

# 冰温贮藏提高新鲜若羌冬枣的品质

胡慧慧, 张辉, 张文娜, 张建超

(新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 为探讨普通冷藏与冰温贮藏对枣果品质、抗病性的影响与差异, 试验以新疆若羌冬枣为实验材料, 采用普通冷藏与冰温贮藏两种方式, 研究其在贮藏过程中腐烂率、可溶性糖含量、苯丙氨酸解氨酶 (phenylalanine ammonia lyase, PAL)、几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶、丙二醛 (malondialdehyde, MDA)、脯氨酸含量的变化。结果表明: 冰温组较冷藏组减少了枣果的腐烂率达 37.84%, 减缓果实软化腐烂进程; 保持枣果可溶性糖含量, 使其在冰温贮藏 42 d 时达到 9.67%; 提高了抗病性酶类苯丙氨酸解氨酶、几丁质酶、 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶的酶活力, 加强苯丙烷代谢; 并且抑制丙二醛、脯氨酸含量的积累, 冰温贮藏使其在 42 d 的积累量分别减少了 56.26%, 13.33%。冰温贮藏的方式能提高保护酶及抗病酶活性, 增加抗病物质累积, 在一定程度上延缓果实成熟衰老, 延缓代谢, 提高了枣果实的抗病性及耐贮性。因此认为冰温贮藏优于普通冷藏。

**关键词:** 冬枣; 冰温贮藏; 生理特性

**文章编号:** 1673-9078(2020)03-106-112

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.014

## Improvement of Storage Characteristics of Xinjiang Fresh Jujube by Ice Temperature Preservation

HU Hui-hui, ZHANG Hui, ZHANG Wen-na, ZHANG Jian-chao

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** To investigate the effects of ordinary refrigeration and ice temperature storage on jujube fruit quality and disease resistance, Xinjiang RuoQiang Winter jujube was used as experimental material, and ordinary refrigeration and ice temperature storage were selected. The decay rate, soluble sugar content, phenylalanine ammonia-lyase (PAL), chitinase,  $\beta$ -1,3-glucanase, malondialdehyde (MDA), proline content of Xinjiang RuoQiang Winter jujube were detected. The results showed that the ice temperature group could reduce the decay rate to 37.84%, and slow down the softening and decay of the fruit. The soluble sugar content of jujube fruit reached 9.67% when stored at ice temperature for 42 days. The activities of disease-resistant enzymes such as phenylalanine ammonia-lyase, chitinase, and  $\beta$ -1,3-glucanase increased and phenylpropanoid metabolism was strengthened under ice temperature storage. Ice temperature storage could also inhibit the accumulation of malondialdehyde and proline content. Compared to the control, their accumulation after 42 days was reduced by 56.26% and 13.33%. The method of ice temperature storage could increase the activity of protective enzymes and anti-pathogenic enzymes, the accumulation of disease-resistant substances. It could delay the ripening and senescence of the fruit, their metabolism, resulting in improving the disease resistance and storability of the jujube fruit. In conclusion, ice temperature storage is superior to ordinary refrigeration in this work.

**Key words:** winter jujube; ice-temperature storage; physiological characters

引文格式:

胡慧慧,张辉,张文娜,等.冰温贮藏提高新鲜若羌冬枣的品质[J].现代食品科技,2020,36(3):106-112

HU Hui-hui, ZHANG Hui, ZHANG Wen-na, et al. Improvement of storage characteristics of Xinjiang fresh jujube by ice temperature preservation [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 106-112

冬枣(*Zizyphus Jujuba* Mill.)为鼠李科(*Rhamnaceae*)枣属(*Zizyphus*)植物, 枣果富含丰富的维生素 A、维生素 C、铁、钙、糖类、脂肪等营养物质, 以及含有对冠心病、心肌梗塞有显著疗效的环磷酸腺苷(cyclic adenosine monophosphate, cAMP)和环磷酸鸟苷(cyclic guanosine monophosphate, cGMP), 因此可以说枣具有很高的营养与药用价值<sup>[1-3]</sup>。冬枣因皮薄肉脆、口感风味极佳而深受消费者喜欢, 但同时由于其成熟度不一, 采收期短, 致使其在自然条件下贮藏易

收稿日期: 2019-09-27

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划 (17ZZ02DYFJH)  
作者简介: 胡慧慧 (1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏与物流工程

通讯作者: 张辉 (1964-), 女, 教授, 研究方向: 果蔬贮藏与物流工程

出现失水、腐烂、酒化等现象,而危害冬枣果实的侵染性病害如黑腐病,同样会造成冬枣的腐软和溃烂<sup>[4,5]</sup>,影响果实商品价值,是冬枣的销售过程中的极大阻碍。因此,研究冬枣的贮藏过程中抗病害、抗逆境胁迫能力,延长果实贮藏与货架寿命,为若羌冬枣贮藏特性的研究提供理论依据,已经变得刻不容缓。

