

不同温度差压预冷及其对西葫芦冷藏效果的影响

季丽丽¹, 梁芸志¹, 陈存坤², 董成虎², 于晋泽², 纪海鹏², 王成荣^{1*}

(1. 青岛农业大学食品科学与工程学院, 青岛 266109; 2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要: 为了延长西葫芦的采后保鲜期和减少营养物质的损耗, 本文以西葫芦 (*Cucurbita pepo*L) 为试材, 比较了不同预冷温度对西葫芦预冷后的冷藏效果, 分别置于-3、0、3和6℃差压冷库中, 预冷到10℃, 然后在10℃条件下冷藏。期间每4d取一次样, 测定其各项指标。结果表明: 6℃预冷速度最慢, 0和3℃快于6℃, -3℃预冷速度最快。与冷藏前相比, 冷藏结束(16d)时, 0和3℃预冷组的丙二醛含量分别上升了66.76%、71.63%, 显著($P<0.05$)低于其他2个处理; 4个组(分别为-3、0、3和6℃预冷组)的硬度分别下降了9.89%、7.46%、7.89%和11.19%; CAT活性分别为16.25、19.79、17.58和16.63 U/min·g; 各组的维生素C含量分别下降了32.61%、20.65%、26.09%和30.87%; 香气成分中醛类相对含量分别为69.94%、76.33%、71.47%和70.97%。与-3和6℃预冷相比, 0和3℃预冷处理能够显著的延缓硬度的下降, 降低呼吸速率和乙烯的释放量, 因此能延缓西葫芦的采后衰老和延长货架期; 并抑制了丙二醛的积累, 减少组织损伤且抗坏血酸过氧化物酶活性和过氧化物酶的活性也受到抑制, 提高了过氧化氢酶活性, 因而可以降低活性氧伤害; 并保持了较高的香气成分含量, 而-3和6℃预冷的西葫芦在冷藏后期的呼吸强度及抗坏血酸过氧化物酶活性迅速升高, 且-3℃的预冷处理使得西葫芦在之后的冷藏过程中出现了明显的冷害现象, 即表皮长斑。因此0和3℃差压预冷对西葫芦的冷藏效果较好, 研究结果为西葫芦采后冷链技术的发展提供了参考。

关键词: 冷藏; 温度; 维生素; 西葫芦; 差压预冷

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.01.039

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2018)-01-0287-07

季丽丽, 梁芸志, 陈存坤, 董成虎, 于晋泽, 纪海鹏, 王成荣. 不同温度差压预冷及其对西葫芦冷藏效果的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(1): 287-293. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.01.039 <http://www.tcsae.org>
Ji Lili, Liang Yunzhi, Chen Cunkun, Dong Chenghu, Yu Jinze, Ji Haipeng, Wang Chengrong. Forced-air pre-cooling of different temperatures and its effects on cold storage of *Cucurbita pepo*[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(1): 287-293. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.01.039 <http://www.tcsae.org>

0 引言

预冷可降低果蔬采后呼吸强度^[1], 抑制酶活性和乙烯的释放, 降低果蔬生理代谢水平, 减少生理病害^[2]。差压预冷预冷速度快, 预冷均匀度高^[3], 其原理是: 在差压风机的作用下, 冷风均匀、低速地流经包装物料箱内的果蔬表面, 形成温度梯度差, 果蔬内部的田间热传导至表面, 被冷风流体热带走, 进入差压通道内的空气经差压风机回抽至换热间, 与冷风机实现热交换, 在冷风机内的冷媒吸收热量后进入制冷机组进行压缩制冷, 在热交换室内形成的冷凝水由冷凝水排管排出, 液态冷媒循环进入冷风机制冷, 通过冷媒实现预冷机与环境的热交换,

从而实现系统的制冷循环, 通过加湿器实现预冷间内的空气保持一定的湿度, 避免果蔬在预冷过程中的水分过度散失, 最终达到果蔬表面与质心温度一致^[4]。

Qiang Han等^[5]的研究结果表明预冷结合臭氧处理可有效延缓桑葚硬度的降低并抑制呼吸作用和多酚氧化酶活性。郑先章等^[6]对采后生鲜双孢蘑菇进行了真空和减压预冷试验。结果表明减压冷藏的双孢蘑菇整体洁白, 无变色、开伞及萎蔫, 与试验前感官几乎无异, 保鲜效果理想。Justin L. O'Sullivan^[7]等针对园艺产品进行了差压预冷条件的研究, 学者们还进行苹果^[8]、荔枝^[9]、黄秋葵^[10]、李果实^[11]、澳芒^[12]和韭菜^[13]等果蔬的预冷研究, 但以上预冷的研究大都局限于对果蔬的感官评定和常规指标如可滴定酸等的影响。

然而对西葫芦进行不同温度差压预冷效果的研究尚未见报道, 因此本试验选用差压预冷方式, 研究不同温度差压预冷对西葫芦的冷藏效果, 以期对西葫芦冷链技术的完善提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试剂

西葫芦(亚历山大, 八成熟)采自河北青县, 直接

收稿日期: 2017-08-08 修订日期: 2017-11-21

基金项目: 山东省农业重大应用技术创新项目子课题(SDNYCX-2015-ZD06-02); 山东省现代蔬菜产业技术体系(SDAIT-05-21); 国家星火计划重点项目(2015GA610006); 天津市农业科技成果转化与推广项目(201502030、201602090、201701100); 贵州省科技计划项目(黔科合成果[2016]4035号)。

