

臭氧水处理结合气调包装对鲜切生菜 保鲜效果的影响

Effect on preservation of fresh-cut lettuce by ozonated water
combined with modified atmosphere packaging

余江涛 谢 晶

YU Jiang-tao XIE Jing

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要:研究臭氧水处理结合气调包装对鲜切生菜在 4℃ 贮藏下的保鲜效果。结果表明,臭氧水处理结合气调包装相比于对照组可以有效抑制鲜切生菜组织中细菌的生长繁殖、水分的流失、叶的降解以及多酚氧化酶的活性,降低鲜切生菜腐败、萎蔫、黄化、褐变的速度,维持鲜切生菜的感官品质,同时也有效抑制了鲜切生菜中 Vc 的氧化分解,延长了货架期,使鲜切生菜在贮藏第 14 天仍具商品价值。另外,研究结果显示在适当低浓度(5%~10%)的 O₂ 和 CO₂ 比例范围内,经过长时间(6 d 以上)贮藏后,不同的气调比例对鲜切生菜品质没有显著的影响。

关键词:臭氧水;气调包装;鲜切生菜;保鲜

Abstract: Investigated, ozonated water combined with modified atmosphere packaging on preservation of fresh-cut lettuce stored at 4℃. Results indicated that ozonated water treatment combined with modified atmosphere packaging had prominent effect of controlling the reproduction of bacterial, the decline of water content, the degradation of chlorophyll and the activity of polyphenol oxidase (PPO), reducing its rotten, wilting, yellowing and browning rate. This method maintained high Vc content and sensory quality of fresh-cut lettuce at the same time. Also, it extended shelf-life of fresh-cut lettuce and kept its commodity value at 14th day. In addition, results also indicated that after the long time storage (more than 6 days), different proportion of gas had no significant impact on the quality of fresh-cut lettuce when modified atmosphere packaging contain O₂ and CO₂ in a suitable low range (5%~10%).

Keywords: ozonated water; modified atmosphere packaging; fresh-cut lettuce; preservation

叶用莴苣,俗称“生菜”,是菊科莴苣属绿叶菜类蔬菜,具有丰富的营养及食疗保健作用^[1]。伴随着健康营养简便的鲜切果蔬餐饮文化的发展,消费者对鲜切生菜的需求量也越来越大。然而,作为一种简单加工蔬菜,相比于完整蔬菜,人为的切割加速了生菜品质的下降,导致其货架期大大缩短^[2]。这就需要鲜切果蔬保鲜技术来维持商品品质,延长其货架期。

目前,国内外对鲜切生菜保鲜技术的研究主要有:真空预冷保鲜、合适材料的包装、气调包装、热处理、辐照处理、光照处理、高压处理、消毒剂清洗处理、保鲜剂处理等^[3],其中,对消毒剂及保鲜剂处理、气调包装的研究较为广泛。臭氧是一种强氧化消毒剂,在水中的氧化还原电位为 2.07 V,因此具有很强的氧化、杀菌功能,相对于传统的消毒剂具有更广谱的杀菌效果^[4]。臭氧水在清洗处理时,在将果蔬表面杂质清除的同时还可以杀灭有害微生物,降解农药残留,降低营养物质的损失,从而维持鲜切蔬菜的品质^[5,6]。国内外对臭氧水在鲜切果蔬防腐保鲜效果上都给予了积极的评价,合理使用臭氧可以有效地提升鲜切果蔬的商业价值^[7-9]。

气调贮藏根据气体的控制方法不同,可分为控制气调贮藏(controlled atmosphere, CA)和自发性气调(modified atmosphere, MA)。但 CA 技术对设备要求高且成本较高,因此国内外均看好小包装气调即 MAP 技术^[10]。而在气调包装中注气气调包装在保鲜效果上比单纯的空气自发气调包装要出色。Carlin 等^[11]研究显示含 10% CO₂/10% O₂ 的注气气调包装相比于空气气调包装能够更有效地维持鲜切生菜的感官品质,且在贮藏过程中需氧微生物或李斯特菌无显著的增长。

