

高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕保鲜效果的影响

郭衍银, 李玲

(山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东淄博 255049)

摘要: 为了研究高 O₂ 气调包装对鲜切莲藕保鲜效果的影响, 本试验以鲜切莲藕为材料, 分别向装有鲜切莲藕的薄膜中充入初始体积分数为 100% O₂、90% O₂+10% CO₂、80% O₂+20% CO₂、70% O₂+30% CO₂ 的气体, 以自然大气为对照 (CK), 对 4 °C 贮藏期间鲜切莲藕的贮藏特性进行了测定。结果表明, 适宜浓度的高 O₂ 使鲜切莲藕乙烯释放量降低了 65.14%、呼吸强度降低了 43.57%, 维生素 C 的损失减少了 26.43%, 多酚氧化酶 (PPO) 活性降低了 68.67%, 褐变度降低了 17.65%; 同时, 适宜浓度的高 O₂ 还可降低可溶性糖和淀粉含量, 减少干、鲜重的损失, 维持较高的超氧化物歧化酶 (SOD) 活性, 延缓丙二醛 (MDA) 的积累, 有效维持鲜切莲藕的贮藏品质。其中, 保鲜效果以 90% O₂+10% CO₂ 处理最好, 然后依次为 100% O₂、80% O₂+20% CO₂ 和 70% O₂+30% CO₂, CK 效果最差。该试验结果表明, 采用适宜浓度的高 O₂ 气体进行气调包装保鲜, 能有效保持鲜切莲藕的贮藏品质。

关键词: 鲜切; 莲藕; 高氧; 包装; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2013)10-2447-2452

Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on Storage Properties of Fresh-cut Lotus Root

GUO Yan-yin, LI Ling

(School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

Abstract: In order to study the role of modified atmospheres package (MAP) with different proportion of high O₂ in controlling storage attributes, fresh-cut lotus root stored in modified atmospheres packages were analyzed with initial atmospheres of 100% O₂, 90% O₂+10% CO₂, 80% O₂+20% CO₂, 70% O₂+30% CO₂, and air as control check (CK) at 4 °C. The results showed that the treatments with proper concentration of high O₂ lowered the respiration rate by 43.57%, delayed ethylene release by 65.14%, suppressed the decrease of ascorbic acid by 26.43%, decreased the activity of polyphenol oxidase (POD) by 68.67% and reduced the degree of brown by 17.65%; meanwhile, it could also diminish soluble sugar and starch content, minimize the loss of dry and fresh weight, maintain a higher superoxide dismutase (SOD) activity, postpone the accumulation of malonaldehyde (MDA) and effectively retain the storage qualities of fresh-cut lotus root. Among the treatments, the maximum efficacy was observed with a MAP with initial atmosphere of 90% O₂ + 10% CO₂, followed by 100% O₂, 80% O₂+20% CO₂ and 70% O₂+30% CO₂, while CK had the poorest effect. The results suggested that an appropriate concentration of high O₂ in MAP could maintain the quality of fresh-cut lotus root during storage.

Key words: fresh-cut; lotus root; high O₂; package; preservation

莲藕又名莲菜, 属睡莲科。营养成分极其丰富, 不但含有大量的淀粉、蛋白质和碳水化合物, 而且富含钙、磷、铁等多种矿物质和维生素 B、维生素 C 等^[1], 同时又有一定的药用价值, 生食莲藕可以滋阴养血、强壮筋骨, 还可以缓解肺炎、肠炎等疾病^[2]。国际市场对其需求量很大, 尤其是清洁、方便的鲜切莲藕更受欢迎^[3]。我国是种植莲藕的大国, 因此, 鲜切莲藕具有广泛的应用前景。然而, 鲜切莲藕在加工贮藏

收稿日期: 2013-06-23

基金项目: 山东理工大学大学生创新研究项目 (20130035)。

作者简介: 郭衍银 (1976-), 男, 博士, 副教授, 从事农产品贮藏与加工研究

过程中肉质极易出现褐变等变质现象, 直接影响莲藕的感官品质和内在质量, 缩短其货架期从而影响其销量^[4]。

气调包装被认为是当前国际上最有效最先进的果蔬保鲜方法之一^[5-6], 多年来国内外一些学者对鲜切果蔬产品的气调保鲜包装进行研究。气调包装是通过调节贮藏初始包装内的气体组分, 达到抑制食品的腐烂和变质, 是维持食品正常货架期内的品质或延长其货架寿命的重要方法。传统的气调包装采用低 O₂、高 CO₂, 虽能在一定程度有助于果蔬保鲜, 但贮藏果蔬容易出现 CO₂ 伤害、异味等现象^[7-9]。高 O₂ 可能会缓解或抑制这种不良效应^[10-11]。近年来, 高 O₂ 气调逐

