

预冷结合气调 对荷兰豆冷藏期间品质的影响

杜传来¹,罗海波²,戴云云³,姜丽³,江凯²,郁志芳^{3,*}

(1.安徽科技学院食品药品学院,安徽凤阳 233100;

2.浙江医药高等专科学校食品学院,浙江宁波 315100;

3.南京农业大学食品科技学院,江苏南京 210095)

摘要:研究了预冷结合气调(CA)对荷兰豆冷藏期间品质的影响。采收的荷兰豆分别在常温下放置0(立即预冷)、6、12 h(对照)后置冷库内以强制通风(1.0 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 方式预冷至中心温度下降到 2°C ,于 $(1 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 、3% O_2 + 5% CO_2 + 92% N_2 环境下贮藏30 d。贮藏期间每10 d测定荷兰豆的色泽(a^* 值),超氧阴离子(O_2^-)产生速率,呼吸速率,丙二醛(MDA)、叶绿素、纤维素、还原糖含量,纤维素酶(CEL)、超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性。结果显示,预冷结合气调贮藏显著抑制了荷兰豆 a^* 值、纤维素含量的上升和叶绿素含量的下降;还原糖含量略高于对照;维持了相对低的呼吸速率、 O_2^- 产生速率和MDA含量;CEL、SOD和POD活性显著高于对照($p < 0.05$),且立即预冷组优于6 h后预冷组和对照组。以上结果表明,立即预冷结合气调贮藏能有效维持荷兰豆的鲜绿色,延缓纤维化,抑制呼吸作用,提高抗氧化酶类活性,最终维持荷兰豆较好的品质。

关键词:荷兰豆,预冷,气调,品质,货架寿命

Effect of pre-cooling combined with controlled atmosphere on quality of *Pisum sativum* L. during refrigerated storage

DU Chuan-lai¹, LUO Hai-bo², DAI Yun-yun³, JIANG Li³, JIANG Kai², YU Zhi-fang^{3,*}

(1.College of Food and Drug, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China;

2.Department of Food Science, Zhejiang Pharmaceutical College, Ningbo 315100, China;

3.College of Food Science & Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The combined effect of pre-cooling and controlled atmosphere (CA) on quality of *Pisum sativum* L. was investigated. *Pisum sativum* L. were pre-cooled in a cold storage to about 2°C after placed at room temperature for 0 (immediate pre-cooling), 6, 12 h (Control), respectively, and then stored for 30 days at $(1 \pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ with controlled atmosphere (3% O_2 + 5% CO_2 , balance N_2). Changes in a^* value, O_2^- production rate, respiration rate, MDA, chlorophyll, cellulose and reducing sugar contents, cellulase (CEL), superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) activities were evaluated at intervals of 10 days. The results showed that the immediate pre-cooling combined with CA significantly retarded the increase of a^* value and cellulose content and the decline of chlorophyll content, maintained relatively lower respiration rate, O_2^- production rate and MDA content. Reducing sugar content was slightly higher than the control. The treatment also promoted CEL, SOD and POD activities compared with the control. The present findings indicated that the immediate pre-cooling combined with CA could retard yellowing and fibrosis, inhibit respiration rate, improve antioxidant enzymes activities, and therefore maintain a better quality of *Pisum sativum* L.

Key words: *Pisum sativum* L.; pre-cooling; controlled atmosphere; quality; shelf-life

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2016)10-0342-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2016.10.062

荷兰豆 (*Pisum sativum* L.), 又名豌豆、雪豆、麦豆、毕豆、回鹘豆、耳朵豆等, 属豆科豌豆属长日性冷

季豆类, 春播一年生或秋播越年生攀缘性草本植物^[1]。荷兰豆适应性很强, 在全世界范围内均有分

收稿日期: 2015-09-29

作者简介: 杜传来(1968-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向: 果蔬贮藏与加工, E-mail: ducl@ahstu.edu.cn。