冰温技术自日本山根博士发现以来,已经得到广泛的应用<sup>[6]</sup>。冰温贮藏就是将食品等放置在其冰温带(0℃以上,冰点以下的温度区域)内,保证细胞组织在活体状态下,这时因贮藏在冰点温度以内而不会破坏果蔬内部的细胞组织,且冰温能最大限制的抑制有害微生物的生长,延缓果肉贮藏期间营养成分的流失,保持果蔬口感风味,延长果蔬的保鲜期及产品货架期<sup>[7,8]</sup>;冰温贮藏属于冷藏中的一种,冷藏作为果蔬常用贮藏方法之一,在不适宜的低温下贮藏,部分热带及亚热带水果会发生细胞损伤、代谢紊乱等冷害现象<sup>[9]</sup>。目前冰温贮藏已经用于山楂<sup>[10]</sup>、雪莲果<sup>[11]</sup>、葡萄<sup>[12]</sup>、蓝莓<sup>[13]</sup>、西兰花<sup>[14]</sup>等多种果蔬的贮藏保鲜,在研究中发现,冰温贮藏较普通冷藏能有效减缓果蔬采后的成熟衰老、腐烂变质,抑制有害微生物的生长繁殖,提高果蔬的抗病性酶活性,从而提高果蔬抗性,延长贮藏运期<sup>[15]</sup>。虽然对冰温贮藏技术的研究已经涉及到较多方面,其中包括对河北黄骅冬枣<sup>[16]</sup>、山东滨州冬枣<sup>[17]</sup>的贮藏品质研究,发现冰温贮藏能有效延缓冬枣的腐烂,保持枣果的硬度,减少营养物质流失,但关于冰温贮藏对新疆鲜枣的抗病害研究却鲜少报道。本文以新疆若羌冬枣为材料,研究冰温贮藏与普通冷藏下枣果枣果抗病性酶类活性的变化,确定更为合理的贮藏方式,为有效延缓枣果成熟软化,降低生理病害,延长新疆若羌冬枣贮藏与货架期提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

#### 1.1.1 材料

若羌冬枣于2018年10月5日在新疆若羌县采摘,采摘要求为枣果大小、成熟度均一,无机械损伤,无病虫害,共约30 kg,采后置于0~1℃预冷24 h。

#### 1.1.2 仪器与设备

电子分析天平,华志科学仪器有限公司;电热恒温水浴锅,北京市永光明医疗仪器有限公司;752N紫外可见分光光度计,上海仪电分析仪器有限公司;D3024R高速低温离心机,北京科誉兴业科技发展有限公司;海尔电冰柜,海尔集团。

### 1.2 方法与处理

#### 1.2.1 冰点的测定

参考路贵龙<sup>[17]</sup>的方法,并略有修改。利用冰盐混合物(冰:氯化钠=5:1)对冬枣汁液进行冰点测定,绘制出冰点曲线,确定枣果冰点温度。

#### 1.2.2 处理

通过对若羌冬枣的冰点测定实验后,得出冰点温度为-2.5℃,为防止长时间放置在低温环境下发生冷害现象,特将冰温贮藏库温度设为(-1.0~-1.5)℃。将预冷后的枣果用保鲜盒分装,共装60盒,每盒约30个,重约470 g;将分装好的枣果分成两组,一组放置在(0~1℃)冷藏(CK),另一组放置(-1.0~-1.5)℃下进行冰温贮藏。每隔7 d取一次样,每次两种处理各取4盒,共取样7次;取出的样品先计算其中腐烂个数,后将完好果实切碎,液氮速冻后用10 mm×15 mm自封袋封装,放置-40℃低温冰箱保存;除腐烂率直接计数外,其余指标均用冻样所测;每项指标重复测定三次。

### 1.3 测试指标及方法

#### 1.3.1 腐烂率

随机抽选两种处理下的枣果各四盒,计算其中烂果数目,腐烂率则为腐烂个数与总个数之比。单位:%。

#### 1.3.2 可溶性糖含量

使用苯酚-硫酸法<sup>[18]</sup>对枣果的可溶性糖含量进行测定。单位:%。

#### 1.3.3 苯丙氨酸解氨酶活性

参考Liu等<sup>[19]</sup>方法,略加修改。将1 mL 0.02 mol/L-苯丙氨酸溶液分别加入0.5 mL酶提取液与失活酶提取液,在24℃恒温水浴锅中保温1 h后测量290 nm处的吸光度值。以每分钟吸光度值增加0.01为1个PAL活性单位(U),单位:U=0.01 ΔOD<sub>290</sub>/(min·g)。