目前国内外有关臭氧水清洗及注气气调包装应用在鲜切果蔬上的报道日益增多,但两者联合的研究却未有报道。

基金项目:国家农业成果转化资金项目(编号:2013GB2C000156)

作者简介:余江涛(1989—),男,上海海洋大学在读硕士研究生。

E-mail: 529865437@qq.com

通讯作者:谢晶

收稿日期:2014-12-05

本研究依据相关文献^[7-12]采用在臭氧水处理基础上结合气调包装的方法研究对鲜切生菜的保鲜效果,以期探求一种更加有效地延长鲜切生菜货架期的方法。

1 材料与方法

1.1 主要材料与试剂

生菜:购自上海市临港古棕路菜市场。挑选无病虫害,新鲜、大小基本一致的生菜作为试验材料;

NaCl、营养琼脂、草酸、2,6-二氯酚盐、NaHCO₃、抗坏血酸、石英砂、碳酸钙粉、丙酮、Na₂ HPO₄ · 12H₂ O、KH₂ PO₄、邻苯二酚、95%乙醇:分析纯,国药集团化学有限公司;试验用水:蒸馏水。

1.2 仪器与设备

全自动压力蒸汽灭菌器:YXQ-LS-30SH 型,上海博讯实业有限公司;

超净工作台:VS-1300L-U 型,苏净集团安泰有限公司;电热鼓风干燥箱:DHG-9053A 型,上海一恒仪器有限公司;

冰箱:BCD-252MHV 型,苏州三星电子有限公司;电热恒温培养箱:DHP-9162 型,上海一恒科技有限公司;紫外可见分光光度计:UV-1102 型,上海天美仪器有限公司;

活氧水机:OZ-6000 型,昆山芳成金属科技有限公司;高速冷冻离心机:H-2050R-1 型,长沙湘仪离心机有限公司;

手持式折光仪:WYT-32 型,泉州光学仪器厂;多功能气调包装机:DQB-360W 型,上海青葩食品包装机械有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 臭氧水的制备 采用活氧机制备出的臭氧水来处理鲜切生菜。根据 GB/T 5770.11—2006 中的碘量法测定臭氧水的浓度。测量结果:臭氧水浓度为 1.8 mg/L。

1.3.2 生菜前处理 将生菜叶切割成宽 3 cm 左右后用臭氧水浸泡处理 5 min,捞出沥干后装入 PE 袋中,每袋大约 80 g,分成 5 组,按表 1 包装方案处理(气体比例参考 Fernández-León 等^[11,12]的研究结果,采用低浓度的 O₂ 和 CO₂ 比例),在 4 ℃ 条件下贮藏,每次试验对每个样品组随机取样,每次每个样品组随机取样 3 袋,隔天对各指标进行测定。

1.3.3 感官指标的评定 根据色泽、气味、质地、外型几个方面按数字化计分法^[13]进行评分。评分标准如下:9 分:品质完好,鲜绿脆嫩,无褐变腐烂;7 分:品质较好,叶片较脆嫩,切面出现轻微暗淡,无褐变腐败;5 分:感官接受临界,切口出现轻微褐变,叶片轻微黄化变软,无腐败变质;3 分:品质较差,叶片黄化较严重,切口局部褐变,稍有腐烂,不可食用;1 分:完全变坏,严重萎蔫,腐烂变臭,不可食用。

表 1 鲜切生菜包装方案

Table 1 Packaging method

编号	包装方案
CK	不封口
A	空气包装封口
B	充入 10% CO ₂ /10% O ₂ /80% N ₂ 封口
C	充入 5% CO ₂ /10% O ₂ /85% N ₂ 封口
D	充入 5% CO ₂ /5% O ₂ /90% N ₂ 封口