渐引起广泛关注,如 Odriozola-Serrano 等^[12]研究指出,高 O₂ 气调条件下,鲜切番茄抗氧化能力的保持明显高于低氧 O₂ 条件。Wang 等^[13]也指出,低 O₂ (O₂ 浓度为 20~50%) 调包装会导致金针菇产生冷害和生理损伤,而高 O₂ (O₂ 浓度为 80%) 气调包装则能很好的保存金针菇,延长其货架期。高 O₂ 气调能有效地控制鲜切富士苹果^[14]和梨^[15]的褐变。

本课题拟利用高氧包装处理,研究鲜切莲藕在贮藏过程中生理生化指标和保鲜品质的变化,找出适宜的高氧处理措施,为鲜切莲藕的高氧保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

莲藕采自山东省寿光市蔬菜示范园,品种是普通莲藕,采后随即被运回山东理工大学农业工程与食品科学学院实验室,选取组织结实、肉质白嫩、健壮且无损伤的莲藕,在 3 °C 条件下预冷 8 h。

1.2 试验设计

莲藕预冷后,流水冲洗干净,用吸水纸将莲藕吸干,然后切成直径为 5 cm、厚度为 0.5 cm 的藕片,每个处理称取 100 g 放入保鲜盘内,然后用聚氯乙烯(PVC)保鲜膜(20×20 cm)真空封口包装。然后 O₂/CO₂ 气体体积分数分别为 100%/0%、90%/10%、80%/20%、70%/30% 充入 1000 mL 气体,以自然大气包装为对照,最后置于 4 °C 冷库中贮藏,每隔两天进行取样(随机取样),测定相关指标。试验各处理均重复 3 次。

1.3 指标测定

呼吸强度、乙烯释放量采用气相色谱法(Varian CP-3800, Agilent Technologies, Lexington, MA, USA)测定,测定时,柱温、TCD 和 FID 分别设置为 50 °C、100 °C 和 150 °C。

MDA 含量, PPO、SOD 活性的测定采用李合生^[16]介绍的方法。

褐变度(browning degree, BD)测定:采用全自动色差仪对 L 值进行测定。L 值越大,表明亮度越高,褐变就越轻;反之, L 值越小,褐变越严重。维生素 C 则用 2,6-二氯酚靛酚法进行测定。

可溶性还原糖、淀粉含量用蒽酮比色法进行测定。

1.4 数据处理

所得数据用 SPSS 13.0 软件进行 LSD 显著性分析, P 性分析 1 为显著水平,每个试验指标重复 3 次,求出其平均值和标准差,用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 薄膜特性的影响

表 1 聚氯乙烯薄膜透气率

气体名称	序号	充气时气体含量/%	充气 2 h 后气体含量/%	透气率 / [mol/(m ² ·s)]	平均值 / [mol/(m ² ·s)]
CO ₂	1	100	97.92	0.03	0.03
	2	100	98.54	0.02	
	3	100	97.10	0.05	
O ₂	4	100	89.63	0.02	0.02
	5	100	93.23	0.01	
	6	100	88.21	0.02	

实验采用统一的保鲜袋,向每袋中充入 1000 mL 气体,放置 2 h 后,测得其 CO₂ 透气率为 0.037 / [mol/(m²·s)], O₂ 透气率为 0.015 / [mol/(m²·s)]。表明本保鲜袋属于高阻碍性保鲜袋,能较好的维持袋内原始气体成分。

