieties during cold storage[J]. Food & Machinery, 2023, 39(1): 125-131.
- [21] 高海生,贾艳茹,魏建梅,等.用物性分析仪检测鸭梨和京白梨果实采后质地的变化[J].园艺学报,2012,39(7):1359-1364.
GAO H S, JIA Y R, WEI J M, et al. Studies on the post-harvested fruit texture changes of 'Yali' and 'Jingbaili' pears by using texture analyzer[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(7): 1359-1364.
- [22] 徐钰清,田路明,曹玉芬,等.梨果肉质地及香气研究进展[J].果树学报,2023,40(4):757-770.
XU Y Q, TIAN L M, CAO Y F, et al. Research progress in flesh texture and aroma of pears[J]. Journal of Fruit Science, 2023, 40(4): 757-770.
- [23] 黄凯,王娟娟,刘汉云.不同品种梨果石细胞含量差异研究[J].山西农业科学,2017,45(2):191-193.
HUANG K, WANG J J, LIU H Y. Study on the difference of stone cells content in different pear varieties[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 45(2): 191-193.
- [24] 张敏欢,王倩倩,吴杰,等.不同贮藏期香梨果肉解剖结构的比较研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2020,38(1):26-30.
ZHANG M H, WANG Q Q, WU J, et al. A comparative study on the anatomical structure of Korla pear flesh in different storage periods[J]. Journal of Shihezi University(Natural Science), 2020, 38(1): 26-30.
- [25] 马策,肖长城,胡红菊,等.不同颜色果袋对'云红梨2号'果皮色泽形成的影响[J].应用生态学报,2014,25(3):813-818.
MA C, XIAO C C, HU H J, et al. Effect of bagging with different colors on the fruit coloration of 'Yunhongli No. 2' pear[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2014, 25(3): 813-818.
- [26] RODRIGO M J, ALQUÉZAR B, ALÓS E, et al. Biochemical bases and molecular regulation of pigmentation in the peel of citrus fruit[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 163: 46-62.
- [27] KOU X H, HE Y L, LI Y F, et al. Effect of abscisic acid (ABA) and chitosan/nano-silica/sodium alginate composite film on the color development and quality of postharvest Chinese winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.cv.Dongzao)[J]. Food Chemistry, 2019, 270: 385-394.
- [28] 冯守千,陈学森,张春雨,等.砂梨品种'满天红'及其芽变品系'奥冠'花青苷合成与相关酶活性研究[J].中国农业科学,2008,41(10):3184-3190.
FENG S Q, CHEN X S, ZHANG C Y, et al. A study of the relationship between anthocyanin biosynthesis and related enzymes activity in *Pyrus pyrifolia* 'Mantianhong' and its bud sports 'Aoguan'[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(10): 3184-3190.
- [29] 黄春辉,俞波,苏俊,等.'美人酥'和'云红梨1号'红皮砂梨果实的着色生理[J].中国农业科学,2010,43(7):1433-1440.
HUANG C H, YU B, SU J, et al. A study on coloration physiology of fruit in two red Chinese sand pear cultivars 'Meirensu' and 'Yunhongli No.1'[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(7): 1433-1440.
- [30] 刘清玮,赵权.山桃稠李果实成熟过程花色苷含量的变化[J].北方园艺,2017(11):40-43.
LIU Q W, ZHAO Q. Changes of anthocyanins content of *Prunus maackii* fruit during maturation[J]. Northern Horticulture, 2017(11): 40-43.