作者简介: 季丽丽, 研究方向为农产品加工及贮藏工程,

Email: 3555606632@qq.com。

*通信作者: 王成荣, 教授, 研究方向为农产品加工及贮藏工程,

Email: qauwcr@126.com。

运送至实验室进行处理。

硫代巴比妥酸；磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾；三氯乙酸、聚乙二醇 6000、聚乙烯吡咯烷酮、愈创木酚、乙二胺四乙酸、Triton-100、丙酮、浓盐酸，30%过氧化氢；抗坏血酸；氢氧化钠

1.2 仪器与设备

高湿度果蔬差压制冷一体化预冷机(图1)，国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)自制，蒸发器换热面积 160 m^2 ，预冷风速 $4\sim 6\text{ m/s}$ ，功率 2.2 kW ，风量 $20\ 000\text{ m}^3/\text{h}$ ，单次预冷时间不超过 6 h ；单机单批次处理量可达 5 t ，日处理能力为 $20\sim 30\text{ t}$ ；预冷期间果蔬失重率低于 2.8% 。

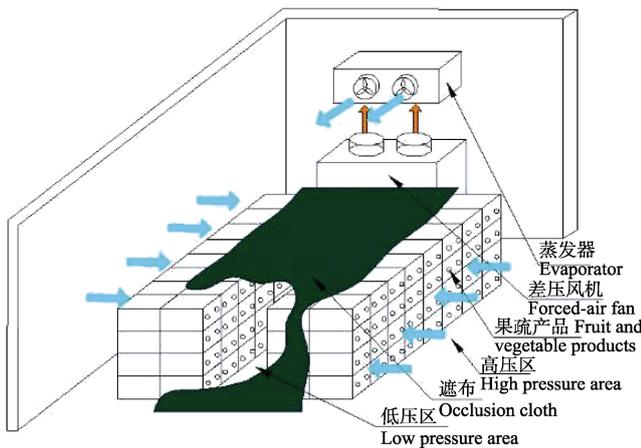


图1 果蔬差压预冷机结构简图

Fig.1 Structural diagram of high-humidity forced-air precooling machine of fruits and vegetables

香山 SENSSUN 电子秤(上海菁海仪器有限公司)；3-30K 高速冷冻离心机(德国 Sigma 公司)；TA.XT.Plus 物性仪(英国 SMS 公司)；GMK-835N 酸度测定仪(韩国 G-WON 公司)；UV-1780 紫外可见分光光度计(日本岛津公司)；PBI Dansensor 残氧仪(丹麦丹圣公司)；岛津 2010 气相色谱仪(日本岛津公司)；SSN-22 温湿度记录仪(深圳宇问公司)；Trace DSQ GC-MS 气相色谱-质谱联用仪(美国 Thermo 公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 样品前处理

挑选出大小一致、成熟度均匀、无病虫害和机械伤的西葫芦，在差压冷库进行预冷处理。每筐的试样质量为 6 kg ，预冷结束后，用微孔袋包装并扎口，放入 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 的普通冷库中冷藏。冷藏期间每 4 d 取 1 次样，每个处理重复测定 3 次，并取平均值。

码放规则：基本要求是物料侧要充实，顶面和后面要盖严实，目的是保证风从侧面进，经过物料，从而实现物料的快速降温，为保证预冷效率均一，将物料装入带孔塑料箱并将垛码成 4 层 2 列，单次处理为 24 箱。

1.3.2 测定项目

降温曲线：使用 SSN-22 温湿度记录仪，探针插入果实内部，记录西葫芦中心温度的变化，达到 $10\text{ }^\circ\text{C}$ 后取下温度计，用电脑导出数据，然后用 Origin8.5 软件做出预冷降温曲线。

呼吸速率(respiration rate)：参考曹建康^[14]的方法，用静置法测定呼吸强度。

$$Q = \frac{1960 VN}{mt} \quad (1)$$

式中 Q 为呼吸强度， $\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ ； N 为二氧化碳体积分数，%； V 为容器体积(干燥器体积-果实体积)， L ； m 为样品质量， kg ； t 为放置时间， h ； 1.96 为标况下 CO_2 的摩尔质量与摩尔体积之比。

乙烯生成速率(ethylene production rate)：取样方法同上。放置 3 h ，然后用玻璃针管抽取气体 20 mL ，每个处理抽取 3 管，用岛津 2010 气相色谱仪测定。采用面积外标法计算，

$$Q = \frac{VN}{20 mt} \quad (2)$$

式中 Q 为乙烯的生成速率， $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ ； V 为容器体积(干燥器体积-果实体积)， L ； N 为乙烯的体积分数， $\mu\text{L}/\text{L}$ ； m 为试样质量， kg ； t 为闷罐时间， h 。

失重率：每个温度设置 3 个平行，利用电子秤称量，测定预冷前后及贮藏过程中的失重率，单位为%。

硬度(firmness)：利用 P/2 柱头($\Phi=2.0\text{ mm}$)对西葫芦进行穿刺测试，测前速率为 5.0 mm/s ，测试速率为 2.0 mm/s ，穿刺深度为 10.0 mm ，重复测定 6 次并取得平均值，单位为 N 。

维生素 C(vitamin C, VC)含量：参考马宏飞^[15]的方法测定，定容体积为 25 mL ，单位为 $\text{mg}/100\text{ g}$ 。