2.2 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕呼吸强度和乙烯释放量的影响

呼吸强度是植物体新陈代谢强弱的一个重要指标,呼吸旺盛,组织体内的营养物质消耗加快,加速其成熟衰老,缩短贮藏期。

图 1a 表明,不同高氧处理的鲜切莲藕其呼吸强度变化趋势大致相同。各处理鲜切莲藕的呼吸强度均在第 4 d 达到最低值,然而不同处理间的差异则表现在达到峰值的时间不同。CK 和 100% O₂ 处理的鲜切莲藕,呼吸强度在第 6 d 达到高峰,而 80% O₂+20% CO₂ 和 70% O₂+30% CO₂ 处理的鲜切莲藕呼吸强度的峰值则出现在第 8 d。整个贮藏期间,CK 处理的鲜切莲藕呼吸强度最高,其峰值为 16.47 mg CO₂/(kg·h),营养物质消耗得快,不利于贮藏。相对而言,90% O₂+10% CO₂ 处理呼吸强度最低,其峰值仅为 7.68 mg CO₂/(kg·h),减少了营养物质的损失,有助于延长货架期。

果蔬采收后发生的一系列衰老现象,几乎均与乙烯有关,乙烯是最有效的催熟致衰剂,因此乙烯释放量是反映莲藕贮藏特性的一个重要指标。

总体而言,各处理鲜切莲藕乙烯释放量呈先上升

后下降的趋势(图1b)。贮藏期间,CK处理鲜切莲藕的乙烯释放量最高,其次是70% O₂+30% CO₂、80% O₂+20% CO₂处理,其峰值分别为15.61 μL/(kg·h)、14.42 μL/(kg·h)和13.50 μL/(kg·h)。相比之下,90% O₂+10% CO₂处理的乙烯释放量一直呈现出相对较低的水平,整个贮藏期间其乙烯释放量平均为每天1.33 μL/(kg·h)。

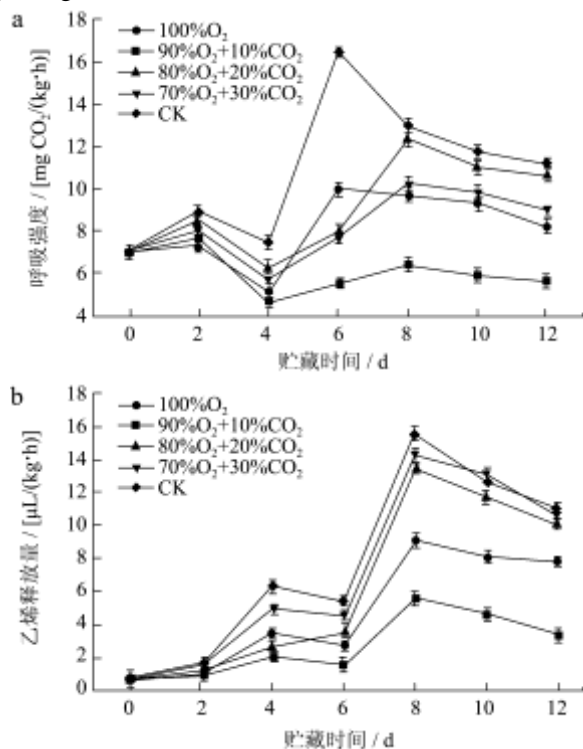


图1 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕呼吸强度和乙烯释放量的影响

Fig.1 Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on Respiratory rate and Ethylene release of Fresh-cut Lotus Root

2.3 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕 PPO 活性的影响

PPO 活性高,导致产品发生褐变,严重影响产品的感官特性和商品价值。由图2可知,不同处理PPO活性大致都呈现先上升后下降的趋势,但不同处理差异较大,70% O₂+30% CO₂、80% O₂+20% CO₂和CK处理的鲜切莲藕PPO活性增加剧烈,100% O₂次之,而90% O₂+10% CO₂处理的PPO活性增加最为缓慢,且整个贮藏期间一直维持在较低水平,减缓了鲜切莲藕的褐变程度。

2.4 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕褐变度的影响

影响

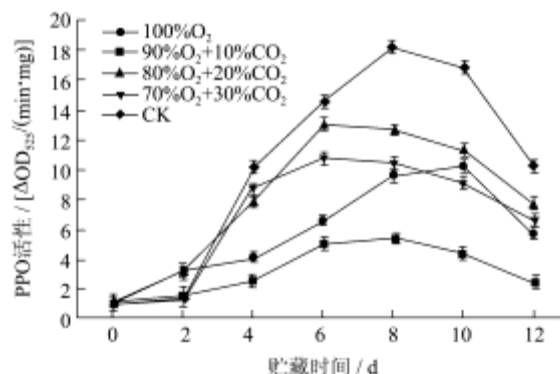


图2 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕 PPO 活性的影响

Fig.2 Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on PPO Activity of Fresh-cut Lotus Root