* 通讯作者: 郁志芳(1960-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬采后生物学与贮藏加工, E-mail: yuzhifang@njau.edu.cn。

基金项目: 国家农业科技成果转化资金项目(2014GB2C300011)。

布,主要种植国有加拿大、中国、美国、阿富汗、埃塞俄比亚及欧洲国家^[2]。荷兰豆的嫩荚色泽鲜绿、组织脆嫩,富含碳水化合物、粗纤维、蛋白质、脂肪、多种矿物质和维生素,常作为高档蔬菜食用^[3]。目前我国荷兰豆种植面积 129.59 万公顷,总产量 1027.43 万吨,分别占全世界的 57.82% 和 60.53%,是仅次于加拿大的第二大荷兰豆生产国^[4]。然而,荷兰豆嫩荚水分含量高,采收后生理代谢旺盛,如处理不当极易出现失水萎蔫、荚皮变黄、纤维增加、豆粒膨大甚至腐烂变质等问题,严重影响其食用品质和商品价值^[5]。

已有研究表明,采用预冷、冷藏、涂膜、气调及商品化包装等措施均可延缓荷兰豆品质劣变,其中冷藏和气调是目前维持荷兰豆品质最有效的保鲜技术^[6]。陈颖等^[7]将荷兰豆经 5% 补水真空预冷后,于 $(3 \pm 1)^\circ\text{C}$, RH 90% 条件下贮藏 16 d,可显著降低荷兰豆失重率,维持其较好的感官品质。邢皓等^[8]采用不同的包装方式处理荷兰豆,发现乙烯吸收剂包装能显著抑制色泽变化和纤维素含量的增加,延缓叶绿素和 V_c 含量的下降,在 $(5 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、RH 90% ~ 95% 条件下货架期可达 15 d。戴云云等^[9]研究表明,采收后立即预冷结合气调贮藏可有效抑制常温下荷兰豆货架期的生理活动和更好地保持其品质。尽管以上保鲜措施均能在一定程度上延缓荷兰豆品质劣变,但保鲜效果仍有待提高。

预冷能在较短的时间内去除田间热,使蔬菜温度迅速下降,是目前蔬菜采后商品化处理过程中普遍采用的冷藏辅助技术^[10]。谢晶等^[11]研究表明,真空预冷对菠菜的品质保持具有较好的效果, $(2 \pm 1)^\circ\text{C}$ 冷藏条件下货架寿命可延长至 20 d。康孟利等^[12]研究了真空预冷对“五号菜”贮藏效果的影响,结果发现采用 2% 补水量进行真空预冷后,小白菜“五号菜”在 5°C 下贮藏 25 d 综合品质良好。韦强等^[13]采用冰袋对辣椒进行预冷,发现环境温度为 29°C , 10% 辣椒量的冰袋用量,于 10°C 下贮藏,可显著抑制贮藏后期辣椒的失重和腐烂,维持较高的商品率。目前为止,国内外采用预冷结合气调贮藏对荷兰豆进行保鲜的研究报道甚少。

本实验研究预冷结合气调处理对荷兰豆冷藏期间品质的影响,以期揭示预冷结合气调处理调节荷兰豆品质劣变的机理,为荷兰豆贮藏保鲜技术的开发提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜荷兰豆(台中 11 号) 采自南京市郊区,选择色泽基本一致、大小均匀、无病虫害和机械损伤的荷兰豆为实验材料;乙醇、乙醚、丙酮、冰醋酸、浓硫酸、十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)、十二水合磷酸氢二钠、二水合磷酸二氢钠、磷酸二氢钾、三水合醋酸钠、十水合硼酸钠、硼酸、3,5-二硝基水杨酸(DNS)、三氯乙酸(TCA)、硫代巴比妥酸、盐酸羟胺、 α -萘胺、EDTA、对氨基苯磺酸、羧甲基纤维素钠、羧甲基纤维素、二硫苏糖醇(DTT)、聚乙烯吡咯烷酮

