基于真空预冷条件下的浸渍保鲜对鲜切莲藕品质的影响

廖彩虎，单斌，钟瑞敏，朱建华，翟海敏

（韶关学院英东食品科学与工程学院，广东韶关 512005）

摘要：本文利用冷库(0±2 ℃)预冷、真空预冷及真空预冷恒压（达到终温后，继续在真空状态下维持 0、2、4、6 min）等技术对经复合护色液浸渍后的鲜切莲藕进行预冷（预冷终温 5 ℃），预冷后采用气调包装并放置于 5±2 ℃冷库贮藏。通过测定其贮藏过程中的理化、生化指标来评价不同预冷方式对鲜切莲藕品质的影响。结果表明，真空预冷对鲜切莲藕的降温速率几乎为冷库预冷速率的 10 倍。随着真空预冷恒压时间的延迟，其水分损失呈增加的趋势，同时差异性显著($P < 0.05$)，但对莲藕的外观差异并不显著($P > 0.05$)。真空预冷至 5 ℃并维持 2、4、6 min 所获得的理化、生化及营养指标值较对照组而言更接近新鲜莲藕，特别是其不仅能够降低多酚氧化酶(PPO)的最大峰值，同时还能够推迟峰值出现的时间。其中，真空预冷至 5℃并维持 4 min 效果最佳。

关键字：真空预冷恒压；鲜切莲藕；真空渗渍

文章篇号：1673-9078(2015)6-243-248 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.6.038

Effect of Preservation by Impregnation under Vacuum Pre-cooling Conditions on the Quality of Fresh-cut Lotus Root

LIAO Cai-hu, SHAN Bin, ZHONG Rui-min, ZHU Jian-hua, ZHAI Hai-min

(Yingdong Food Science and Engineering Institute, Shao Guan University, Shaoguan 512005, China)

Abstract: Different technologies, including cold storage room pre-cooling, vacuum pre-cooling, and vacuum pre-cooling coupled with constant pressure treatment (when the final temperature was reached, the vacuum pump and valve were closed for 0, 2, 4, and 6 min, respectively), were utilized to pre-cool (final pre-cooling temperature: 5 ℃) fresh-cut lotus root that was impregnated in the compound fresh-keeping solution for 12 min. After pre-cooling, all samples were packaged in a modified atmosphere and stored in the cold storage room (5 ±2 ℃). The effects of different pre-cooling methods on the quality of fresh-cut lotus root were evaluated by measuring the physiochemical and biochemical indexes during the storage. The experimental results showed that the cooling rate of vacuum pre-cooling was almost ten times that of cold room pre-cooling. In the cooling process when a constant pressure was maintained for a long duration, a significant trend towards increased water loss was observed ($P < 0.05$), while no significant difference was observed in the overall appearance ($P > 0.05$). The physicochemical and biochemical indexes obtained for the fresh-cut lotus root that was vacuum pre-cooled to 5 ℃ followed by maintenance at constant pressure for 2, 4, and 6 min were similar to that of the fresh lotus roots than that of the control group. In particular, vacuum pre-cooling coupled with constant pressure treatment not only reduced the maximum peak value of polyphenol oxidase (PPO) activity, but also prolonged the time to reach such a peak value. The best preservation effect was achieved when the sample was vacuum pre-cooled to 5 ℃ and constant pressure was maintained for 4 min.

Key words: vacuum pre-cooling coupled with constant pressure treatment; fresh-cut lotus root; vacuum impregnation

真空预冷是利用降低压强来降低水的沸点，依靠物料表面和组织内水分蒸发带走物料热量的冷却方法，所以凡是含有自由水及孔隙结构的物料均能采用真空预冷来进行冷却。McDonald[1]认为真空预冷的使用有两个前提条件：其一，样品应该具有较大的表面积以方便水分的传递；其二，由于样品失水率的增加而可能引起的结构或者外观的改变不会导致样品经济损失和感官问题。目前真空预冷是果蔬采后快速降低呼吸强度、消除田间热和呼吸热、保持鲜度内在品质