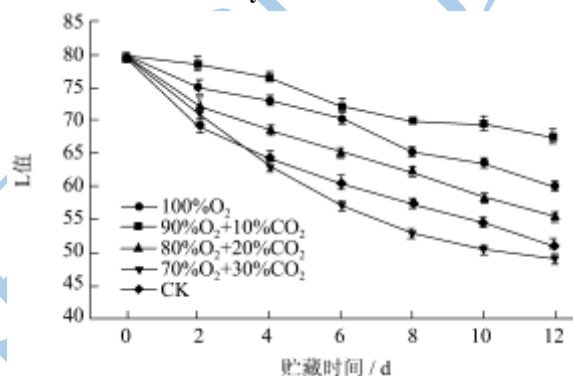


图3 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕褐变度的影响

Fig.3 Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on Browning Degree of Fresh-cut Lotus Root

由图3可知,在贮藏期间,不同处理鲜切莲藕的褐变度L值均减小。其中70% O₂+30% CO₂和CK处理的鲜切莲藕L值下降最快,鲜切莲藕褐变程度严重,80% O₂+20% CO₂、100% O₂处理次之。而90% O₂+10% CO₂处理的L值下降最为缓慢,且整个贮藏期间一直维持在较高水平,该处理的鲜切莲藕褐变程度最轻。PPO活性越高,鲜切莲藕褐变程度越严重,由图2和图3可知,所有处理鲜切莲藕L值的变化和PPO活性变化相吻合。

2.5 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕维生素 C 含量的影响

维生素 C 是植物体内重要的抗氧化成分之一,是判断莲藕品质的一个重要标准。图4表明,不同处理的莲藕维生素 C 含量的变化趋势相似,贮藏前期含量高,随着贮藏时间的延长而逐渐减少。90% O₂+10% CO₂处理的莲藕维生素 C 含量减少最为缓慢,储藏 12

d 仅减少 20.79%，100% O₂ 处理次之，减少 31.72%，CK 处理的鲜切莲藕维生素 C 含量下降最为迅速，在储藏第 12 d 达到最小值 0.22 mg/g，减少 55.72%。在整个贮藏期中，所有的处理维生素 C 减少趋势由慢到快的顺序是：90% O₂+10% CO₂、100% O₂、70% O₂+30% CO₂、80% O₂+20% CO₂、CK。

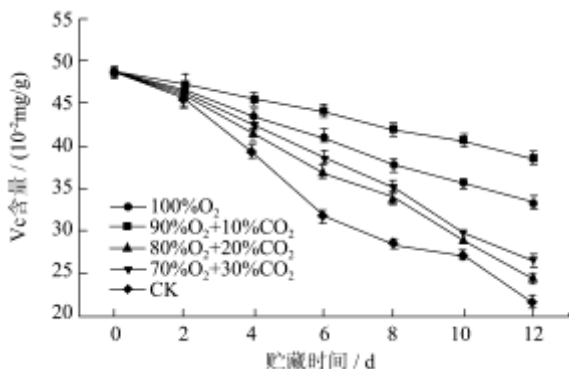


图 4 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕 Vc 含量的影响

Fig.4 Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on Vc Content of Fresh-cut Lotus Root