(PVP)、氮蓝四唑(NBT)、蛋氨酸(Met)、核黄素、愈创木酚、过氧化氢(H_2O_2)等 均为分析纯,南京寿德实验器材有限公司。

DJ300 精密电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;HPG-2132 便携式色差仪 上海嘉标测试仪器有限公司;GXH-3010/3011AE 便携式红外线 CO_2 分析仪 常州诺基仪器有限公司;SPX-320 智能生化培养箱 宁波江南仪器厂;HH-6 数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司;Orion86802 台式 pH/ISE 测试仪 上海纳锆仪器有限公司;GL-20G-II 高速冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂;XW-80A 微型旋涡混合仪 上海沪西分析仪器有限公司;WFJ UV-2802 PC 紫外-可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司等。

1.2 实验方法

将选好的荷兰豆平均分为 3 组,分别在常温下放置 0(立即预冷)、6、12 h(对照)后将荷兰豆以约 2 cm 厚度平摊于冷库内,采用强制通风(1.0 ± 0.5) $^\circ\text{C}$ 方式进行预冷 1~2 h,至其中心温度下降到 2°C 停止。预冷后的荷兰豆按每样品重 400 g 左右装入聚乙烯塑料保鲜袋(400 mm \times 280 mm \times 0.02 mm),每组装 9 袋。将上述 3 组荷兰豆置于 3% O_2 + 5% CO_2 + 92% N_2 , (1.0 ± 0.5) $^\circ\text{C}$ 的环境条件(气体比例、贮藏温度根据预实验结果确定)下敞口贮藏 30 d,每组均为独立气体环境。贮藏期间每 10 d 随机取 3 袋测定一次相关指标。

1.3 指标测定

色泽测定:采用 HPG-2132 便携式色差仪测定荷兰豆表面色差,从每袋中随机抽取 10 个,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值;叶绿素含量测定:采用 Arnon 法测定^[9];呼吸速率的测定:采用 GXH-3010/3011AE 便携式红外线 CO_2 分析仪测定,结果表示为 $\text{mgCO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$;还原糖含量测定:采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定^[14];纤维素含量测定:采用酸性洗涤法测定^[14];纤维素酶(CEL)活性测定:采用 CMC 糖化法测定^[14];超氧阴离子产生速率测定:采用羟胺氧化法测定^[14];丙二醛(MDA)含量测定:采用硫代巴比妥酸法测定^[14];超氧化物歧化酶(SOD)活性测定:采用氮蓝四唑光还原法测定^[14];过氧化物酶(POD)活性测定:采用连续记录测定法测定^[14]。

1.4 数据处理

实验每个处理均重复三次,分别求其平均值和标准差,并用统计软件 SPSS19.0 进行显著性分析(LSD; $p < 0.05$),用 Excel 软件作图。

2 结果与分析

2.1 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间 a^* 值和叶绿素含量的影响

图 1a 显示,荷兰豆冷藏期间色差 a^* 值持续上升,立即预冷组略低于对照组,6 h 后预冷组略高于对照组,但立即预冷组和 6 h 预冷组与对照相比均无显著差异($p > 0.05$)。荷兰豆冷藏期间叶绿素含量持续下降(图 1b),尤以对照组叶绿素含量下降最多,贮藏结束时仅为入贮时的 66.8%。立即预冷组和 6 h 后

预冷组均显著抑制了叶绿素含量的下降($p < 0.05$),贮藏 30 d 时分别为入贮时的 85.9%、71.2%。由此可见,预冷结合气调贮藏能有效维持荷兰豆的色泽。