叶绿素(chlorophyll)含量：参考曹建康^[14]的方法，并稍作修改。用丙酮为参比调 0 ，测定其在 652 nm 处的吸光度值，重复 3 次，取平均值。叶绿素含量单位为 mg/g 。

丙二醛(malonaldehyde, MDA)含量：参考曹建康^[14]等的方法(称取样品为 5 g ，加入 TCA 的体积为 10 mL)。测定其在 450 ， 532 和 600 nm 处的吸光值，重复测定 3 次，取平均值，MDA 含量单位是 $\mu\text{mol}/\text{g}$ 。

过氧化物酶(peroxidase, POD)活性：参考曹建康^[14]等的方法测定，并稍作修改。POD 酶活性以每克样品(鲜重)每分钟吸光度变化值增加 1 时为 1 个过氧化物酶活性单位，为 $\text{U}/(\text{min}\cdot\text{g})$ 。

过氧化氢酶(catalase, CAT)和抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的测定：参考曹建康^[14]等的方法测定，CAT 与 APX 活性都以每克样品(鲜重)每分钟吸光度变化减少 0.01 为 1 个酶活性单位， $\text{U}/(\text{min}\cdot\text{g})$ 。

香气成分(aroma component)的测定：采用 HS-SPME 和 GC-MS 联用法测定西葫芦香气成分，用相对峰面积含量表示，单位为%。

1.3 数据分析

使用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理和方差分析， $P<0.05$ 表示差异显著。所有试验均重复 3 次，使用 Origin8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同温度预冷对预冷相关指标的影响

从图 2a 可以看出， 4 种预冷温度下，预冷温度越低，

果实中心温度下降越快。其中预冷温度为 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，达到目标温度用时最短，而 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷速度最慢。由此可见，预冷库的温度越低越有利于缩短预冷时间，提高预冷效率。

从图 2b 可以看出，预冷温度越高，失重率越高。本试验各处理组的失重率都不超过 0.75 %。且 -3 、 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷处理的失重率在冷藏第 4、8 和 12 天并不存在显著性差异 ($P>0.05$)。 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷的失重率在整个过程一直处于较高水平。

不同温度预冷对硬度的影响见图 2c，各处理组的硬度呈现逐渐下降的趋势。推测是因为原果胶逐渐转化为果胶和果胶酸等可溶性果胶，使得果实变软^[16]。其中 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷处理的硬度一直处于较高水平，并在第 12 和 16 天，与 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷之间无显著性差异 ($P>0.05$)，说明 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 差压预冷可有效抑制呼吸作用，减少质构成分的损失，使得硬度变化缓慢^[17]。

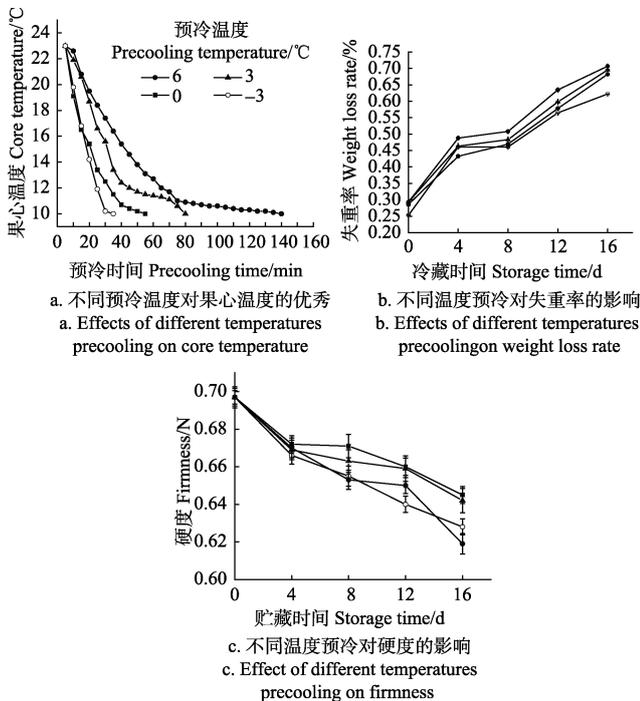


图 2 不同预冷温度对果心温度、失重率和硬度的影响
Fig.2 Effects of different temperatures precooling on core temperature、weight loss rate and firmness

2.2 不同温度预冷对呼吸和乙烯生成速率的影响

呼吸作用是果蔬采后的重要生理活动，其强度越大，果蔬内部营养物质消耗越多，品质下降越快。从图 3a 可知各处理组的呼吸强度呈现逐渐下降的趋势。第 4 天，呼吸速率下降程度最大，说明预冷和冷藏有效抑制了果蔬的呼吸。乙烯能促进果蔬的后熟衰老过程，第 4 天，乙烯生成速率 (图 3b) 也逐渐下降，可见抑制呼吸强度有利于抑制乙烯的产生和延缓衰老进程。4 d 以后呼吸强度趋于平稳，而乙烯降幅增大。冷藏期间， 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷组的呼吸强度和乙烯生成速率均低于 -3 和 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷组且二者之间不存在显著差异 ($P>0.05$)，对哈密瓜^[18] 和西葫芦的研究都表明并不是预冷温度越低越好。