1.3.4 细菌总数的测定 参照 GB 4789.2—2010 进行。

1.3.5 含水量的测定 采用电烘箱法^[14]。按式(1)计算含水量:

$$\Phi = \frac{m_f - m_d}{m_f} \times 100\%$$
 (1)

式中:

Φ——含水量,%;

m_f——鲜重,g;

m_d——干重,g。

1.3.6 营养品质的测定

(1) Vc 含量的测定:参照 GB 6195—1986 进行。

(2) 叶绿素含量的测定:分光光度法^[15]。

(3) 可溶性固形物的测定:折光仪法,用手持式折光仪测定。

(4) 多酚氧化酶活性的测定:参考 Zhan 等^[16]的方法,修改如下:① 酶液制备。称取 5.0 g 组织样品,置于研钵中,加入 5.0 mL 磷酸盐缓冲液(50 mmol/L,pH 7.0),在冰浴条件下研磨成匀浆,倒入离心管中,再加 15 mL 磷酸盐缓冲液,于 4 ℃、20 000 r/min 离心 20 min,收集上清液即酶提取液,低温保存备用。② 酶活测定。取一个比色皿加入 2.85 mL 2.5 mmol/L 邻苯二酚溶液(以 50 mmol/L,pH 7.0 的磷酸盐缓冲液配制,预先 25 ℃ 水浴 30 min)再加入 0.15 mL 酶提取液,置于分光光度计样品室中。以蒸馏水为参比,在反应 15 s 时开始记录反应体系在波长 480 nm 处的吸光度值,作为初始值,然后每隔 15 s 记录一次,连续测定,至少获取 6 个点的数值,重复 2 次。一单位的多酚氧化酶活性值定义为酶提取液每分钟引起邻苯二酚溶液吸光值升高 0.01。

1.3.7 数据处理 各指标数据均使用 SPSS Statistics 19 软件进行差异性显著分析,利用 origin 8.5 软件进行数据处理及绘图。

2 结果与分析

2.1 鲜切生菜的感官品质变化

由表 2 可知,对照组样品品质衰退相对迅速,在贮藏的第 10 天就接近感官临界,之后便失去商品价值,而气调包装的 4 组除了 A 组在贮藏第 14 天到达临界接受点外,其它各组均大于 5 分,在感官上依旧具有商品价值。

表 2 鲜切生菜感官品质评定
Table 2 Evaluation of sensory quality of fresh-cut lettuce
(n=3)

贮藏天 数/d	CK	气调包装组			
		A	B	C	D
0	9.0±0.00	9.0±0.00	9.0±0.00	9.0±0.00	9.0±0.00
2	8.0±0.57	8.2±0.53	8.4±0.45	8.2±0.67	8.0±0.61
4	6.8±0.07	7.2±0.21	8.0±0.21	7.8±0.00	7.8±0.14
6	6.4±0.46	7.0±0.24	7.8±0.18	7.6±0.20	7.6±0.38
8	6.0±0.86	6.4±0.66	7.6±0.36	6.8±0.44	7.0±0.46
10	5.4±0.33	6.2±0.34	6.8±0.46	6.4±0.34	6.6±0.33
12	4.8±0.90	5.6±0.84	6.8±0.55	6.4±0.44	6.2±0.43
14	4.4±0.63	5.0±0.81	6.4±0.45	6.2±0.17	6.2±0.36