2.6 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕含水量和失重率的影响

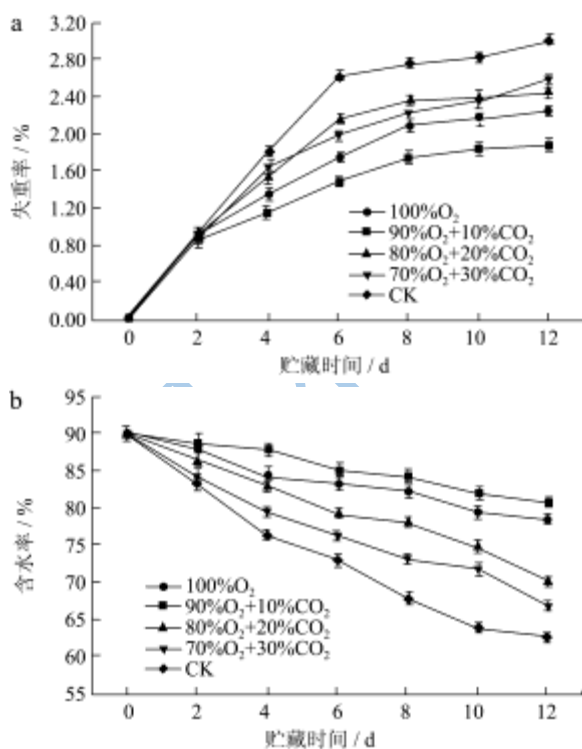


图 5 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕失重率和含水量的影响

Fig.5 Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on Weight-loss Rate and Moisture Content of Fresh-cut Lotus Root

水分可使产品呈现坚挺、脆嫩的状态，维持一定

的硬度和紧实度，对莲藕的外观起着至关重要的作用。从内部角度上说，水分参与代谢过程，是细胞中许多反应发生的媒介，是果蔬贮藏中的一个重要指标。

图 5a 表明，贮藏期间不同处理鲜切莲藕的失重率随着贮藏时间的延长而增加。贮藏前 2 d，各处理失重率几乎没有差异，2 d 以后，差异逐渐明显。CK 处理鲜切莲藕的失重率最大，80% O₂+20% CO₂ 次之，90% O₂+10% CO₂ 处理最小。由于果蔬在贮藏期间进行呼吸作用等各项生理活动，导致营养物质的消耗，水分的散失，从而使鲜切莲藕品质下降。

由图 5b 可知，各处理鲜切莲藕含水量的变化趋势均呈下降趋势。整个贮藏期间，90% O₂+10% CO₂ 处理的莲藕含水量损失最少，贮藏 12 d 仅减少 10.49%，100% O₂ 处理次之，减少 12.71%，CK 处理的鲜切莲藕含水量损失最多，减少 29.88%。由此可以看出，90% O₂+10% CO₂ 处理能减少鲜切莲藕的水分含量及营养物质的损失，延长鲜切莲藕的保质期。

2.7 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕可溶性还原糖和淀粉含量的影响

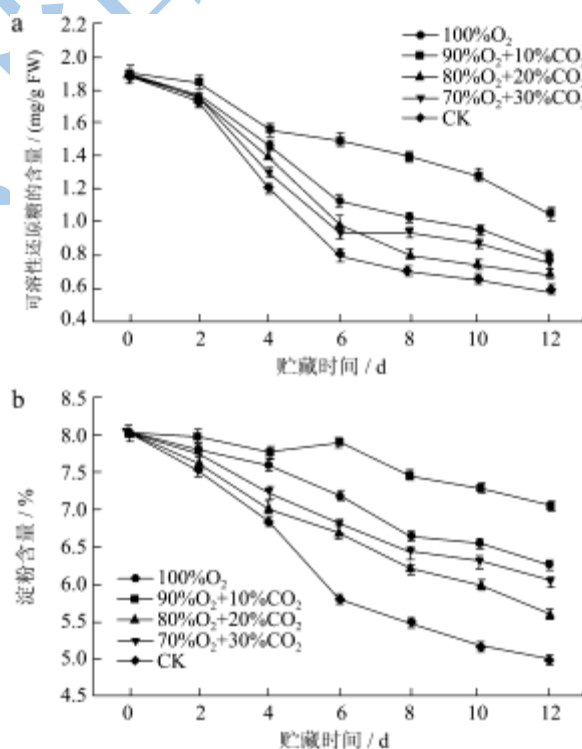


图 6 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕可溶性还原糖和淀粉含量的影响

Fig.6 Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on Soluble Sugar and Starch Content of Fresh-cut Lotus Root

植物可溶性糖含量的变化是植物碳水化合物代谢的重要指标，因而，也是植物重要的生理和品质指标

之一。淀粉是多糖类的一种，是植物体中储藏的养物质，其含量可以作为衡量莲藕中营养成分的重要指标。

图 6a 表明，不同处理的鲜切莲藕可溶性糖含量的变化趋势均呈下降趋势。90% O₂+10% CO₂ 处理的鲜切莲藕可溶性还原糖含量减少最为缓慢，贮藏 12 d 仅减少 45.10%，100% O₂ 处理次之，CK 处理减少最多，在贮藏第 12 d 达到最小值 0.579 mg/g FW，减少 69.44%。