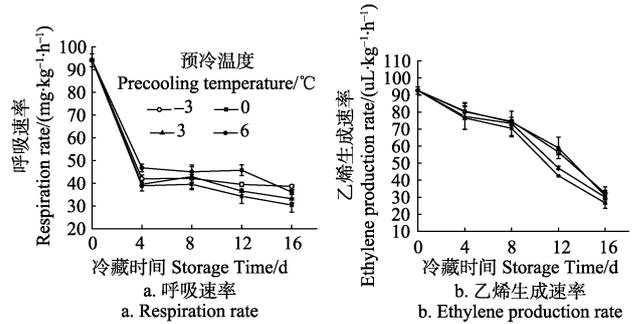


图 3 不同温度预冷对呼吸速率和乙烯生成速率的影响
Fig.3 Effects of different temperatures precooling on respiration and ethylene production rate

2.3 不同温度预冷对维生素 C 和叶绿素含量的影响

维生素 C 是果蔬重要的营养成分之一，同时也是果实内活性氧的重要抗氧化剂^[19]，可有效保护细胞组织免受损害而延缓果蔬衰老的速度^[20]。从图 4a 可以看出，VC 被氧化分解和呼吸作用消耗，其含量呈现逐渐下降的趋势。第 4 天，各组的 VC 含量下降幅度较大，第 8 天后， -3 和 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷组 VC 降解速率高于 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理组，且在第 12 和 16 天， 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理组维生素 C 含量显著高于其它 2 组。

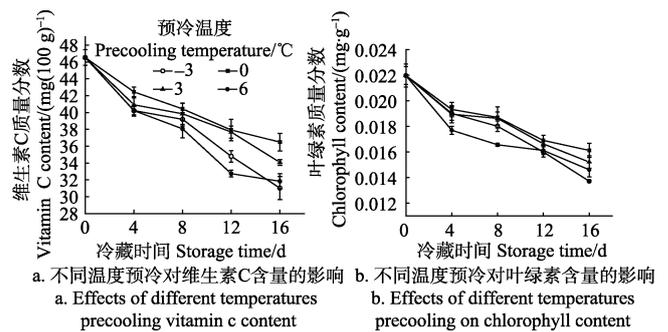


图 4 不同温度预冷对维生素 C 和叶绿素含量的影响
Fig.4 Effects of different temperatures precooling on vitamin c and chlorophyll content

西葫芦、黄瓜等绿色果蔬的黄化和颜色变化是其成熟与衰老的主要标志之一。从图 4b 可以看出，叶绿素含量随着冷藏期的延长而逐渐下降。从冷藏开始到第 4 天各处理组的叶绿素降幅较大，冷藏期间 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理的叶绿素含量显著 ($P<0.05$) 高于 $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理， $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷组在冷藏前期与 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间不存在显著差异 ($P>0.05$)。叶绿素极易发生降解^[21]，而 $0\sim 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷处理可以较好的延缓叶绿素含量的降低，保持了西葫芦采后的新鲜状态。

2.4 不同温度预冷对衰老相关指标的影响

从图 5a 和 5b 可以看出，POD 与 CAT 酶活性都呈现先上升后下降再上升的趋势，且都于第 4 天出现峰值。POD 能催化酚类等物质氧化产生褐变^[23]，其中 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷组的 POD 酶活性在整个冷藏期处于低于其它 2 组。冷藏后期， 0 和 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 预冷处理组的 CAT 酶活性显著 ($P<0.05$) 高于其它 2 个处理组，因而避免了果蔬机体受 H_2O_2 毒害作用^[22]，延缓西葫芦进入衰老阶段。

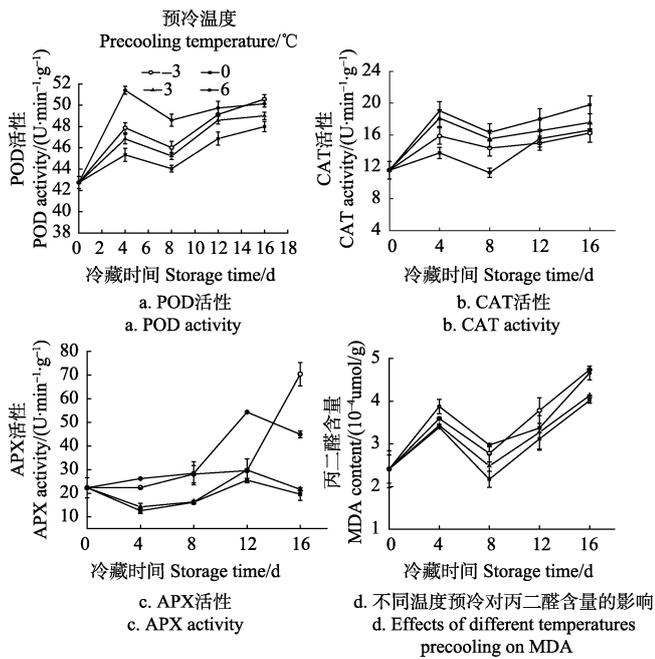


图5 不同温度预冷对 POD、CAT、APX 酶和 MDA 含量的影响

Fig.5 Effects of different temperatures precooling on POD, CAT, APX activity and MDA content

由图 5c 所知, 0 和 3 °C 预冷组的 APX 活性较低, 且

二者之间无显著性差异 ($P>0.05$), 说明 0 和 3 °C 预冷有效抑制了 H_2O_2 的堆积。而 -3 和 6 °C 预冷组的 APX 活性在冷藏后期骤然上升, 推测是组织内活性氧大量积累诱导了酶活性的升高, APX 通过抗坏血酸-谷胱甘肽循环催化 H_2O_2 与抗坏血酸反应从而清除 H_2O_2 [24]。

