高 O_2 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 O_2 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% O_2、90% O_2+10% CO_2、80% O_2+20% CO_2、70% O_2+30% CO_2 的气体，以自然大气为对照（CK），对 4 ℃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 O_2 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 O_2 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% O_2+10% CO_2 处理最好，然后依次为 100% O_2、80% O_2+20% CO_2 和 70% O_2+30% CO_2，CK 效果最差。该试验结果表明，采用适宜浓度的高 O_2 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
文章篇号：1673-9078(2013)10-2447-2452

Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 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 O_2 in controlling storage attributes, fresh-cut lotus root stored in modified atmospheres packages were analyzed with initial atmospheres of 100% O_2, 90% O_2+10% CO_2, 80% O_2+20% CO_2, 70% O_2+30% CO_2, and air as control check (CK) at 4 ℃. The results showed that the treatments with proper concentration of high O_2 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% O_2 + 10% CO_2, followed by 100% O_2, 80% O_2+20% CO_2 and 70% O_2+30% CO_2, while CK had the poorest effect. The results suggested that an appropriate concentration of high O_2 in MAP could maintain the quality of fresh-cut lotus root during storage.

Key words: fresh-cut; lotus root; high O_2; 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 O_2、高 CO_2，虽能在一定程度有助于果蔬保鲜，但贮藏果蔬容易出现 CO_2 伤害、异味等现象[7~9]。高 O_2 可能会缓解或抑制这种不良效应[10~11]。近年来，高 O_2 气调逐

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

渐引起广泛关注，如Odriozola-Serrano等[12]研究指出，高O_2气调条件下，鲜切番茄抗氧化能力的保持明显高于低氧O_2条件。Wang等[13]也指出，低O_2（O_2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O_2（O_2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O_2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 ℃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O_2/CO_2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 ℃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 ℃、100 ℃和150 ℃。

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

Table 1 Permeability of PVC Film

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/(m²·s)]	平均值 /[mol/(m²·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CO_2透气率为0.037 /[mol/(m²·s)]，O_2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O_2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% O_2处理的鲜切莲藕，呼吸强度在第6 d达到高峰，而80% O_2+20% CO_2和70% O_2+30% CO_2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 CO_2/(kg·h)，营养物质消耗得快，不利于贮藏。相对而言，90% O_2+10% CO_2处理呼吸强度最低，其峰值仅为7.68 mg CO_2/(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% O_2+30% CO_2、80% O_2+20% CO_2 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% O_2+10% CO_2 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)。

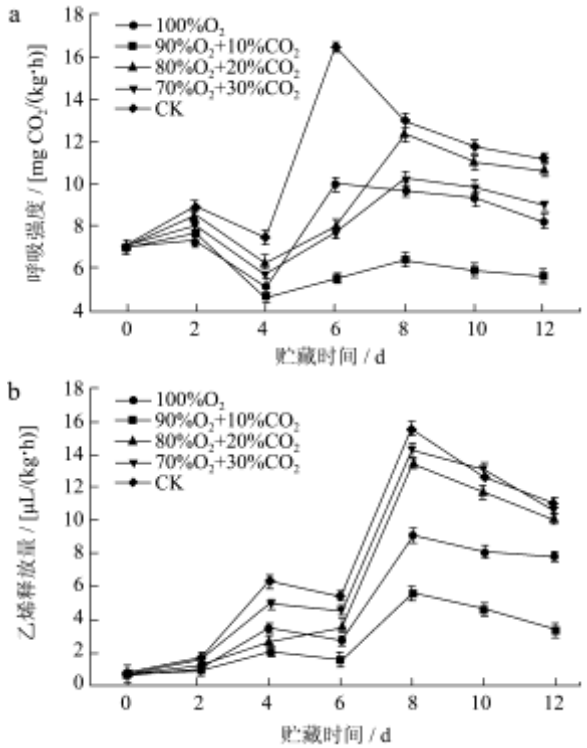


图 1 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕呼吸强度和乙烯释放量的影响

Fig.1 Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 on Respiratory rate and Ethylene release of Fresh-cut Lotus Root

2.3 高 O_2 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% O_2+30% CO_2、80% O_2+20% CO_2 和 CK 处理的鲜切莲藕 PPO 活性增加剧烈，100% O_2 次之，而 90% O_2+10% CO_2 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 O_2 薄膜气调包装对鲜切莲藕褐变度的影响