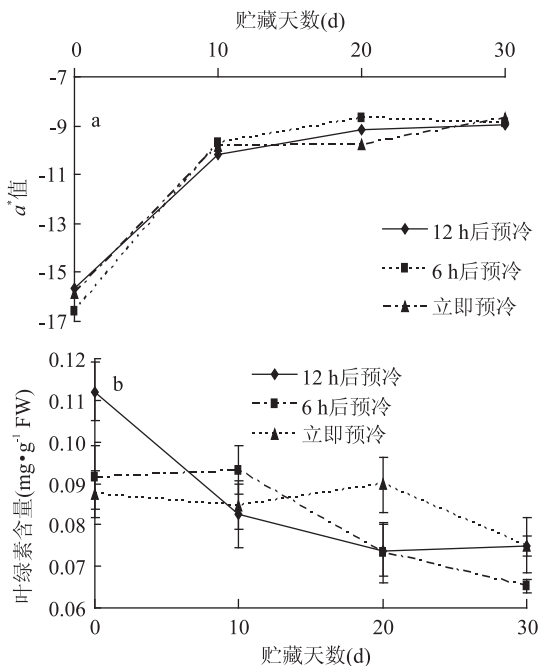


图1 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间 a^* 值(a)和叶绿素含量(b)的影响

Fig.1 Effects of pre-cooling combined with controlled atmosphere on a^* value(a) and chlorophyll content (b) of

Pisum sativum L. during storage at $(1 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$

2.2 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间呼吸速率和还原糖含量的影响

图 2a 显示,荷兰豆冷藏期间呼吸速率呈先上升后下降的趋势,对照组在贮藏第 10 d 达到极大值,立即预冷组和 6 h 后预冷组均在贮藏第 20 d 达极大值,立即预冷组在整个贮藏期间呼吸速率均显著低于对照组,6 h 后预冷组在贮藏前 10 d 略低于对照组,但在贮藏 10 d 后显著高于对照组。图 2b 显示,荷兰豆冷藏期间还原糖含量呈先上升后下降再上升的趋势,但贮藏前后相差不大。立即预冷组在贮藏前 10 d 低于对照组,贮藏第 20 d 时显著高于对照组,贮藏结束时与对照无显著差异;6 h 后预冷组在贮藏初期显著低于对照组,在随后的贮藏过程中均高于对照组。

2.3 预冷结合气调对荷兰豆贮藏期间纤维素含量和 CEL 活性的影响

图 3a 显示,荷兰豆纤维素含量在贮藏期间维持在较高的水平,贮藏第 10 d 时纤维素含量极高且达到极大值,这与理论上不符,是个体差异、实验误差还是其他原因需要进一步实验证实,但贮藏结束时比入贮时显著增加。立即预冷组和 6 h 后预冷组在整个贮藏期间均显著低于对照($p < 0.05$)。图 3b 显示,荷兰豆 CEL 活性呈先上升后下降的趋势,立即预冷组和 6 h 后预冷组在贮藏第 10 d 低于对照组,其余贮藏时间均显著高于对照组。需要特别指出的

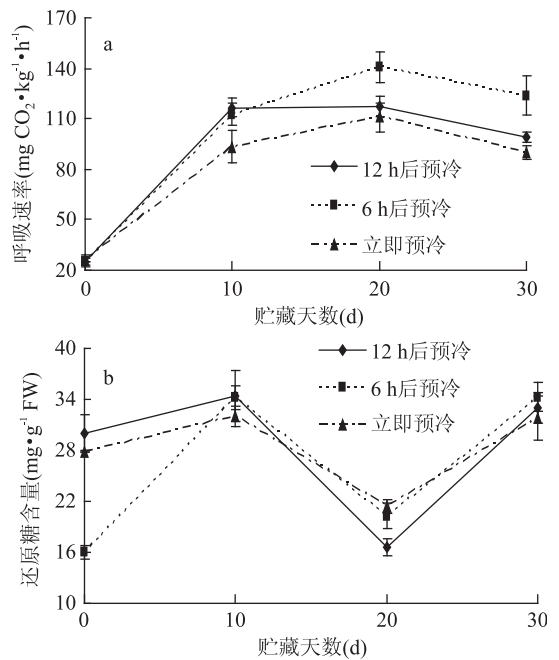


图2 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间呼吸速率(a)和还原糖含量(b)的影响

Fig.2 Effects of pre-cooling combined with controlled atmosphere on respiration rate(a) and reducing sugar content (b) of