丙二醛可作为膜脂过氧化的指标 [25]。从图 5d 可以看出, 各处理组的 MDA 含量在冷藏期间呈现先升高后降低再升高的趋势。第 8 天, MDA 含量下降幅度较大, 说明此时组织细胞内膜脂过氧化反应受到一定程度抑制。与冷藏前相比, 冷藏结束时各组 (-3 °C、0 °C、3 °C 和 6 °C) 的 MDA 含量分别上升了 96.74%、66.76%、71.63% 和 93.65%。

2.5 不同温度预冷对香气成分的影响

从表 1 可以看出, 在检测出的香气成分中, 主要是醛类和醇类, 而酯类只在 -3 °C 预冷组的第 8 天中检测出较少的含量, 第 16 天时已检测不出脂类物质。

在检测出的醛类中, 主要是具有苹果香的反-2-己烯醛, 己醛和柠檬醛含量较少。冷藏期间醛类物质相对含量之和呈现略微的升高, 6 °C 预冷处理的醛类含量最少, 从第 8 天的 12.08% 上升到第 16 天的 12.35%。而 -3、0 和 3 °C 预冷的西葫芦, 其醛类总含量在第 16 天分别为 21.87%、23.27% 和 30.12%。醛类物质的升高可能是因为西葫芦贮藏期间的后熟作用。

表 1 各处理组第 8 天及 16 天香气成分含量

Table 1 Aroma components of each treatment on 8th and 16th day/(%)

序号 Code	香气成分 Aroma component	化学式 Formula	冷藏时间 Storage time/8 d				冷藏时间 Storage time/16 d			
			-3 °C	0 °C	3 °C	6 °C	-3 °C	0 °C	3 °C	6 °C
醛类 Aldehyde	1 己醛 Hexanal	$C_6H_{12}O$	1.21±0.12a	1.98±0.22b	0.69±0.09c	1.27±0.15b	0.49±0.14b	1.68±0.30a	0.39±0.10b	—
	2 反-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	$C_6H_{10}O$	20.24±0.79a	18.81±0.43a	20.33±0.63a	10.22±0.37b	16.98±0.37b	18.41±0.39b	29.19±0.65a	11.46±0.27b
	3 柠檬醛 Citral	$C_{10}H_{16}O$	0.42±0.07a	0.60±0.10a	0.51±0.02a	0.59±0.12a	0.90±0.10a	0.62±0.15b	0.54±0.12b	0.89±0.10b
	4 乙醛 Acetaldehyde	C_2H_4O	—	—	—	—	3.61±0.27a	2.57±0.10b	—	—
醇类 Alcohol	5 1-辛烯-3-醇 1-Octen-3-ol	$C_8H_{16}O$	41.37±1.06b	54.81±1.12a	51.60±1.07a	48.51±1.24a	62.02±1.25a	46.77±1.14b	45.67±1.20b	49.69±1.17b
	6 2-乙基己醇 2-Ethylhexan-1-ol	$C_8H_{18}O$	20.25±0.64a	17.75±0.48a	18.59±0.55a	14.08±0.40a	7.92±0.20b	21.82±0.45a	19.59±0.42a	13.52±0.76a
	7 环丁醇 Cyclobutanol	C_4H_8O	—	—	—	6.66±0.25a	—	8.04±0.31a	5.21±0.18b	7.76±0.28a
酯类 Ester	8 丙二酸环(亚)异丙酯 2,2-Dimethyl-1,3-dioxane-4,6-dione	$C_6H_8O_4$	4.76±0.20a	—	—	—	—	—	—	—
其他 Others	9 (±)-3-羟基月桂酸 3-Hydroxydodecanoic acid	$C_{12}H_{24}O_3$	0.45±0.14a	0.41±0.11a	0.41±0.15a	0.38±0.09a	0.43±0.07a	0.59±0.13b	0.40±0.08b	0.42±0.16b

注: 显著性差异为同一天不同处理间在 0.05 水平的比较, 相同小写字母表示西葫芦表面没有显著性差异。

Note: The significance difference was the comparison between different treatments at 0.05 level on the same day, The same lowercase letter indicates that there is no significant difference on the surface of cucurbita pepo.

在检测出的醇类中, 主要是 1-辛烯-3-醇和 2-乙基己醇, 同一处理整个贮藏期间醇类物质相对含量之和是上升的。第 16 天, 各处理的醇类含量之和分别为 69.94%、76.33%、71.47% 和 70.97%。这种醇含量的上升和酯含量的下降是由乙酰转移酶(acetyltransferase)活性下降或者代

谢底物不足所致 [26]。

3 讨论

果品采后预冷是现代冷链物流不可缺少的必备环节之一 [27]。预冷速度是衡量差压预冷的主要指标之一 [28]。

本研究表明, 差压预冷可显著缩短西葫芦降温时间, 且预冷温度越低, 预冷速度越快。本试验预冷的目标温度和预冷后的贮藏温度均为为 10 °C, 因为西葫芦是冷敏感型蔬菜, 在不合适的低温条件下贮藏会发生冷害, 导致西葫芦抗病性和耐贮性下降, 造成严重的腐烂与品质劣变现象^[29]。-3 °C 预冷的西葫芦其内部冷害现象不明显, 可能是因为-3 °C 预冷速度较快, 但冷藏期间西葫芦表面长斑严重, 在销售过程会影响到其商品价值和可接受程度。这与刘欢等^[19]对嫩刺芽的研究结论类似, 即并不是预冷温度越低对贮藏品质的保持效果越好。而-3 °C 预冷与 0 和 3 °C 预冷在贮藏前期对抑制呼吸速率和乙烯生成速率、失重率的上升以及叶绿素的下降等方面并无显著性差异 ($P>0.05$)。