2.2 鲜切生菜的细菌总数变化

由图 1 可知,随着贮藏时间的延长,细菌总数均呈上升趋势。贮藏过程中,对照组细菌总数增长较其它组快。在贮藏第 6 天开始到贮藏末期,对照组细菌总数均显著 ($P<0.05$) 高于其它组。根据张立奎等^[17]的研究结果,细菌总数 $\leq 6 \lg \text{CFU/g}$,鲜切生菜组织不会发生腐败,从图 1 可知,对照组在贮藏 10 d 后,细菌总数超过了 $6 \lg \text{CFU/g}$,而其它组的样品均未超过腐败界限。在贮藏的第 14 天,B 组样品菌落总数依旧在 $6 \lg \text{CFU/g}$ 以内,极显著 ($P<0.01$) 低于细菌总数最高的对照组。相似的研究中,Waghmare R B 等^[18]利用 5% O_2 /10% CO_2 /85% N_2 的气调包装对鲜切木瓜保鲜效果研究中发现此气调包装对鲜切木瓜贮藏期间微生物生长有明显的抑制效果,在贮藏第 5 天,菌落总数比对照组少了 1 个数量级。这表明低浓度 O_2 和 CO_2 的气调包装可能对鲜切果蔬贮藏期间微生物的生长有抑制作用。

2.3 鲜切生菜的含水量变化

生菜是一种含水量非常高的蔬菜,其初始含水量在 97%

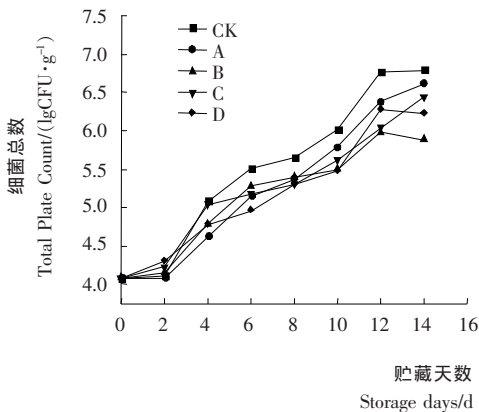


图 1 鲜切生菜贮藏过程的细菌总数
Figure 1 Aerobic bacterial count during fresh-cut lettuce storage (n=3)

以上,由图 2 可知,各组样品在贮藏开始的 2 d 内含水量下降较快,可能是生菜经过鲜切处理产生的机械损伤短期内大大增加了生菜的蒸腾作用。对照组的样品在贮藏期间含水量下降较明显,而气调组的样品在贮藏期间含水量的下降较缓慢,这可能是对照组样品未做封口包装,样品与环境空气的接触加速了其含水量的下降。在贮藏后期(8 d 之后)气调组含水量均显著 ($P<0.05$) 高于对照组,其中试验组 B 包装持水性最佳。

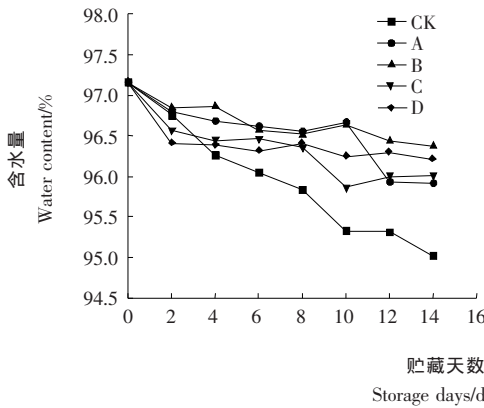


图 2 鲜切生菜贮藏过程的含水量
Figure 2 Water content during fresh-cut lettuce storage (n=3)

2.4 鲜切生菜营养品质的变化

2.4.1 鲜切生菜 V_c 含量变化 V_c 是衡量果蔬营养的重要指标,但它是一种不稳定的物质,具有很强的还原性,容易被空气中的氧气还原。由图 3 可知,各组样品在贮藏前期其 V_c 含量均出现大幅度的下降,D 组下降的幅度较其它组缓慢,可能是由于该组包装中氧气含量较少只有 5%,而其它试验组包装中氧气含量均为 10%,对照组甚至达到了 20% 以上,充足的氧气加速了样品 V_c 含量的下降;在贮藏过程的前 6 d,试验组 D 的 V_c 含量最高,显著 ($P<0.05$) 高于对照组,但在贮藏末期, V_c 含量逐渐稳定,各气调组样品与对照组样品无显著 ($P>0.05$) 的差异。张引成等^[19]在研究 CO_2 气调包装对鲜切结球莴苣贮藏品质的影响中用 10% O_2 /10% CO_2 /80% N_2 的气调包装在贮藏的前 3 d 对鲜切结球莴苣 V_c 的降解有显著的抑制作用,而随贮藏时间的延长其抑制效果逐渐减弱。这表明适宜的气调包装可能在短期内(6 d 内)对鲜切蔬菜 V_c 的氧化分解有显著抑制作用,而在长时间贮藏下(6 d 以上),则没有明显的效果。