收稿日期：2014-09-14

基金项目：国家自然科学基金项目(31101215)；广东省高等学校高层次人才项目(粤财教[2013]246 号)；韶关市科技计划项目 2013CX/K51 ；国家级大学生创新创业训练项目（201310576-004）

作者简介：廖彩虎（1984-），男，讲师，主要从事食品加工与贮藏方向

通讯作者：钟瑞敏（1967-），男，教授，博士研究生，主要从事农副产品精深加工

以及延长货架期的最有效手段[1]。莲藕较高的自由水含量以及明显的孔隙结构是其能够利用真空预冷的先决条件[2]。

鲜切后的莲藕在贮藏的过程中较未鲜切莲藕更易发生脱水、内部出现空洞、褐变及易受微生物污染等现象[3]。其中，褐变是最易发生，也是目前最难解决的问题之一。褐变最主要的原因是细胞内液泡受机械损伤而破裂，从而使得液泡中的多酚氧化酶与细胞质中的酚类物质接触，在有氧气的情况下迅速发生酶促褐变。

目前，鲜切莲藕主要是利用复合护色液浸泡来防止褐变。然而，护色液浸泡的方式不能从根本上解决鲜切莲藕的褐变问题[4]。特别是随着贮藏时间的延长，由于重力因素会导致护色液分别不均匀等现象[5]，从而仍然导致其在贮藏过程中发生褐变；同时，细胞间隙同样含有氧气，依然会随着贮藏时间的延长而发生褐变。而且，真空状态下毛细管的吸附能力要远大于常压，可能有利于浸渍液在复压阶段渗透至细胞间隙中[6]。Shah & Nath[7]研究表明基于真空状态下的护色液渗透对于鲜切类水果效果极其明显，且多酚氧化酶活性在真空状态下较常压下低。上述文献较好地说明通过利用真空状态环境将更加有利于复合护色液对鲜切莲藕的保鲜效果。然而，目前还没有具体阐述真空度大小和真空度维持时间对多酚氧化酶影响的研究，更没有利用真空预冷恒压技术来对鲜切莲藕保鲜的相关研究。本文将基于真空预冷条件下的浸渍保鲜技术来研究莲藕褐变及保鲜问题，通过研究不同的预冷方式、不同的恒压时间（真空度已确定）来获得最佳的操作参数，更为重要的是研究具体的真空度及恒压时间对多酚氧化酶活性的影响，以求为鲜切类果蔬保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

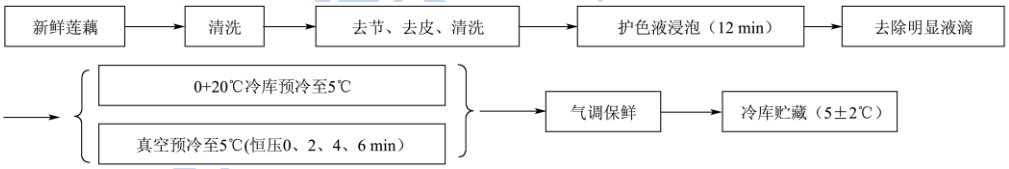
1.1 原辅材料

供试莲藕（韶关本地产莲藕）全部购自广东省韶关市第二农贸市场，采购时间为上午 7 点。选取当天采摘，新鲜度高，大小适中，色泽均匀一致，无机械损伤的莲藕作为实验材料。

1.2 仪器设备

KM-50 真空预冷机，东莞科美斯制冷设备有限公司；Testo175-T2 温度计，德国德图公司；CR-400 色差计，日本美能达仪器公司；PHS-3C 酸度计，上海雷磁仪器厂；TGL-16GR 冷冻离心机，上海安亭科学仪器厂。