由图 6b 可知，不同处理鲜切莲藕淀粉含量随贮藏时间的延长均不断下降，但也存在明显差异，90% O₂+10% CO₂ 和 100% O₂ 处理淀粉含量下降缓慢，第 12 天时的淀粉含量相较于第 1 d 时仅下降了 11.17% 和 22.51%；而 CK 处理，淀粉含量下降迅速，第 12 d 时的淀粉含量相较于第 1 d 时下降了 37.59%。

2.8 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕 SOD 活性的影响

的影响

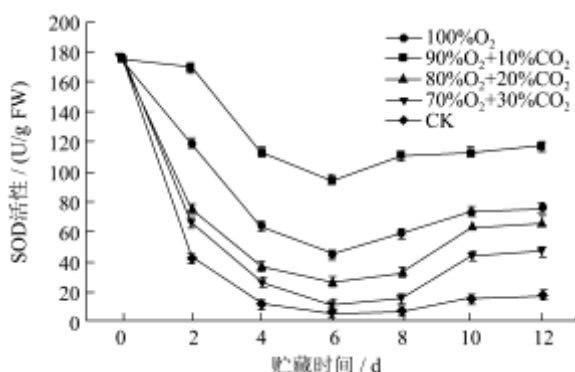


图 7 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕 SOD 活性的影响

Fig.7 Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on SOD Activity of Fresh-cut Lotus Root

图 7 表明，不同高氧处理鲜切莲藕的 SOD 活性随贮藏时间的增加呈先下降再缓慢上升的趋势。贮藏第 1 d，所有处理 SOD 活性较高，与机械损伤产生大量 O₂ 的刺激有关。同时表明，不同处理间 SOD 活性的差异较大，90% O₂+10% CO₂ 处理的莲藕 SOD 活性明显高于其他处理。总体来看，90% O₂+10% CO₂ 处理的莲藕 SOD 活性最高，有效地抑制了自由基的伤害，对延长鲜切莲藕的货架期有积极作用；100% O₂ 处理次之，80% O₂+20% CO₂ 和 70% O₂+30% CO₂ 紧随其后，CK 最低。

2.9 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕 MDA 含量的影响

的影响

MDA 是膜质氧化的产物，通常可以用 MDA 的含量衡量细胞膜的氧化程度和植物对逆境反应的强弱。

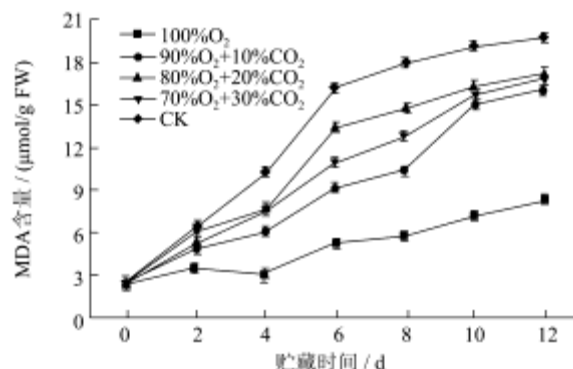


图 8 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕可溶性丙二醛含量的影响
Fig.8 Effects of Modified Atmospheres Package with High O₂ on MDA Content of Fresh-cut Lotus Root

图 8 表明，整个贮藏期间，各处理 MDA 含量均呈上升趋势。相对而言，90% O₂+10% CO₂ 处理莲藕 MDA 含量变化趋势较为平缓，整个贮藏期间仅增加了 2.55 倍，100% O₂ 处理次之，为 5.88 倍，而 CK 处理变化最剧烈，第 12 d MDA 含量是第 0 d 的 8.42 倍。表明 90% O₂+10% CO₂ 处理能很好地抑制鲜切马铃薯膜质氧化，有利于其贮藏。