Pisum sativum L. during storage at $(1 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$

是,荷兰豆在常温下放置 6 h 和 12 h 后 0 d 其 CEL 活性即显著低于立即预冷组($p < 0.05$),表明立即预冷有利于延缓荷兰豆纤维素的合成。

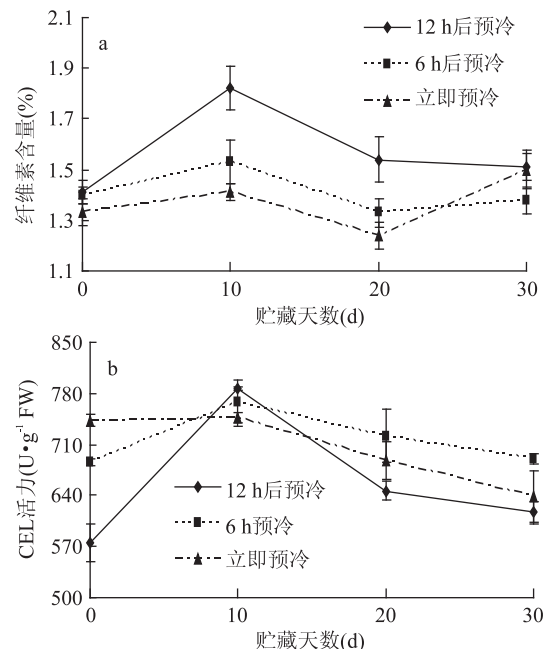


图3 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间纤维素含量(a)和纤维素酶活性(b)的影响

Fig.3 Effects of pre-cooling combined with controlled atmosphere on cellulose content(a) and cellulase activity (b) of *Pisum sativum* L. during storage at $(1 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$

2.4 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间 O₂⁻·产生速率和 MDA 含量的影响

图4a 和图 4b 显示,荷兰豆冷藏期间 O₂⁻·产生速率和 MDA 含量均有先下降后上升的趋势,常温下放置 12 h 后 0 d O₂⁻·产生速率和 MDA 含量均显著升高 ($p < 0.05$)。立即预冷组 O₂⁻·产生速率和 MDA 含量在贮藏第 20 d 高于对照组,其余贮藏时间均低于对照组;6 h 后预冷组在贮藏初期 O₂⁻·产生速率和 MDA 含量均显著低于对照组,但在随后的贮藏过程中 O₂⁻·产生速率均高于对照组,MDA 含量在贮藏第 10 d 和 20 d 高于对照组,贮藏结束时低于对照组。

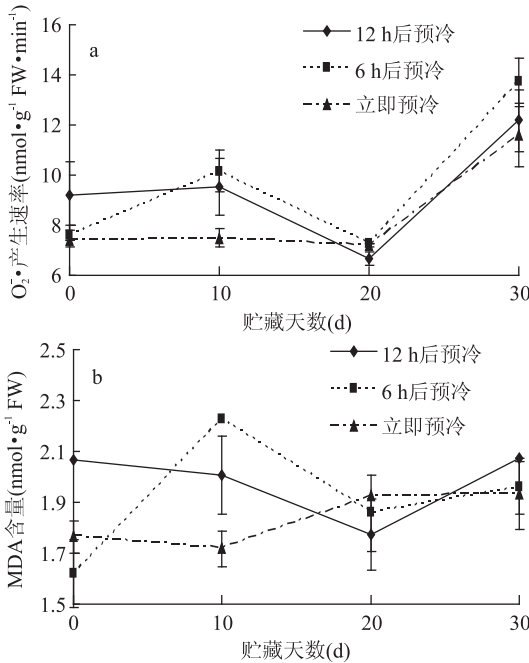


图 4 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间 O₂⁻·(a) 和 MDA 含量(b)的影响