1.3 试验方法



其中，复合护色液由食品级维生素 C、柠檬酸、半胱氨酸、EDTA 组成（添加量依次为 0.15%、0.25%、0.85%、0.2%，该数据是在参考吴光旭[8]等实验结论并通过预实验论证的基础之上获得的）；浸泡时间 12 min 是在吴光旭实验结论 8 min 的基础之上延长了 4 min，目的在于增加护色液渗渍的同时又可以弥补真空预冷过程中水分的损失。真空预冷机冷媒介质的温度设为 -10~-5 ℃，真空箱内绝对压强由 1 个大气压下降到 650 Pa 所需要的时间大约为 3 min。真空预冷至莲藕中心温度 5 ℃后，真空泵关闭，排气阀关闭，分别维持 650 Pa 绝对压强 2、4、6 min；气调包装采用低密度聚乙烯（0.04 mm），气调比例为（O_2:CO_2:N_2=3:5:92）。备注，为了研究方便，鲜切莲藕仅去皮、去两头。同时，选择处理后重量在 500±50 g 的莲藕 2 根放入一个袋中作为一个样品。实验包含含平行对照组共 5 组，每组含两袋样品，每隔 3 d 需要 10 袋样品，即 15 d 需要 50 袋样品；检测时，取出每袋中的 1 根作为检测对象，并同时安排所有指标的检测，同袋中的另外 1 根莲藕继续放在包装中作为备用；按照 2×3 的模式来检测，即每组中的两袋样品均需要取出 1 根来检测，而且所有指标检测 3 次，即每组样品可获得 6 个数据，数据结果用平均值±方差表示。

1.4 指标测定

1.4.1 失重率的测定

采用电子天平（精确到 0.001 g）称量好鲜切莲藕的重量 m_1，待预冷后再称量鲜切莲藕的重量 m_2，平行样做三次。

$$失水率=\frac{m_1-m_2}{m_1}\times 100\%$$

1.4.2 pH 值的测定

本试验采用 PHS-3C 酸度计进行测定。实验时先切取鲜切莲藕不同部位共 30 g，并置于研钵中进行冰浴研磨，每次研磨的程度尽可能保持一致，再使用已

经校正好的 pH 计测定其汁液的 pH 值。每个样品均平行测定 3 次，并取其平均值进行比较。

1.4.3 色差值的测定

预冷前后的鲜切莲藕颜色用 CR-400 色差计（日本美能达仪器）进行测定，测定鲜切莲藕的 L^*、a^*、b^*值，每个样进行 8 次平行实验。本实验采用代表性的 L^*、a^*值。

1.4.4 维生素 C 含量的测定

参考 Martinon[9]等的方法。

1.4.5 多酚氧化酶活性的测定

参考何士敏[10]等的方法。

1.4.6 还原糖含量的测定

参考邹琦[11]等的 DNS（3,5-二硝基水杨酸）法测定

1.4.7 可溶性蛋白质含量测定

参考李合生[12]等的考马斯亮蓝 G-250 染色法

1.5 数据处理

测定和分析结果采用 SPSS 13.0 for Windows、TA Universal analysis 和 Excel 2003 进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同预冷方式对鲜切莲藕降温曲线

如图 1 所示，真空预冷将鲜切莲藕的中心温度从 16 ℃左右降至 5 ℃所需的时间大概为 11 min，平均速率为 1.0 ℃/min，而 0 ℃冷库预冷则大概需要 105 min，平均速率为 0.11 ℃/min，前者的降温速率约为后者的 10 倍。真空预冷技术对鲜切莲藕的预冷时间相对于冷库预冷而言大大缩短。快速的预冷速率能够及时去除莲藕的田间热，从而有效地降低酶促褐变和微生物繁殖发生的概率。真空预冷恒压过程中鲜切莲藕的温度仍然在下降，与表 1 所示的失重率增加相吻合。原因可能是恒压过程中，鲜切莲藕仍然处于真空状态(真空度 610 pa，对应沸点 0 ℃左右)，其内部的水分仍然在向外界蒸发，从而导致其温度继续下降。恒压时间越久，其温度下降越多。当然，最终温度下降多少可能与真空腔体大小、装载率、真空度、物料组织结构有一定的关系。