#### 1.3.4 几丁质酶活性

参考Cao S<sup>[18,20]</sup>等的方法,并稍加修改。称取2.0 g样品,加入7 mL预冷提取缓冲液(含0.01 mol/L EDTA、0.05 mol/L β-巯基乙醇)在冰浴条件下研磨至匀浆,于4℃12000×g离心30 min,收集上清液即为酶的粗提液;取1 mL酶提取液,加入0.5 mL醋酸酸钠缓冲液(pH 5.0)、0.5 mL几丁质悬浮液,置于水浴(40℃)中保温2 h;保温结束后加入100 μL 1.0 mol/L盐酸溶液终止反应,离心,测反应液在550 nm处的吸光度值。一个单位的几丁质酶活性定义为催化1 nmol产物形成所需的酶量。

### 1.3.5 β-1,3-葡聚糖酶活性

参考 Cao S<sup>[18,20]</sup> 等方法,并稍加修改。取 0.5 mL 酶液加入 100 μL 昆布多糖溶液,在 37 °C 水浴中保温 40 min,保温结束后加入 2.0 mL 蒸馏水、1.0 mL 3,5-二硝基水杨酸试剂,置于沸水中煮沸 5 min 终止反应,测其在 540 nm 处吸光度值。此过程以每秒钟分解昆布多糖产生 1 mg 葡萄糖所需酶量为一个酶活力单位 (U)。

### 1.3.6 丙二醛含量

参考 Yuan 等<sup>[21]</sup>方法,略加修改。通过与 2-硫代巴比妥酸的显色反应测定 MDA 含量,并用公式:  $c=6.45 \times (OD_{532}-OD_{600})-0.56 \times OD_{450}$  消除果蔬组织可溶性糖类物质的影响。单位: μmol/g。

### 1.3.7 脯氨酸含量

使用酸性茚三酮法<sup>[22]</sup>,测定其 520 nm 处的吸光度值。单位: μg/g。

## 1.4 数据处理

利用 Excel 2010 对数据结果进行处理,同时用 SPSS 17.0 软件进行差异性分析 ( $p < 0.05$  表示差异显著)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 冰点的确定

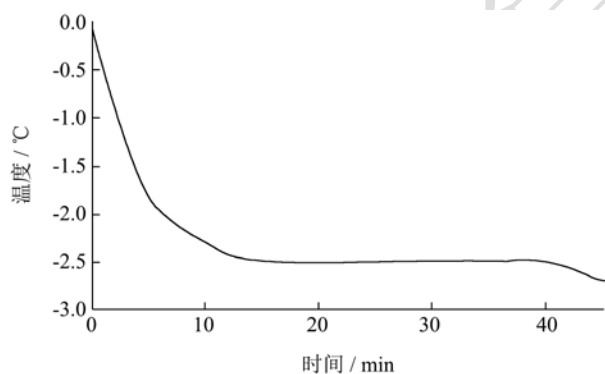


图 1 冬枣冰点曲线

Fig.1 Winter jujube freezing point curve

果蔬冰点 (freezing point) 是果蔬进行冰温实验的重要参数,由图 1 可知,前 10 min,冬枣浆液温度在快速下降,到 12 min 时,温度下降至最低为 -2.50 °C,之后下降趋势趋于平缓,并维持一段时间;后至 38 min 时,由于枣浆液开始结冰,使温度继续下降,由此确定若羌冬枣的冰点温度为 -2.50 °C。

### 2.2 冰温贮藏对枣果腐烂率的影响

判断枣果是否有食用价值与营养价值,最直观的

表现为观察枣果是否腐烂及腐烂个数的。有研究表明<sup>[23]</sup>:当果蔬在低温逆境的影响下,果实发生的冷害现象随温度越低发生的越早,且会造成果实的失水率、腐烂率增加。

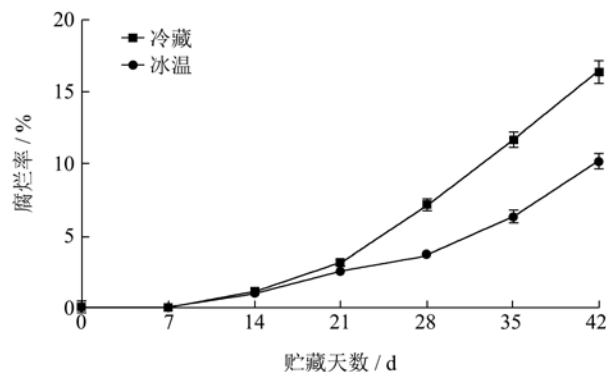


图 2 冰温贮藏对枣果腐烂率的影响

Fig.2 Effect of ice temperature storage on the decay rate of jujube fruit

由图 2 可知,在贮藏初期,普通冷藏与冰温贮藏的腐烂率相差不大,第 21 d,普通冷藏与冰温贮藏腐烂率分别为 3.22%、2.53%,随着贮藏天数的延长,普通冷藏的腐烂率要显著大于冰温贮藏 ( $p < 0.05$ );第 42 d,两种贮藏方式下的枣果的腐烂率达到最大值,其中普通冷藏的腐烂率最高上升到 16.36%,而冰温贮藏的腐烂率则为 10.17%,由此对比,可得出冰温贮藏的方式较普通冷藏能有效延缓的枣果腐烂,在一定程度上抑制了腐烂真菌的生长和繁殖。