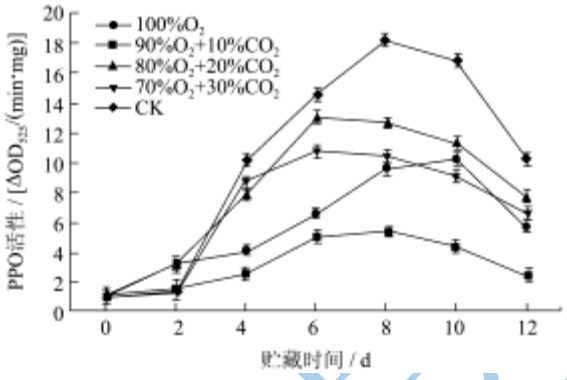


图 2 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕 PPO 活性的影响

Fig.2 Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 on PPO Activity of Fresh-cut Lotus Root

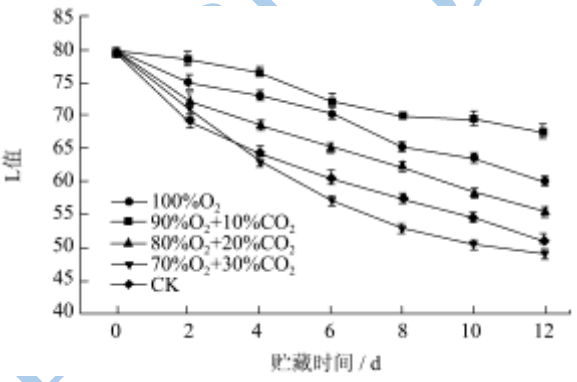


图 3 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕褐变度的影响

Fig.3 Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 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% O_2+30% CO_2 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% O_2+20% CO_2、100% O_2 处理次之。而 90% O_2+10% CO_2 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 O_2 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% O_2+10% CO_2 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% O_2 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% O_2+10% CO_2、100% O_2、70% O_2+30% CO_2、80% O_2+20% CO_2、CK。

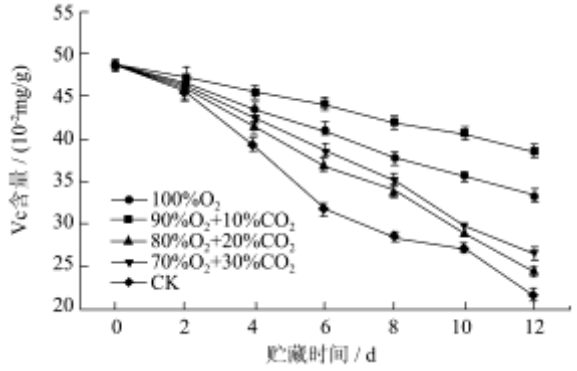


图 4 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕 Vc 含量的影响

Fig.4 Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 on Vc Content of Fresh-cut Lotus Root

2.6 高 O_2 薄膜气调包装对鲜切莲藕含水量和失重率的影响

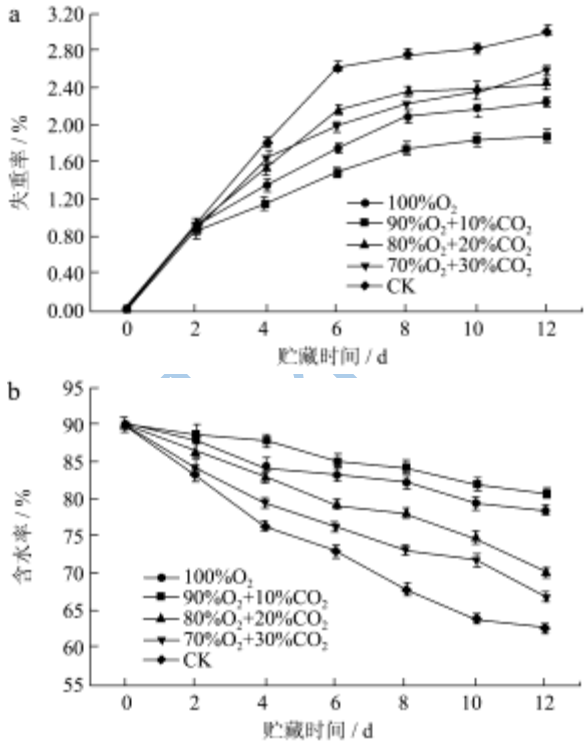


图 5 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕失重率和含水量的影响

Fig.5 Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 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% O_2+20% CO_2 次之，90% O_2+10% CO_2 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% O_2+10% CO_2 处理的莲藕含水量损失最少，贮藏 12 d 仅减少 10.49%，100% O_2 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% O_2+10% CO_2 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 O_2 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