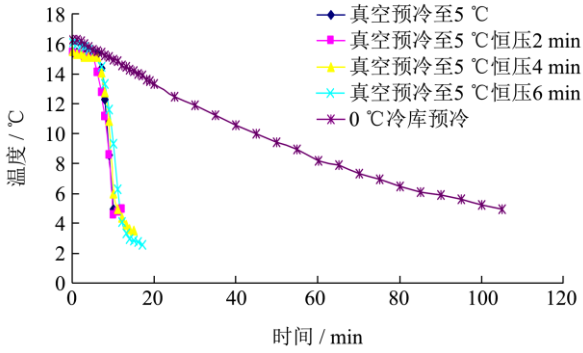


图 1 不同预冷方式对鲜切莲藕的降温曲线

Fig.1 Cooling curve of fresh-cut lotus root under different pre-cooling treatments

2.2 不同预冷方式对鲜切莲藕失重率的影响

表 1 为鲜切莲藕在真空预冷过程中的失重率。在本试验中鲜切莲藕在不同预冷方式中失重率分别为：A 组为 1.65%、B 组为 1.76%、C 组为 1.83%、D 组为 2.16%、E 组为 0.98%，各组的失重率与陈羽白[13]等的研究基本相符。Sun 等研究认为样品重量每损失 1%，温度可下降 5.5~6 ℃左右，不同样品存在一定差异，主要受样品比热大小的影响，但针对含水率较高的样品差其异性并不大。真空预冷后其恒压时间越长，其失水率越大，说明关掉真空泵之后，果蔬的水分仍在蒸发。0 ℃冷库预冷鲜切莲藕的失重率要小于其它 4 预冷方式，这与其不同的传热方式有关。同时也发现经过浸渍后的鲜切莲藕其重量增加了大约 0.25%，这有利于弥补预冷过程中水分的损失。

表 1 不同预冷方式对鲜切莲藕的的失重率（%）

Table 1 Water loss rate of fresh-cut lotus root under different pre-cooling treatments

预冷方式	真空预冷至 5 ℃无恒压(A 组)	真空预冷至 5 ℃并恒压 2 min(B 组)	真空预冷至 5 ℃并恒压 4 min(C 组)	真空预冷至 5 ℃并恒压 6 min(D 组)	0 ℃冷库预冷至 5 ℃(E 组)
鲜切莲藕浸渍	0.25±0.05	0.24±0.06	0.27±0.04	0.23±0.05	0.26±0.05
鲜切莲藕预冷	1.65 ± 0.03^{d}	1.76 ± 0.03^{c}	1.83 ± 0.02^{b}	2.16 ± 0.02^{a}	0.98 ± 0.02^{e}
相对失重率	1.40 ± 0.04^{c}	1.53 ± 0.04^{b}	1.56 ± 0.03^{b}	1.93 ± 0.03^{a}	0.72 ± 0.04^{d}

注：同行不同小写字母代表差异显著（$P<0.05$）。

2.3 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中的 pH 值变化

如图 2 所示，5 组样品的 pH 值随着贮藏时间的延长都呈现下降趋势，在前 3 d，5 组样品的 pH 值下降幅度相差不大，平均下降速率基本一样，同时在第一个 3 d 内每组的 pH 值的平均下降速率都明显大于后期

贮藏过程中的其他段的平均下降速率，这可能是因为在贮藏初期高浓度二氧化碳渗入并溶解于莲藕组织中形成碳酸从而引起的酸度的下降；在其它贮藏期间，C 组样品 pH 值下降最为缓慢，整个贮藏期间的下降幅度大概为 0.23，其次是 B、D 组、而 E 组的下降最为迅速，下降幅度达到 0.68。一般认为莲藕贮藏过程中 pH 的下降与微生物，特别是产酸性的腐败菌有关。而且，pH 值下降的越快，其腐败也越快。He S Y[14]等人研究真空预冷对草莓表面致病菌影响。结果表明，通过电镜扫描发现真空预冷技术能够明显地破坏大肠杆菌的结构甚至导致其破碎。说明真空预冷过程中其维持的真空状态不仅能够快速降低物料的温度，同时又能够破坏物料表面所残存的微生物。本实验结果与该文献结论较为吻合，B、C、D 三组 pH 下降最为缓慢，且好说明了真空预冷并维持恒压有可能能够更加有效地破坏微生物，特别是一些产酸性的腐败菌。B、C 两组差异性不显著（P＞0.05），但与 D 组差异性显著（P＜0.05），说明真空预冷恒压虽然有利于缓解 pH 的下降，但并非恒压时间越久越好。所以，从鲜切莲藕在贮藏过程中 pH 的变化可看出 C 组预冷方式能够较好地保留其品质。