Fig.4 Effects of pre-cooling combined with controlled atmosphere on O₂⁻· production rate(a) and MDA content(b) of *Pisum sativum* L.during storage at (1 ± 0.5) °C

2.5 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间 SOD 和 POD 活性的影响

图 5a 显示,荷兰豆 SOD 活性在冷藏期间呈先上升后下降的趋势。立即预冷组和 6 h 后预冷组荷兰豆 SOD 活性在贮藏前 20 d 均显著高于对照组 ($p < 0.05$),但贮藏结束时与对照均无显著差异。荷兰豆 POD 活性总体呈上升趋势(图 5b)。立即预冷组荷兰豆 POD 活性在整个贮藏期间均显著高于对照 ($p < 0.05$);6 h 后预冷组在贮藏前 20 d 显著 ($p < 0.05$) 高于对照,至贮藏结束时与对照相比无显著差异。

3 讨论

采后品质快速劣变是许多蔬菜贮藏、运输和销售过程中存在的共性问题。蔬菜采收后仍进行着旺盛的生理代谢活动,如呼吸作用、蒸腾作用等,导致营养成分快速损失及组织萎蔫、疲软、皱缩,逐渐失去新鲜度^[15]。研究表明,蔬菜组织失水率达到蔬菜总重量的 4%~6% 时,就会呈现明显的萎蔫和起皱现

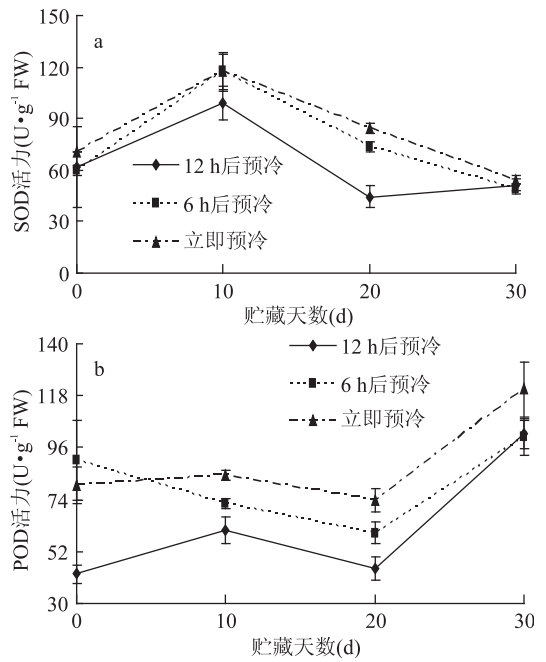


图 5 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间 SOD(a) 和 POD 活性(b)的影响

Fig.5 Effects of pre-cooling combined with controlled atmosphere on SOD (a) and POD (b) activities of *Pisum sativum* L.during storage at (1 ± 0.5) °C

象,鲜度下降^[16]。本实验室前期以芸豆、豇豆、四季豆等豆类蔬菜为试材进行的实验表明,这些豆类蔬菜常温下货架寿命仅能维持 3~5 d。本实验中,荷兰豆即使在适宜的低温 (1.0 ± 0.5) °C 条件下贮藏也很快出现黄化、纤维化、豆粒膨大等品质劣变现象而失去商品价值。

预冷可在短时间内降低蔬菜的呼吸强度,抑制乙烯产生,控制包装袋内结露现象,抑制微生物生长,减少设备制冷负荷,延缓蔬菜品质下降^[17]。目前,常用的预冷方式有冰水预冷、强制通风预冷、压差预冷和真空预冷,其中冰水预冷操作简便、成本低廉、降温迅速,但蔬菜表面残留的水会加速微生物的生长繁殖,因而适宜根茎类、茄果类蔬菜而不适宜叶类蔬菜;强制通风预冷简单易行,费用较低,适用的蔬菜种类较广;压差预冷和真空预冷降温迅速、效果好,但失水较多,且设备投资大成本高,不适宜于单位质量表面积较小的蔬菜^[18-19]。因此,在选用预冷方式时需要根据蔬菜的种类、经济效益和市场需求等多种因素综合考虑。