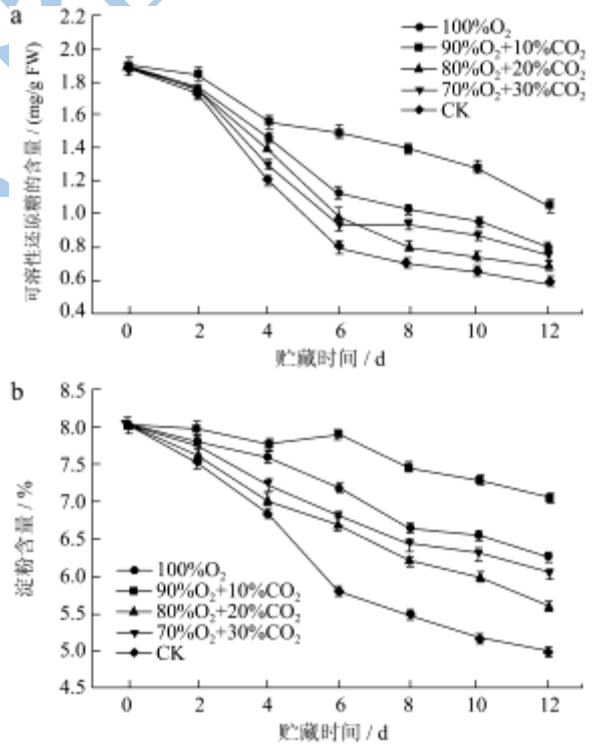


图 6 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕可溶性还原糖和淀粉含量的影响

Fig.6 Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 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分物质，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% O_2+10% CO_2 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% O_2 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% O_2+10% CO_2 和 100% O_2 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 O_2 薄膜气调包装对鲜切莲藕 SOD 活性的影响

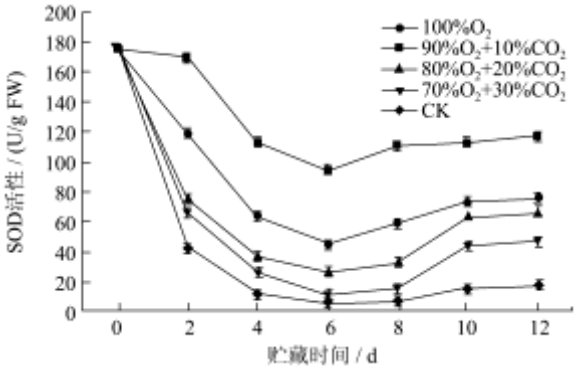


图 7 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕 SOD 活性的影响

Fig.7 Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 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 O_2^- 的刺激有关。同时表明，不同处理间 SOD 活性的差异较大，90% O_2+10% CO_2 处理的莲藕 SOD 活性明显高于其他处理。总体来看，90% O_2+10% CO_2 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% O_2 处理次之，80% O_2+20% CO_2 和 70% O_2+30% CO_2 紧随其后，CK 最低。

2.9 高 O_2 薄膜气调包装对鲜切莲藕 MDA 含量的影响

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。

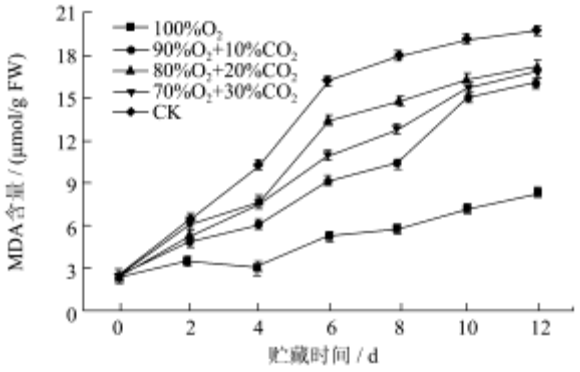


图 8 高氧薄膜气调包装对鲜切莲藕可溶性丙二醛含量的影响

Fig.8 Effects of Modified Atmospheres Package with High O_2 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% O_2+10% CO_2 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% O_2 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% O_2+10% CO_2 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%O_2+10%CO_2 处理能很好地贮藏鲜切莲藕，其次分别为 100%O_2、80%O_2+20%CO_2 和 70% O_2+30%CO_2，CK 效果最差。90%O_2+10%CO_2 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]. Bingjing: China Agricultre Press, 1997

[2] 陈月英,王林山.莲藕红枣保健果冻的研制[J].中国农学通报, 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 (NelumbonuciferaGaerth) [C]. Advances in Intelligent and Soft Computing, 2012, 165: 775-780

[5] X W Duan, Y M Jiang, X G Su, et a1. 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, 7751(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 O_2 Active Packaging in Comparison with Low O_2 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