### 2.3 冰温贮藏对枣果可溶性糖含量的影响

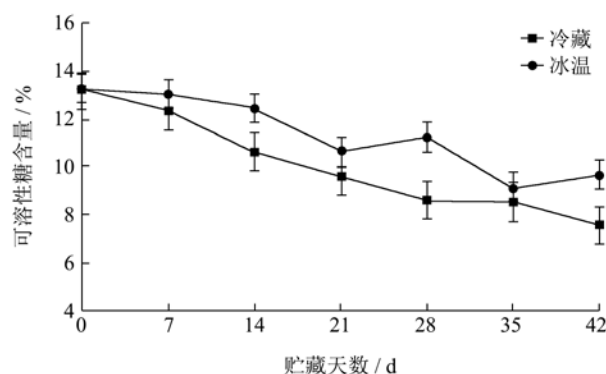


图 3 冰温贮藏对枣果可溶性糖含量的影响

Fig.3 Effect of ice temperature storage on soluble sugar content of jujube fruit

冬枣可溶性糖含量的高低直接影响了枣果的口感与风味,贮藏初期枣果的可溶性糖含量很高,随着贮藏时间的延长,糖含量呈逐渐下降趋势;郭衍银<sup>[24]</sup>等将冬枣在不同冻藏温度下贮藏,发现其含量在九个月内最低下降了 4.8%,最高可下降达 56.36%。由图 3 可知,两种贮藏方式枣果的可溶性糖含量均在不断下

降,其中冰温组可溶性糖含量下降速度要略低于普通冷藏组,下降率分别减少 3.53%、5.71%,且在整个贮藏过程中,前者的糖含量要大于后者 ( $p<0.05$ )。

## 2.4 冰温贮藏对枣果 PAL 活性的影响

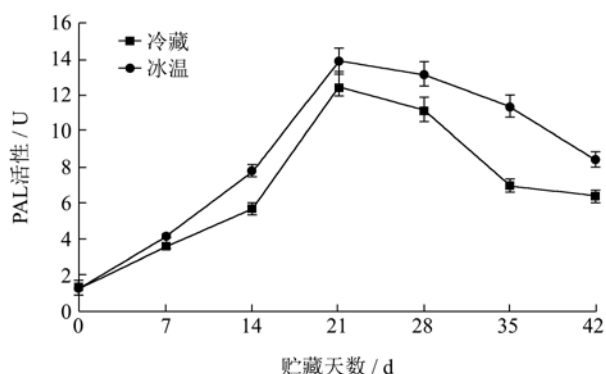


图 4 冰温贮藏对枣果 PAL 活性影响

Fig.4 Effect of ice temperature storage on PAL activity of jujube fruit

PAL 是参与苯丙烷代谢的一种非常重要的酶类<sup>[25]</sup>,有研究表明<sup>[26,27]</sup>:当甜瓜、番茄受病菌侵染时,果实 PAL 活性较对照组分别高 33.26%、25.30%。说明病原菌侵染能诱导 PAL 活性升高来抵御侵染,从而抑制病原微生物生长繁殖,提高果蔬的抗病性,减少果实腐烂变质,延长贮藏时间。这与本研究结果一致,由图 4 可知,在整个贮藏期间,普通冷藏与冰温贮藏下枣果的 PAL 活性变化趋势一致,均呈现先升高后下降的趋势,冰温贮藏组果实 PAL 活性始终高于普通冷藏组,差异显著 ( $p<0.05$ )。在枣果贮藏前 7 d,其 PAL 活性均无明显差异,从贮藏第 7~21 d,两种贮藏方式下 PAL 活性均在快速上升,且在 21 d 时到达峰值,且冰温组比对照组高出 10.30%;贮藏 21~42 d,枣果 PAL 活性均呈缓慢下降趋势,冰温贮藏组 PAL 活性整体仍高于普通冷藏组,说明冰温贮藏能诱导枣果实 PAL 活性的升高,增强苯丙烷代谢以抵御病原微生物的侵染,为提高果实的抗病能力提供条件。