在整个贮藏过程中 0 和 3 °C 预冷组的丙二醛含量显著 ($P<0.05$) 低于-3 和 6 °C 预冷, 并提高了过氧化氢酶活性, 因此可有效抵御果实内部的 H_2O_2 的毒害作用。6 °C 预冷速度最慢致使其呼吸强度和乙烯生成速率相对较高, 有机物消耗过多, 因而预冷后的贮藏品质最差, 且硬度显著 ($P<0.05$) 低于 0 °C 预冷处理组。果实的香味可以客观反映其成熟程度和风味特点, 是评价果实风味品质的重要指标^[30], 但蔬菜类的香气成分一般低于水果类, 西葫芦的香气成分主要是醛类和醇类, 6 °C 预冷组醛类总相对含量最低, 0 和 3 °C 预冷的西葫芦其香气含量较高。

4 结 论

1) 利用差压冷库对西葫芦进行预冷, 研究结果表明: 预冷库温度越低, 预冷速度越快, 如-3 °C 预冷仅需 40 分钟; 但预冷温度不能太低或过高, 当预冷温度过低会对其表皮产生冷害现象甚至对预冷后的冷藏效果产生不良影响; 过高的温度预冷, 其降温速度慢且达不到理想的保持采后品质的效果;

2) 差压预冷和低温贮藏对采后西葫芦的效果表明: 0~3 °C 差压预冷对西葫芦的预冷及冷藏效果最好, 并能保持较高的香气含量, 如冷藏结束时各组的维生素 C 含量分别下降了 32.61%、20.65%、26.09% 和 30.87%; 提高了过氧化氢酶活性, 第 16 天 CAT 活性分别为 16.25、19.79、17.58 和 16.63 U/(min·g); 抑制了过氧化物酶活性, 0 和 3 °C 预冷组的 POD 酶活性在整个冷藏期处于低于其它 2 组; 香气成分中醛类相对含量分别为 69.94%、76.33%、71.47% 和 70.97%。低温可有效抑制呼吸速率和乙烯的生成速率, 减少采后维 C、叶绿素等营养物质的消耗, 结合以上研究结果, 建议西葫芦的差压预冷温度在 0~3 °C 为宜。

[参 考 文 献]

[1] 李卉, 孙政国, 李阳, 等. 新型组合物理方法对凤凰水蜜桃的保鲜效果[J]. 天津农业科学, 2014, 20(4): 31-36.
Li Hui, Sun Zhengguo, Li Yang, et al. Preservation Effects of New Combination of Different Physical Treatments on Fenghuang Honey Peach Quality[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2014, 20(4): 31-36. (in Chinese with English

abstract)

- [2] 周慧娟, 叶正文, 苏明申, 等. 低温和差压式预冷对不同品种桃果实预冷性能的影响[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(1): 16-19.
Zhou Huijuan, Ye Zhengwen, Su Mingshen, et al. Effects of mechanical damage on the activite of antioxidant enzymes in fuji apples[J]. Storage and Process, 2015, 15(1): 16-19. (in Chinese with English abstract)
- [3] 白友强, 许建, 姚军, 等. 预冷方式对哈密瓜货架期品质及抗氧化酶活性的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(4): 56-60.
Bai Youqiang, Xu Jian, Yao Jun, et al. Effects of pre-cooling types on quality and antioxidant enzymesactivities of Hami melon during shelf-life[J]. Food science and technology, 2016, 41(4): 56-60. (in Chinese with English abstract)
- [4] 郭兆峰, 刘向东, 刘旋峰, 等. 新疆赛买提杏加湿差压预冷试验研究[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(4): 1-5.
Guo Zhaofeng, Liu Xiangdong, Liu Xuanfeng, et al. Experimental Study on Humidifying Pressure-difference Precooling of Xinjiang Saimaiti Apricot[J]. Storage and Process, 2017, 17(4): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- [5] Qiang Han, Haiyan Gao, Hangjun Chen, et al. Precooling and Ozone Treatments Affects Postharvest Quality of Black Mulberry (*Morus nigra*) Fruits[J]. Food Chemistry, 2017 (221): 1947-1953.
- [6] 郑先章, 熊伟勇. 双孢蘑菇真空预冷和减压冷藏保鲜实验[J]. 食药菌, 2017, 25(1): 46-50.
Zheng Xianzhang, Xiong Weiyong. Preservation experiment of fresh button mushroom by using vacuum pre-cooling and hypobaric cold storage[J]. Edible and Medicinal Mushrooms, 2017, 25(1): 46-50. (in Chinese with English abstract)
- [7] Justin L. O'Sullivan, Maria J. Ferrua, Richard Love, et al. Forced-air cooling of polylined horticultural produce: Optimal cooling conditions and package design[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 126: 67-75.
- [8] Jiawei Han, R. Badía-melis, Xin-ting Yang. CFD Simulation of Airflow and Heat Transfer During Forced-Air Precooling of Apples[J]. Journal of Food Process Engineering, 2017, 40(2): 1-17.
- [9] 吕盛坪, 吕恩利, 陆华忠, 等. 不同预冷方式对荔枝贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(3): 157-162.
Lv Shengping, Lv Enli, Lv Huazhong, et al. Effect of Different Precooling Methods on the Storage Quality of Litchi[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 157-162. (in Chinese with English abstract)
- [10] 许俊齐, 童斌, 王瑞, 等. 不同预冷方式对采后黄秋葵保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 312-315.
Xu Junqi, Tong bin, Wang Rui, et al. Effect of different pre-cooling ways on freshness retaining of postharvest okra[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(9): 312-315. (in Chinese with English abstract)
- [11] 胡花丽, 李鹏霞, 王伟. 预冷方式对李果实呼吸强度、乙烯生成量及贮藏品质的影响[J]. 西北林学院学报, 2009,