3 结论

通过研究发现，90% O₂+10% CO₂ 处理能很好地贮藏鲜切莲藕，其次分别为 100% O₂、80% O₂+20% CO₂ 和 70% O₂+30% CO₂，CK 效果最差。90% O₂+10% CO₂ 处理能抑制鲜切莲藕贮藏期间的呼吸强度和乙烯释放量，减少营养物质的消耗，更好的保持鲜切莲藕的品质，同时实验研究也表明，该处理不同贮藏时期维生素 C、可溶性糖含量均显著高于其它几种处理，抑制了贮藏期间 PPO 的活性，延缓了鲜切莲藕的褐变。另外，该处理提高了 SOD 保护酶系的活性，有效抑制了活性氧在鲜切莲藕组织内的积累，增强了自身防御机制，从而使 MDA 含量在贮藏过程中处于一个较低水平，对保持鲜切莲藕品质起到积极作用，增强鲜切莲藕对逆境的抗性，有效延长了鲜切莲藕贮藏时间；而其它处理虽然也能提高 SOD 等保护酶系的活性，但效果不明显。

参考文献

[1] 金波.中国多年生蔬菜[M].北京:中国农业出版社,1997
B Jin. Chinese Perennial Vegetables[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997

[2] 陈月英,王林山.莲藕红枣保健果冻的研制[J].中国农学报,2010,26(18):99-101

- YY Chen, LS Wang. Development of Healthy Lotus Root and Dates Jelly [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(18):99-101
- [3] YW Yu, CL Xiao, XD Wang, et al. Effect of Carbon Monoxide on Browning of Fresh-cut Lotus Root Slice in Relation to Phenolic Metabolism [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(2): 555-559
- [4] YL Ding, J Yun, XH Li, et al. Evaluation of Nano-packing on the Shelf Life of Fresh-Cut Lotus Root (*Nelumbonucifera* Gaertn) [C]. Advances in Intelligent and Soft Computing, 2012, 165: 775-780
- [5] X W Duan, Y M Jiang, X G Su, et al. Effects of Pure Oxygen on Enzymatic Browning and Quality of Postharvest Litchi Fruit [J]. Journal of Horticultural Science & Biotechnology, 2004, 79(6): 859-862
- [6] Y H Zheng, C Y Wang, S Y Wang, et al. Effect of High Oxygen Atmospheres on Blueberry Phenolics, Anthocyanins and Antioxidant Capacity [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(1): 7162-7169
- [7] Juan A T, Alicia M, Yolanda G, et al. Off-odor Development in Modified Atmosphere Packaged Baby Spinach Is An Unresolved Problem [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 75(3):75-85
- [8] Kohei Y, Hiroshi T, Jinhe Bi. Residual Effects of Low Oxygen Storage of Mature Green Fruit on Ripening Processes and Ester Biosynthesis during Ripening in Bananas [J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 77(12):19-27
- [9] Ke D, Kader A A. Tolerance of 'Valencia' oranges to controlled atmospheres as determined by physiological responses and quality attributes [J]. Journal of American Society for Horticultural Science, 1990, 115(5): 779-783
- [10] Kader A, Ben-Yehoshua S. Effects of Super Atmospheric Oxygen Levels on Postharvest Physiology and Quality of Fresh Fruits and Vegetables [J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(1):1-13
- [11] S P Tian, A L Jiang, Y Xu, et al. Responses of Physiology and Quality of Sweet Cherry Fruit to Different Atmospheres in Storage [J]. Food Chemistry, 2004, 87(1): 43-49
- [12] Isabel O S, Gemma O O, Robert S F, et al. Effect of High-Oxygen Atmospheres on the Antioxidant Potential of Fresh-Cut Tomatoes [J]. Journal Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(15): 6603-6610
- [13] CT Wang, CT Wang, YP Cao, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging (MAP) with Low and Super Atmospheric Oxygen on the Quality and Antioxidant Enzyme System of Golden Needle Mushrooms (*Flammulina velutipes*) during Postharvest Storage [J]. European Food Research and Technology, 2011, 232(5): 851-860
- [14] YW Zhou, S Wan, XH Li, et al. Effect of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Browning Characteristics of Fresh-cut 'Fuji' Apple [C]. Switzerland: Advanced Materials Research, 2011: 2391-2394
- [15] WL Li, XH Li, X Fan, et al. Response of Antioxidant Activity and Sensory Quality in Fresh-cut Pear as Affected by High O₂ Active Packaging in Comparison with Low O₂ Packaging [J]. Food Science and Technology International, 2012, 18(3): 197-205
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006
- HS Li. The Experiment Principle and Technique on Plant Physiology and Biochemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006