## 2.5 冰温贮藏对枣果几丁质酶活性的影响

几丁质酶能有效降解以几丁质为主要成分的真菌细胞壁,且同  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶作用时,能抑制真菌的生长繁殖,当果蔬组织受到病原菌侵染时,能诱导果蔬几丁质酶、葡聚糖酶活性升高,以抵抗外界环境对植物体的不良刺激,提高果蔬采后抗病性,抑制病害的发生<sup>[28,29]</sup>。由图 5 可知,普通冷藏与冰温贮藏下枣果的几丁质酶活性均呈上升趋势,而冰温组上升速率略大于对照冷藏组 ( $p<0.05$ ),在贮藏 42 d 时酶活性达到最大值,且比同期对照组高 24.42%,说明冰温贮

藏环境诱导果实抗病性酶类活性增加。

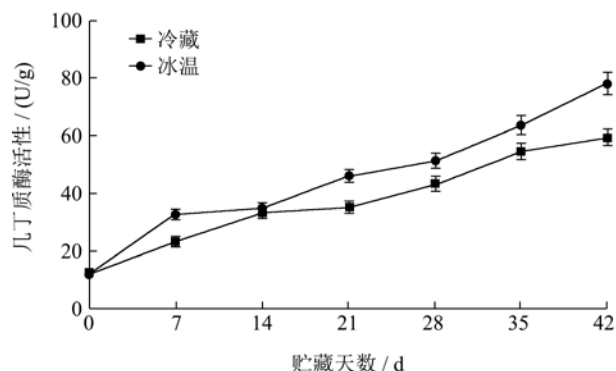


图 5 冰温贮藏对枣果几丁质酶活性的影响

Fig.5 Effect of ice temperature storage on chitinase activity of jujube fruit

## 2.6 冰温贮藏对枣果 $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的影响

响

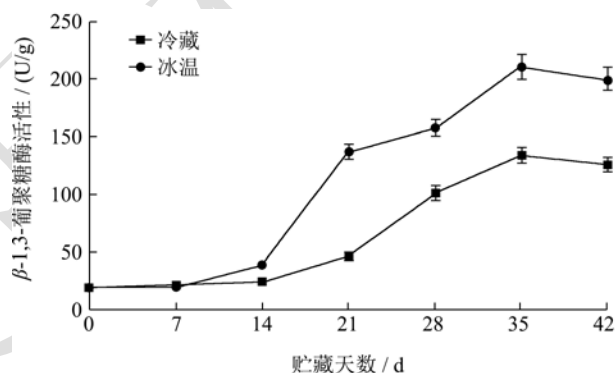


图 6 冰温贮藏对枣果  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性的影响

Fig.6 Effect of ice temperature storage on  $\beta$ -1,3-glucanase activity of jujube fruit

由图 6 可知,两种贮藏方式下枣果的  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性都呈上升趋势,在贮藏前期, $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性处在较低的水平,而随着贮藏天数的增加,其酶活性越来越大,其中冰温贮藏下的  $\beta$ -1,3-葡聚糖酶活性上升速度较快 ( $p<0.05$ ),而普通冷藏下的酶活性则是缓慢上升,贮藏 35 d 时,酶活性到达峰值,冰温组在 14~21 d 的上升率达到了 71.12%,对照冷藏组最高上升率在 21~28 d 为 54.11%。

## 2.7 冰温贮藏对枣果 MDA 含量的影响

MDA 是细胞膜脂质过氧化的主要产物之一,当果蔬组织遭受冷害、病害等逆境胁迫时,细胞膜脂过氧化程度增加,细胞膜透性增加,从而造成丙二醛含量的积累<sup>[30]</sup>。唐坚<sup>[31]</sup>等研究生菜的贮藏特性时发现,较于传统冷藏,冰温贮藏有效降低 MDA 积累的速度,在贮藏第 15 d 时其 MDA 含量比低温组低

41.00%，这与本研究结果一致。由图7可知，在贮藏期间，不论是普通冷藏还是冰温贮藏，枣果的MDA含量都呈上升趋势，并随着贮藏时间的延长，MDA含量在不断累积，其中普通冷藏下枣果的MDA积累速度较冰温贮藏组的更快，且差异显著 ( $p < 0.05$ )，最高积累上升率达到了52.07%，而冰温贮藏下的MDA增长趋势趋于平缓，21~42 d MDA的上升率为37.46%。由此表明，冰温贮藏可显著抑制枣果实MDA含量的升高。