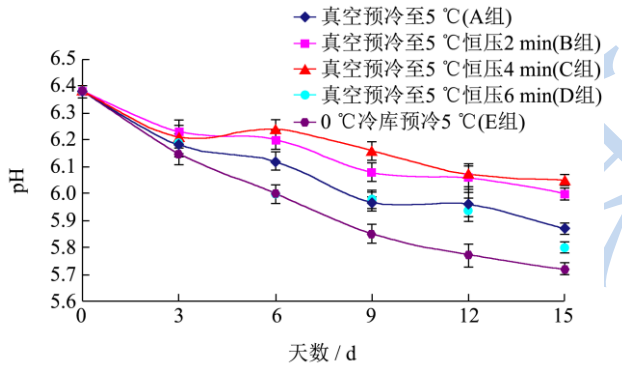


图 2 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中 pH 值变化

Fig.2 pH value changes in fresh-cut lotus root under different pre-cooling treatments during storage

2.4 不同预冷方式下的莲藕在贮藏过程中的 L^*、a^*值变化

由图 3 可知，在整个贮藏期间，A、B、C、D、E 这五组后的鲜切莲藕 L^*大体上都呈下降趋势，说明随着贮藏时间的延长，鲜切莲藕的亮度会逐渐下降。在贮藏 15 *d* 后，A、B、C、D 这 4 组鲜切莲藕的 L^*值的变化都是先上升后下降，而 E 组则一直下降；在这 15 d 的贮藏期内 A、B、C、D、E 这 5 组鲜切莲藕的 L^*值得下降率分别为：8.4%、6.1%、3.7%、4.6%、23.8%，下降速率最小的为 C 组，且差异性显著（*P*＜0.05）。同样由图 4 可知，随着时间的延长，不同预冷方式后鲜切莲藕在贮藏过程中其色差值 a^*值呈上升的趋势。15 d 后，a^*值分别由最初的 0.18 增加到 6.41、5.89、4.34、5.02、6.11，C 组值变化最小，且差异性显著（*P*＜0.05）。其原因可能是因为真空预冷过程中复合护色液能够代替鲜切莲藕细胞间隙内的液体和空气而存在于细胞间隙内，这不仅有效地降低了细胞间隙内的氧气，同时复压时渗透至细胞间隙内的复合护色液也更能够有效防止莲藕的褐变。同时，真空-复压状态下渗透至细胞间隙的护色液能够更有效地防止护色液因为重力问题而导致分布不均匀等现象。恒压时间的延长从理论上讲更有利于细胞间隙内的液体及气体被释放出来，然后复压过程中护色液能够更有效地渗透至间隙内部。然而，恒压时间并非越长越好，恒压时间过长会导致水分损失过大，而水分损失过大不仅影响商品价值，同时又会导致莲藕 L^*值变小及 a^*变大。

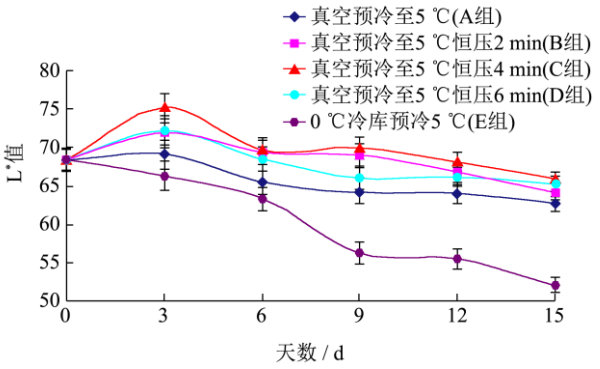


图 3 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中 L^*值变化

Fig.3 L^* value changes of fresh-cut lotus roots under different pre-cooling treatments during storage