气调是在冷藏基础上较为行之有效的保鲜技术,通过调整贮藏环境的气体组成以延缓蔬菜品质劣变进程,提高保鲜效果,但不同的蔬菜其最适宜的气体组成差异较大^[20]。Tabatabaekolor 等^[21] 以西红柿为试材进行的研究表明,其最适宜的气体成分比例为 4% O₂ + 8% CO₂ + 88% N₂。杜小琴^[22] 等采用 5% O₂ + 8% CO₂ + 87% N₂ 气体环境贮藏甜樱桃,结果表明高浓度 CO₂ 处理能显著降低甜樱桃的呼吸强度,维持较高的 PPO、POD、PAL 活性,抑制 MDA 含量上升,降低果实的腐烂率和褐变指数。王利斌等^[23]

研究发现,气调可有效保持四季豆 SOD、POD、CAT 和 CEL 活性,从而减少 O_2^- 、 H_2O_2 和 MDA 等有害物质的积累,维持四季豆较好的品质,其适宜的贮藏气体成分比例为 5% O_2 + 1% CO_2 + 94% N_2 。朱继英等^[24]采用 5% O_2 + 15% CO_2 + 80% N_2 气体环境贮藏双孢蘑菇,显著降低了双孢蘑菇细胞降解和组织褐变的速度。吴忠红等^[25]研究表明,采用 5% O_2 + 1% CO_2 + 94% N_2 气调贮藏可使枣果实呼吸强度和乙烯释放值分别降低 32.94% 和 22.56%,其峰值分别推迟 10 d 和 20 d,延缓相对电导率的上升和总糖、总酸含量的下降,具有较好的贮藏效果。本实验中,立即预冷结合气调贮藏可显著抑制荷兰豆 a^* 值及纤维素含量的上升和叶绿素含量的下降,维持相对高的 CEL、SOD、POD 活性和较低的呼吸速率、 O_2^- 产生速率和 MDA 含量,从而维持荷兰豆较好的品质,其适宜的贮藏气体条件为 3% O_2 + 5% CO_2 + 92% N_2 ,与不采用气调贮藏的荷兰豆相比具有更好的色泽和更低的纤维素含量,表明气调有效提高了荷兰豆的保鲜效果。

4 结论

立即预冷结合气调能显著延缓荷兰豆色差 a^* 值上升和叶绿素含量下降,减少还原糖变化,维持较低的呼吸速率,抑制 CEL 活性下降和纤维素积累,提高抗氧化酶类 SOD、POD 活性从而维持较低的 O_2^- 产生速率和 MDA 含量,保鲜效果优于 6 h 后预冷结合气调组及普通气调组(对照),表明立即预冷结合气调(3% O_2 + 5% CO_2 + 92% N_2)贮藏能有效延缓荷兰豆呼吸代谢,抑制黄化和纤维化,提高抗氧化酶类活性,最终维持其较好的品质,为商业上荷兰豆的贮藏保鲜提供了理论依据。

参考文献

[1] Shi M, Zhang Z, Yu S, et al. Pea starch (*Pisum sativum* L.) with slow digestion property produced using β -amylase and transglucosidase[J]. Food Chemistry, 2014, 164(23): 317-323.

[2] Kumari J, Dikshit H K, Singh B, et al. Combining ability and character association of agronomic and biochemical traits in pea (*Pisum sativum* L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 181: 26-33.

[3] Amarakoon D, Thavarajah D, Sen Gupta D, et al. Genetic and environmental variation of seed iron and food matrix factors of North-Dakota-grown field peas (*Pisum sativum* L.) [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 37: 68-74.