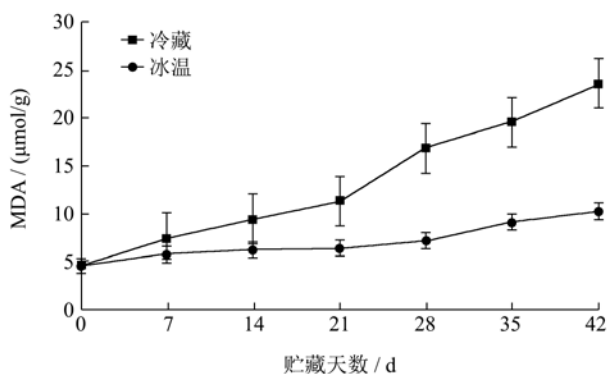


图7 冰温贮藏对枣果MDA含量的影响

Fig.7 Effect of ice temperature storage on the content of malondialdehyde in jujube

## 2.8 冰温贮藏对枣果脯氨酸含量的影响

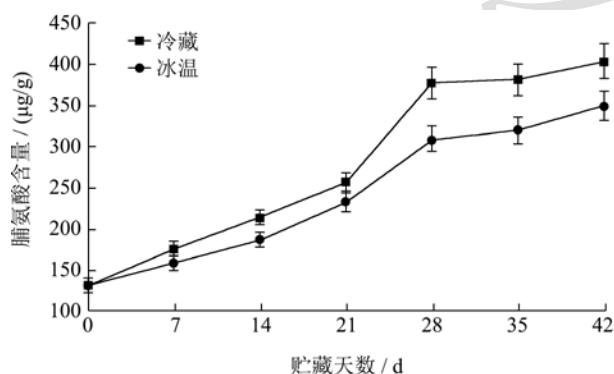


图8 冰温贮藏对枣果脯氨酸含量的影响

Fig.8 Effect of ice temperature storage on proline content of jujube fruit

脯氨酸是植物细胞中水溶性最大的氨基酸，是植物蛋白质组分之一，能在一定程度上反映植物的抗性，随着贮藏时间的延长，脯氨酸含量呈上升趋势。有研究表明<sup>[32]</sup>：用防裂剂处理过的枣果在贮藏45 d内，其脯氨酸含量从为22.285 μg/g到329.187 μg/g；这与本研究结果一致，由图8可知，两种贮藏方式下枣果的脯氨酸含量都呈现逐渐上升趋势，其中普通冷藏下的枣果脯氨酸含量增长速度明显快于冰温贮藏 ( $p < 0.05$ )，普通冷藏下的枣果脯氨酸含量在14~28 d中增长最快，上升率达到了43.51%，在42 d脯氨酸

含量最高为403.16 μg/g，而冰温贮藏在14~28 d中的脯氨酸上升率为39.64%，含量最高为349.43 μg/g。

## 3 结论

综上所述，在对冬枣抗逆境胁迫研究中发现：与普通冷藏相比，冰温贮藏能有效控制枣果的软化，降低枣果的腐烂率，有利于提高冬枣的贮藏特性；此外，在整个贮藏期间，冰温贮藏下枣果的抗病性酶类，即PAL、几丁质酶、β-1,3-葡聚糖酶活性都有显著提高，能并保持了可溶性糖的含量，抑制脯氨酸、丙二醛含量积累，这些结果表明：冰温贮藏能提高保护酶及抗病酶活性，增加抗病物质累积，保持细胞膜结构完整性，从而延迟果实成熟衰老，延缓代谢，维持细胞膜完整性，增强枣果抗病能力，提高果实耐储存特性，延长贮藏保鲜期。

## 参考文献

- [1] 支欢欢,董宇,张丽华,等.CaCl<sub>2</sub>对采后不同成熟度冬枣抗氧化及细胞壁代谢的影响[J].现代食品科技,2016,32(4):75-80  
ZHI Huan-huan, DONG Yu, ZHANG Li-hua, et al. Effect of CaCl<sub>2</sub> treatment on antioxidant capacity and cell wall metabolism of post-harvest jujube fruits at different maturity stages [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(4): 75-80
- [2] LI Jin-wei, FAN Liu-ping, DING Shao-dong, et al. Nutritional composition of five cultivars of Chinese jujube [J]. Food Chemistry, 2007, 103(2): 454-460
- [3] Siriamoompun S, Weerapreeyakul N, Barusux S. Bioactive compounds and health implications are better for green jujube fruit than for ripe fruit [J]. Journal of Functional Foods, 2015, 12: 246-255
- [4] 杨天顺.冬枣的主要病害及防治技术[J].果农之友,2018,6: 36-37  
YANG Tian-shun. Main diseases and control techniques of winter jujube [J]. Friends of Fruit Farmers, 2018, 6: 36-37
- [5] 宋聪,黄亚丽,谢晨星,等.河北省冬枣黑斑病原菌的分离鉴定及生物防治初探[J].微生物学杂志,2016,36(5):85-89  
SONG Cong, HUANG Ya-li, XIE Chen-xing, et al. Isolation and identification of the pathogen causing black spot disease in dongzao fruits and study on the biocontrol [J]. Journal of Microbiology, 2016, 36(5): 85-89
- [6] 彭丹,邓洁红,谭兴和,等.冰温技术在果蔬贮藏中的应用研究进展[J].包装与食品机械,2009,27(2):38-43  
PENG Dan, DENG Jie-hong, TAN Xing-he, et al. Research progress of controlled freezing point technology on the