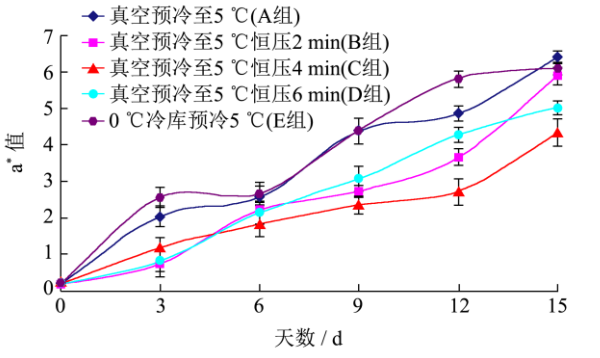


图 4 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中 a^*值变化

Fig.4 a^* value changes of fresh-cut lotus roots under different pre-cooling treatments during storage

2.5 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中的维生素 C 含量变化

如图 5 所示，不管是上述何种处理方式，鲜切莲

藕随着贮藏时间的延长，维生素 C 含量都呈现不断下降的趋势。B、C、D 三组下降相对其他两组而言下降趋势最为平缓，且下降趋势较为一致，差异性不显著（P＞0.05），但与其他两组存在着差异性显著（*P*＜0.05）。在整个贮藏期内，维生素 C 保存率最好的是 C 组，维生素 C 的损失为 24.35 mg/100 g，损失率为 45.5%；最差的是 E 组，维生素 C 的损失为 34.55 mg/100 g，损失率为 67.7%。上述结论说明，真空预冷恒压能够较好地维持莲藕维生素 C 含量，其原因可能是真空预冷恒压过程有利地抽走莲藕细胞间隙当中的氧气，同时复压的时候表面的复合护色液渗透至细胞间隙中，这样非常有利于防止维生素 C 在贮藏过程中的氧化，从而更好地维护了莲藕的品质。

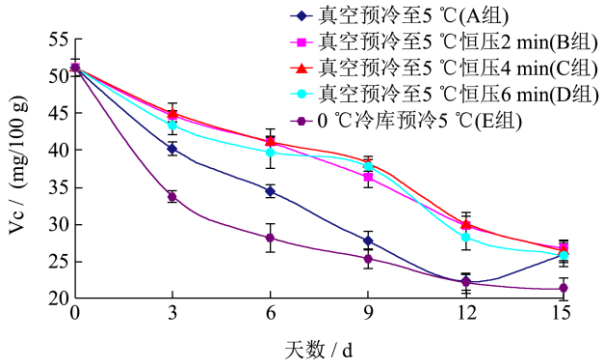


图 5 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中维生素 C 含量变化

Fig 5 Changes in the V_C content of fresh-cut lotus root under different pre-cooling treatments during storage

2.6 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中多酚氧化酶值变化

由图 6 可以看出，鲜切莲藕在贮藏过程中，总体上不同处理的鲜切莲藕的 PPO 活性都是呈先上升后下降的趋势，不同之处在于出现 PPO 活性出现最高峰时间的不同以及峰值大小的不同。E 组的 PPO 活性在第 6 d 达到最高，B、E 三组在第 9 d 出现最高峰，C、D 两组在第 12 d 才出现最高峰。而且，实验发现这 5 组样品中最高峰值的大小次序为：C < B < D < A < E，且各组之间的峰值存在着差异性显著（*P*＜0.05）。这说明了真空预冷条件下的护色液浸渍不仅能够有效抑制 PPO 活性的最大值，同时也能够延迟鲜切莲藕 PPO 活性峰值出现的时间。如果将时间横轴与酶活曲线组成一个封闭的图形，不难发现，其形成的面积可以较好地说明 PPO 对莲藕褐变程度的影响。其中真空预冷恒压 4 min（C 组）所组成的面积最小，也说明其对防止莲藕褐变的效果最好。该结论与图 3、4 的结论中 L^*、a^*的变化较为吻合。从而说明，真空预冷恒压有利于防止鲜切莲藕在贮藏过程中得褐变。如何通过一些物理的手段来降低 PPO 的活性以达到防止褐变的目的一直是鲜切类蔬菜保鲜研究的热点。该研究结论将为鲜切类蔬菜工业化生产提供机理依据。