- 24(2): 80—83.
- Hu Huali, Li Pengxia, Wang Wei. Effects of Precooling Methods on the Respiration Intensity, Formation of Ethene and Storage Quality of Plum Fruit[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(2): 80—83. (in Chinese with English abstract)
- [12] 段宙位, 谢辉, 王世萍, 等. 真空预冷澳芒及其对贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(3): 26—330.
- Duan Zhouwei, Xie Hui, Wang Shiping, et al. Effect of vacuum pre-cooling treatment on storage quality of Australia Mango[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(3): 326—330. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张川, 申江. 真空预冷结合不同贮藏压力对韭菜品质的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(3): 34—37.
- [14] 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: 32—34, 154—156, 101—103, 121—122.
- Cao Jiankang, Jiang Weibo, Zhao Yumei. Fruits and vegetables postharvest physiological biochemical experiment instruction[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 32—34, 154—156, 101—103, 121—122. (in Chinese with English abstract)
- [15] 马宏飞, 卢生有, 韩秋菊, 等. 紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素 C 的含量[J]. 化学与生物工程, 2012, 29(8): 92—94.
- Ma Hongfei, Lu Shengyou, Han Qiuju, et al. Determination of vitamin C content in five kinds of fruits and vegetables by UV spectrophotometry [J]. Chemistry & Bioengineering, 2012, 29(8): 92—94. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张润光, 张有林. 适温臭氧处理对番茄贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 442—446.
- Zhang Runguang, Zhang Youlin. Effects of Appropriate Temperature and Ozone Treatment on Quality of Tomato during Storage[J]. Food Science, 2009, 30(20): 442—446. (in Chinese with English abstract)
- [17] 刘欢, 王冰玉, 潘美伊, 等. 真空预冷处理对刺嫩芽贮藏期间保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 44—48.
- Liu Huan, Wang Bingyu, Pan Meiyi, et al. Effect of vacuum pre-cooling treatment on preservation of Aralia elata seem during storage[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(7): 44—48. (in Chinese with English abstract)
- [18] 姚军, 徐畅, 耿新丽, 等. 差压预冷对哈密瓜采后乙烯释放和呼吸速率的影响[J]. 北方园艺, 2016(21): 125—127.
- Yao Jun, Xu Chang, Geng Xinli, et al. Effect of Forced-air Precooling on Postharvest Ethylene Release and Respiratory Rate of Hami Melon[J]. Northern Horticulture, 2016(21): 125—127. (in Chinese with English abstract)
- [19] 吴昊, 甄天元, 陈存坤, 等. 壳聚糖没食子酸衍生物酶法制备及对鲜切苹果的保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2017, 33(4): 285—292.
- Wu Hao, Zhen Tianyuan, Chen Cunkun, et al. Enzymatic synthesis of chitosan-gallic acid derivative and its preservation effect on fresh-cut apple[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(4): 285—292. (in Chinese with English abstract)
- [20] 范林林, 高丽朴, 王清, 等. 预冷方式对豇豆采后生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2015(17): 115—119.
- Fan Linlin, Gao Lipu, Wang Qing, et al. Research on the Pre-cooling Treatment on Physiological Characteristics of Postharvest Cowpea[J]. Northern Horticulture, 2015, (17): 115—119. (in Chinese with English abstract)
- [21] 罗淑芬, 胡花丽, 李鹏霞, 等. 气调包装对鲜切芹菜贮藏品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 315—319.
- [22] 刘欢, 王冰玉, 潘美伊, 等. 真空预冷处理对刺嫩芽贮藏期间保鲜效果的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(7): 44—48.
- Liu Huan, Wang Bingyu, Pan Meiyi, et al. Effect of vacuum pre-cooling treatment on preservation of Aralia elata seem during storage[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(7): 44—48. (in Chinese with English abstract)
- [23] 黄真池, 黄俊文, 欧阳乐军, 等. 冷处理后桉树 POD 活性、同工酶及基因转录变化分析[J]. 分子植物育种, 2017, 15(2): 730—734.
- Huang Zhenchi, Huang Junwen, Ouyang Lejun, et al. Analysis on the Activity, Isoenzyme and Gene Transcription of Peroxidase in Three Eucalyptus Species being Cold Treatment[J]. Molecular Plant Breeding, 2017, 15(2): 730—734. (in Chinese with English abstract)
- [24] 芮怀瑾, 尚海涛, 汪开拓, 等. 热处理对冷藏枇杷果实活性氧代谢和木质化的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(14): 304—308.
- Rui Huaijin, Shang Haitao, Wang Kaituo, et al. Effects of Heat Treatment on Active Oxygen Metabolism and Flesh Lignification in Cold-Stored Loquat Fruits[J]. Food Science, 2009, 30(14): 304—308. (in Chinese with English abstract)
- [25] 吕英忠, 刘刚, 梁志宏, 等. 不同贮藏温度对玉露香梨采后生理和贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2014, 14(5): 14—19.
- Lv Yingzhong, Liu Gang, Liang Zhihong, et al. Effects of Different Storage Temperatures on Post-harvest Physiology and Storage Quality of Yuluxiang Pear[J]. Storage and Process, 2014, 14(5): 14—19. (in Chinese with English abstract)
- [26] Fan XT, Argenta L, Mattheis J. Impacts of ionizing radiation on volatile production by ripening gala apple fruit[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(1): 254—262.
- [27] 杨培志, 胡霞, 廖刚. 送风温度对苹果差压预冷降温效果的影响[J]. 热科学与技术, 2017, 16(5): 381—386.
- Yang Peizhi, Hu Xia, Liao Gang. Effect of air supply temperature on cooling efficiency for pressure. precooling of apples[J]. Journal of Thermal Science and Technology, 2017, 16(5): 381—386. (in Chinese with English abstract)
- [28] 许建, 廖亮, 杜娟, 等. 差压预冷对哈密瓜的预冷效果[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(8): 255—256.
- [29] 范林林, 高元惠, 高丽朴, 等. 1-MCP 处理对西葫芦冷害和品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 330—334.