[4] Sun X, Yang T, Hao J, et al. SSR genetic linkage map construction of pea (*Pisum sativum* L.) based on Chinese native varieties [J]. The Crop Journal, 2014, 2(2-3): 170-174.

[5] Pariasca JAT, Miyazaki T, Hisaka H, et al. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and controlled atmosphere (CA) storage on the quality of snow pea pods (*Pisum sativum* L. var. saccharatum) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2001, 21(2): 213-223.

[6] Mills JT, Woods SM. Factors affecting storage life of farm-

stored field peas (*Pisum sativum* L.) and white beans (*Phaseolus vulgaris* L.) [J]. Journal of Stored Products Research, 1994, 30(3): 215-226.

[7] 陈颖,刘宝林,宋晓燕.荷兰豆真空预冷及其对贮藏品质的影响[J].食品科学,2013,34(6):276-279.

[8] 邢皓,王中元,李雯.不同包装方式对荷兰豆贮藏品质和采后生理的影响[J].广东农业科学,2015(8):22-25.

[9] 戴云云,罗海波,姜丽,等.预冷对气调荷兰豆货架期品质和生理的影响[J].食品科学,2010,31(20):430-433.

[10] 李健,姜微波.预冷技术在果蔬采后保鲜中的应用研究[J].北京工商大学学报:自然科学版,2012,30(3):65-68.

[11] 谢晶,刘敏.真空预冷和贮藏温度对菠菜品质的影响[J].江苏农业学报,2010,26(5):1060-1063.

[12] 康孟利,凌建刚,林旭东,等.真空预冷对“五号菜”贮藏效果影响研究[J].北方园艺,2014(10):120-122.

[13] 韦强,黄漫青,孙瑞,等.冰袋预冷对辣椒贮藏品质的影响[J].中国农学通报,2015,31(6):223-228.

[14] 罗海波,郁志芳.鲜切茭白品质劣变机理及控制技术研究[D].南京:南京农业大学,2011.

[15] Wills RHH, Lee TH, Graham D, et al. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables [M]. Granada, 1981.

[16] 田世平,罗云波,王贵禧主编.园艺产品采后生物学基础 [M].北京:科学出版社,2011.

[17] Turk R, Celik E. The effect of vacuum precooling on the half cooling period and quality characteristic of Iceberg lettuce [J]. Physiological Basis of Postharvest Technologies, 1992, 343: 321-324.

[18] Verma A. Pre-cooling of fresh vegetables in low cost zero energy cool chamber at farmer's field [J]. Asian Journal of Horticulture, 2014, 9(1): 262-264.

[19] Brosnan T, Sun DW. Precooling techniques and applications for horticultural products—a review [J]. International Journal of Refrigeration, 2001, 24(2): 154-170.

[20] Li L, Luo Z, Huang X, et al. Label-free quantitative proteomics to investigate strawberry fruit proteome changes under controlled atmosphere and low temperature storage [J]. Journal of Proteomics, 2015, 120(29): 44-57.

[21] Tabatabaekolor R, Ebrahimian A, Hashemi S J. Investigation on the effect of temperature, packaging material and modified atmosphere on the quality of tomato [J]. Journal of Food Science & Technology, 2016, 13(51): 1-13.

[22] 杜小琴,李玉,秦文,等.气调贮藏对甜樱桃果实采后生理生化变化的影响 [J].食品工业科技, 2015, 36(12): 314-318.

[23] 王利斌,姜丽,石韵,等.气调贮藏对四季豆生理生化特性的影响 [J].食品科学, 2013, 34(8): 289-293.

[24] 朱继英,王相友,王娟.气调贮藏对双孢蘑菇细胞超微结构的影响 [J].农业工程学报, 2009, 25(Sup.1): 78-81.

[25] 吴忠红,杜鹃,潘伊,等.气调处理对骏枣贮藏品质的影响 [J].食品工业科技, 2015, 36(22): 339-343.