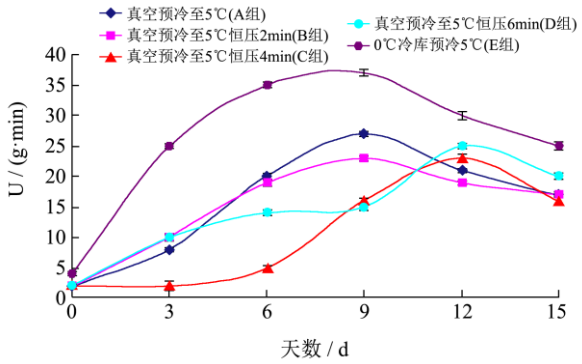


图 6 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中 PPO 值变化

Fig 6 PPO value change in fresh-cut lotus root under different pre-cooling treatments during storage

2.7 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中还原糖和可溶性蛋白含量的变化

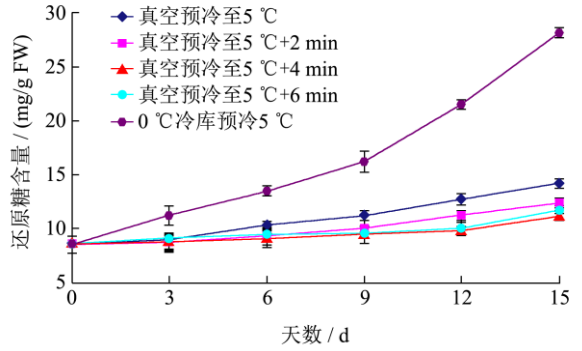


图 7 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中还原糖含量（RSC）变化

Fig 7 Change in reducing sugar content (RSC) of fresh-cut lotus roots under different pre-cooling treatments during storage

如图 7、8 所示，经过不同预冷方式的鲜切莲藕在贮藏过程中其还原糖含量表现出上升的趋势，而可溶性蛋白表现出下降的趋势。不同预冷方式对鲜切莲藕还原糖和可溶性蛋白含量在贮藏过程中的变化差异性显著（P＜0.05）。不难发现，真空预冷恒压并维持 4 min 表现为在还原糖含量增加趋势或者在可溶性蛋白下降趋势上都要较 0 ℃冷库预冷方式上平缓的多。同时也发现，真空预冷恒压并维持 4 min 较维持 2、6 min 上在还原糖含量下降或者可溶性蛋白下降趋势上要更好，但差异性不显著（P＞0.05）。大量的研究发现，还原糖含量的变化受到两方面的影响，其一是呼吸作

用会消耗还原糖含量；其二是多糖降解会增加还原糖含量，但整体而言增加的量会比消耗的量多。如何维持其在贮藏过程中缓慢增加是评价保鲜效果的一个重要指标。同时，可溶性蛋白含量的变化也受到多种因素的限制，其一是可溶性蛋白在贮藏过程中会发生变性和水解；其二是细胞器当中的蛋白会释放出游离蛋白。但随着贮藏时间的延迟，整体上降解的量会大于生成量。同样如何维持可溶性蛋白在贮藏过程中缓慢下降也是评价保鲜效果的一个重要指标。从图 7 中，可以看出真空预冷恒压 4 min 相对于 0 ℃冷库预冷在维持鲜切莲藕品质上效果要更为理想。说明，真空预冷恒压技术在鲜切莲藕方面的保鲜是可行的。

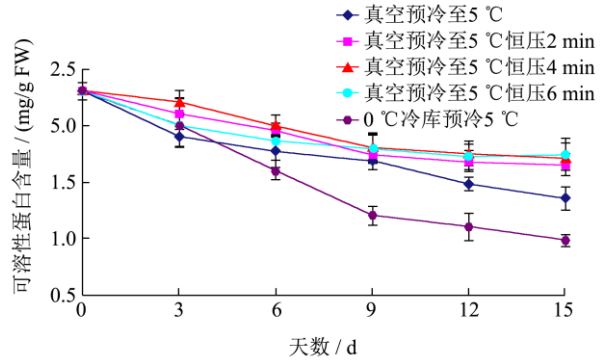


图 8 不同预冷方式下的鲜切莲藕在贮藏过程中可溶性蛋白（SPC）变化

Fig 8 Change in soluble protein content (SPC) of fresh-cut lotus roots under different pre-cooling treatments during storage