Fan Linlin, Gao Yuanhui, Gao Lipu, et al. Effect of 1- MCP treatment on chilling injury and quality of Zucchini[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(17): 330—334. (in Chinese with English abstract)

[30] 张涵, 鲁周民, 王锦涛, 等. 4 种主要柑橘类香气成分比较

[J]. 食品科学, 2017, 38(4): 192—196.

Zhang Han, Lu Zhoumin, Wang Jintao, et al. Comparative Aroma Components of Fruits of Four Main Citrus Varieties [J]. Food Science, 2017, 38(4): 192—196. (in Chinese with English abstract)

Forced-air pre-cooling of different temperatures and its effects on cold storage of *Cucurbita pepo*

Ji Lili¹, Liang Yunzhi¹, Chen Cunkun², Dong Chenghu², Yu Jinze², Ji Haipeng², Wang Chengrong^{1*}

(1. College of Food Science and Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao, 266109, China; 2. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products; Tianjin, 300384, China)

Abstract: In order to extend the freshness period of post-harvest *Cucurbita pepo* and lessen the consumption of nutrient substance, this study aims to determine the cold preservation effects of forced-air pre-cooling at different temperatures on post-harvest *Cucurbita pepo*. In the experiments, the pre-cooling temperatures were set at -3 , 0 , 3 and 6 °C, while the target cold preservation temperature was 10 °C. The sample was examined every 4 days to determine a variety of indices. The results indicate that the pre-cooling rate at 6 °C is the slowest and that at -3 °C the fastest. At the end of cold preservation period (on the 16th day), the ascent percentages of malondialdehyde (MDA) at 0 and 3 °C pre-cooling treatment are 66.76% and 71.63% respectively, when compared to the content before the cold preservation period, which are significantly lower than that of the other 2 treatments; the descent levels of firmness in the 4 groups (-3 , 0 , 3 and 6 °C) are 9.89%, 7.46%, 7.89% and 11.19% individually; catalase (CAT) activity of 4 groups on the 16th day is 16.25, 19.79, 17.58 and 16.63 U/(min·g), respectively; at the same time, the falling ranges of vitamin C content are 32.61%, 20.65%, 26.09% and 30.87% and the relative contents of aldehydes at the end of period are 69.94%, 76.33%, 71.47% and 70.97% respectively. When compared to -3 and 6 °C pre-cooling groups, temperatures between 0 and 3 °C were seen to provide the optimal cold preservation effects on *Cucurbita pepo*, as the respiration and ethylene production rates are lower at these temperatures, which is helpful in decreasing the senescence rate and prolonging the shelf life of these vegetables, and this temperature range effectively delays the decline rate of firmness. Moreover, the accumulation of MDA and the extent of tissue damage are both inhibited at a pre-cooling temperature from 0 to 3 °C. Additionally, the pre-cooling treatment at 0 and 3 °C is also shown to inhibit peroxidase (POD) enzyme activity and maintain a higher level of CAT activity, which assists in reducing reactive metabolism damage by removing reactive oxygen and free radicals. In contrast, pre-cooling temperatures of -3 and 6 °C demonstrate higher respiration rates and ascorbate peroxidase (APX) enzyme activity rises rapidly in the second half of the cold preservation period, during which APX activity at 0 and 3 °C pre-cooling remains markedly more stable. And the chilling injury appears when the pre-cooling temperature is -3 °C, and there are lots of stains on the surface of *Cucurbita pepo* in -3 °C treatment. In conclusion, this study finds that the most suitable pre-cooling temperature range for *Cucurbita pepo* is from 0 to 3 °C and therefore this research can provide technological and theoretical support for the development of cold-chain technology of *Cucurbita pepo*.

Keywords: cold storage; temperature; vitamin; cucurbita pepo; forced-air pre-cooling