- storage of fruits and vegetables [J]. Packaging and Food Machinery, 2009, 27(2): 38-43
- [7] GOFF D H. Low-temperature stability and the glassy state in frozen foods [J]. Food Research International, 1992, 25(4): 317-325
- [8] 鲁晓翔,张平,王世军.果蔬冰温贮藏及其关键技术研究进展[J].保鲜与加工,2010,10(6):1-5  
LU Xiao-xiang, ZHANG Ping, WANG Shi-jun. Research progress of controlled freezing-point storage and its key technology of fruits and vegetables [J]. Storage and Process, 2010, 10(6): 1-5
- [9] 林彬,刘译蔓,孙钧政,等.果蔬冷害化学控制技术研究进展[J].包装与食品机械,2016,34(4):56-60,69  
LIN Bin, LIU Yi-man, SUN Jun-zheng, et al. Research advances in chemical technologies of controlling chilling injury for cold-stored fruits and vegetables [J]. Packaging and Food Machinery, 2016, 34(4): 56-60, 69
- [10] 王亮,张新究,赵迎丽,等.1-甲基环丙烯和乙烯吸收剂结合冰温贮藏对山楂果实品质的影响[J].食品科学,2018,39(23): 243-249  
WANG Liang, ZHANG Xin-xian, ZHAO Ying-li, et al. Effect of treatment with 1-methylcyclopropene or ethylene absorbent on the quality of hawthorn fruits during controlled freezing-point storage [J]. Food Science, 2018, 39(23): 243-249
- [11] 刘帅,邓洁红,敬小波,等.冰温贮藏对雪莲果品质影响的研究[J].食品工业科技,2014,35(21):346-350  
LIU Shuai, DENG Jie-hong, JING Xiao-bo, et al. Study on influence of ice-temperature storage on yacon quality [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(21): 346-350
- [12] 李江阔,张鹏,关筱歆,等.1-MCP 结合 ClO<sub>2</sub> 处理对冰温贮藏红提葡萄生理品质的影响[J].食品科学,2012,33(22):302-307  
LI Jiang-kuo, ZHANG Peng, GUAN Xiao-xin, et al. Effect of 1-MCP treatment coupled with ClO<sub>2</sub> on postharvest quality and physiology of red globe grapes during freezing-point storage [J]. Food Science, 2012, 33(22): 302-307
- [13] 于继男,薛璐,鲁晓翔,等.温度驯化对蓝莓冰温贮藏期间生理品质变化的影响[J].食品科学,2014,35(22):265-269  
YU Ji-nan, XUE Lu, LU Xiao-xiang, et al. Effect of cold acclimation on quality of blueberry fruits during ice-temperature storage [J]. Food Science, 2014, 35(22): 265-269
- [14] 高雪,杨绍兰,王然,等.近冰温贮藏对鲜切西兰花保鲜效果的影响[J].中国食品学报,2013,13(8):140-146  
GAO Xue, YANG Shao-lan, WANG Ran, et al. Effect of near-ice temperature storage on fresh-keeping effect of fresh-cut broccoli [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(8): 140-146
- [15] GUO Li, MA Ying, SUN Dawen, et al. Effects of controlled freezing-point storage at 0 °C on quality of green bean as compared with cold and room-temperature storages [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 86(1): 25-29
- [16] 宋健飞,刘斌,吴子健,等.冰温及冰温气调贮藏对冬枣品质的影响[J].制冷学报,2016,37(5):70-74  
SONG Jian-fei, LIU Bin, WU Zi-jian, et al. Effect of ice temperature and air controlling ice temperature (ACIT) on quality of winter jujube [J]. Journal of Refrigeration, 2016, 37(5): 70-74
- [17] 路贵龙,杨绍兰,张新富,等.冰温和自发气调袋贮藏对冬枣质构及生理特性的影响[J].现代食品科技,2014(8):219-224  
LU Gui-long, YANG Shao-lan, ZHANG Xin-fu, et al. Effect of ice-temperature storage and modified atmosphere packaging on the texture and physiological characteristics of winter jujube [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 8: 219-224
- [18] 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  
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Physiological and Biochemical Experiment Guidance for Postharvest Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [19] LIU Hong-xia, JIANG Wei-bo, BI Yang, et al. Postharvest BTH treatment induces resistance of peach (*Prunus persica* L. cv. Jiubao) fruit to infection by *Penicillium expansum* and enhances activity of fruit defense mechanisms [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(3): 263-269
- [20] CAO Shi-feng, ZHENG Yong-hua. Effect of 1-methylcyclopropene on anthracnose rot caused by *Colletotrichum acutatum* and disease resistance in loquat fruit [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2010, 90(13): 2289-2294
- [21] YUAN Gao-feng, SUN Bo, YUAN Jing, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on shelf life, visual quality, antioxidant enzymes and health-promoting compounds in broccoli florets [J]. Food Chemistry, 2010, 118(3): 774-781
- [22] Meda A, Lamien C E, Romito M, et al. Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina

- Fasan honey, as well as their radical scavenging activity [J]. Food Chemistry, 2005, 91(3): 571-577
- [23] 朱赛赛.热激处理对西葫芦低温逆境冷害的影响及组织传热初步分析[D].上海:上海海洋大学,2017:22-31.  
ZHU Sai-sai. Effects of heat shock treatments on lowtemperature adversity chilling injury of *Cucurbita pepo* and preliminary analysis of tissue heat transfer [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017: 22-31
- [24] 郭衍银,孙薇,赵向东,等.不同冻藏温度对速冻冬枣品质的影响[J].安徽农业科学,2008,36(19):8290-8292  
GUO Yan-yin, SUN Wei, ZHAO Xiang-dong, et al. Effect of different frozen storage temperature on quality of quick-frozen winter jujube [J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2008, 36(19): 8290-8292
- [25] 丁薪源,王睿,袁树枝,等.冬枣果实苯丙氨酸解氨酶酶学特性的研究[J].食品科技,2015,40(2):24-30  
DING Xin-yuan, WANG Rui, YUAN Shu-zhi, et al. Characteristics of phenylalanine ammonia-lyase from dongzao jujube fruit [J]. Food Science and Technology, 2015, 40(2): 24-30
- [26] 张培岭,白羽嘉,马玲,等.采后链格孢侵染对甜瓜果实苯丙烷代谢的影响[J].保鲜与加工,2018,18(6):1-6,12.  
ZHANG Pei-ling, BAI Yu-jia, MA Ling, et al. Effects of postharvest alternaria alternate infection on phenylpropanoid metabolism in muskmelon fruit [J]. Storage and Process, 2018, 18(6): 1-6, 12
- [27] 季娜娜,闵德栋,李富军,等.一氧化氮合酶途径在精氨酸诱导番茄果实采后抗病性中的作用[J].食品科学,2018,39(1): 250-257  
JI Na-na, MIN De-dong, LI Fu-jun, et al. Role of nitric oxide synthase pathway in arginine-induced disease resistance in postharvest tomato fruit [J]. Food Science, 2018, 39(1): 250-257
- [28] Obianom C, Romanazzi G, Sivakumar D. Effects of chitosan treatment on avocado postharvest diseases and expression of phenylalanine ammonia-lyase, chitinase and lipoxygenase genes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 147: 214-221
- [29] 王瑞,杨君,杨青. $\beta$ -1,3-葡聚糖酶的结构与催化性质研究进展[J].食品工业科技,2017,14: 324-330  
WANG Rui, YANG Jun, YANG Qing. Progress in the structure and catalytic mechanism of  $\beta$ -1,3-glucanases [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 14: 324-330
- [30] 王志昊,叶冬梅,何炎红,等.5种沙生植物丙二醛、脯氨酸和2种氧化物酶比较[J].分子植物育种,2018,11:3727-3731  
WANG Zhi-hao, YE Dong-mei, HE Yan-hong, et al. Comparison of the content of MDA, proline and activity of two kinds of enzyme in 5 common desert plants [J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 11: 3727-3731
- [31] 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 Jian, MA Li, WANG Kai-chen, et al. Effect of freezing-point storage on antioxidation capacity and preservation of postharvest lettuce [J]. Food Science, 2015, 36(22): 255-259
- [32] 丁改秀,王保明,安晓宁,等.新型生物防裂剂对枣果实抗氧化酶系统活性及脯氨酸含量的影响[J].山西农业科学,2017, 12:39-41,48  
DING Gai-xiu, WANG Bao-ming, AN Xiao-ning, et al. Effects of the new biological crack inhibitor on antioxidant enzyme system activity and proline content of huping jujube [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 12: 39-41, 48

---

(上接第 47 页)

- [44] Selomulyo V O, Zhou W. Frozen bread dough: Effects of freezing storage and dough improvers [J]. Journal of Cereal Science, 2007, 45(1): 1-17
- [45] Campbell G M, Herrero-Sanchez R, Payo-Rodriguez R, et al. Measurement of dynamic dough density and effect of surfactants and flour type on aeration during mixing and gas retention during proofing [J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(3): 272-277