3 结论

基于真空预冷条件的护色液浸渍保鲜不仅能够快速地降低鲜切莲藕的温度，同时在理化、生化等指标上也表现出更为优良的特性。最为明显的是基于真空预冷条件下的护色液浸渍保鲜不仅能够降低多酚氧化酶的活性最大值，同时也能够有效地推迟多酚氧化酶活性最大值到来的时间。该结论从理论上说明基于真空预冷条件下的护色液浸渍能够有效地延缓鲜切莲藕在贮藏过程中褐变的问题。通过对鲜切莲藕进行浸渍真空预冷（Immersion vacuum cooling，IVC），并探讨和分析贮藏过程中影响莲藕品质的理化、生化、感官及营养指标的变化是将来的研究方向。

参考文献

[1] McDonald K, Sun D W. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review [J]. Jorunal of Food Engineering, 2000, 45(2): 55-65

[2] Wang L J, Sun D W. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology [J]. Trends in Food Science and Technology, 2001, 12 (5-6): 174- 184

[3] Olivas G I, Mattinson D S, Canovas G V. Aliginate coatings for preservation of minimally processed “Gala” apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45: 89-96

[4] 胡燕,陈忠杰.高压静电场（HVEF）联合冰温处理对莲藕贮藏品质变化的影响[J].现代食品科技,2013,29(7):1611-1614
HU Yan, CHEN Zhong-jie. Effects of high-voltage electrostatic field (HVEF) and ice-temperatrue on the quality changes of lotus root during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(7): 1611-1614

[5] Vargas M, Chiralt A, Albors A, et al. Effect of chitosan-based edible coatings applied by vacuum impregnation on quality preservation of fresh-cut carrot [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 51: 263-271

[6] Cabrera L P, Chiralt M C, Martinez C G. Effectiveness of anti-browning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44: 2273-2280

[7] Shah N S, Nath N. Changes in qualities of minimally processed litchis: effect of antibrowning agents, osmo-vacuum drying and moderate vacuum packing [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(4): 660-668

[8] 吴光旭,张长峰.复合护色液对鲜切莲藕护色效果研究[J].食品科技,2006,5:111-113
WU Guang-xu, ZHANG Chang-feng. Effect of compound reagenti on color preservation of fresh-cut lotus roots [J]. Food Science and Technology, 2006, 5: 111-113

[9] Martinon M E, Moreira R G, Castell-Perez M E, et al. Development of a multilayered antimicrobial edible coating for shelf-life extension of fresh-cut cantaloupe stored at 4 ℃[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 56: 341-350

[10] 何士敏,秦家顺,李鹏.莲藕多酚氧化酶的催化特性检测[J].西南农业学报,2011,24(1):75-79
HE Shi-min, QIN Jia-shun, LI Peng. Detection of catalytic characteristics of polyphenol oxidase in lotus root [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(1): 75-78

[11] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社, 2000
ZOU Qi. Experiment guideline of plant physiology [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2000

[12] 李合生,孙群,赵世杰,等.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2001
LI He-sheng, SUN Qun, ZHAO Shi-jie, et al. Principle and technology of plant physiology and biochemistry experiment [M]. Beijing: Chinese Higher Education Press ,2001

[13] 陈羽白,林海英,赵华海,等.菜心真空预冷效果的实验研究[J]. 农业工程学报,2003,19(5):161-164
CHEN Yu-bai, LIN Hai-ying, ZHAO Hua-hai, et al. Effect of vacuum precooling for flowering Chiness cabbage [J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 161-164

[14] He S Y, Zhang G C, Yu Y Q, et al. Effects of vacuum cooling on the enzymatic antioxidant system of cherry and inhibition of surface-borne pathogens [J]. International Journal of Refrigeation, 2013, 37: 2387-2394

现代食品科技