2.4.2 鲜切生菜叶绿素含量变化 由图 4 可知,贮藏期间各组样品叶绿素含量均呈下降趋势,其中 B 组护绿效果较好,其样品叶绿素含量在贮藏第 6 天开始显著 ($P<0.05$) 高于对照组,对照组样品叶绿素含量下降较气调组快,而气调组样品叶绿素含量下降均比较缓慢,到贮藏的末期各气调组叶绿素含量均显著高于对照组。张引成等^[19]在 CO_2 气调包装对鲜切结球莴苣保鲜效果研究中也发现 O_2 和 CO_2 相对

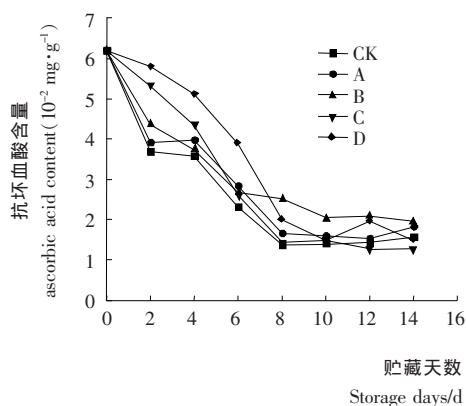


图 3 鲜切生菜贮藏过程的 V_c 含量
Figure 3 Vc content during fresh-cut lettuce storage ($n=3$)

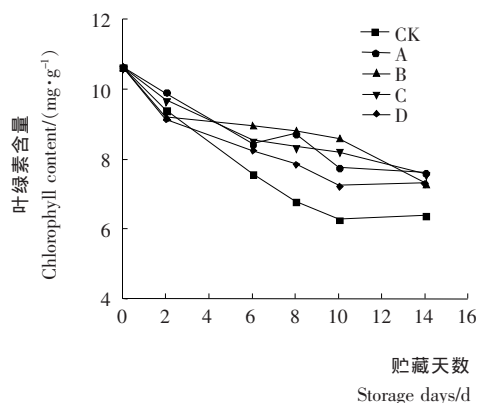


图 4 鲜切生菜贮藏过程的叶绿素含量
Figure 4 Chlorophyll content during fresh-cut lettuce storage ($n=3$)

体积分数较低的各组气调包装对鲜切结球莴苣均有一定的护绿效果,但是 CO₂ 相对体积分数较高(50%)的气调包装其样品的叶绿素含量下降反而加快。这说明适宜气体比例的气调包装对鲜切生菜有一定的护绿作用,对感官品质的维持有明显效果。

2.4.3 鲜切生菜可溶性固形物含量变化 可溶性固形物主要是可溶性的糖类物质,其含量及变化一定程度上反映了果蔬的成熟度和代谢速度。由图 5 可知,鲜切生菜的可溶性固形物含量在贮藏过程中有轻微的波动,但总体呈现逐渐下降的趋势。根据显著性分析显示,在贮藏过程中,各组样品可溶性固形物含量无显著($P>0.05$)差异,试验组的气调包装对降低鲜切生菜可溶性固形物含量的消耗并无显著作用。Gomes M H 等^[20]在研究气调包装中氧气浓度对鲜切梨品质变化的影响中也有类似的结果,研究中各组气调包装中鲜切梨可溶性固形物的变化没有显著的差异。研究中气调组与对照组样品可溶性固形物含量没有显著差异,可能是研究所采用的气调比例对降低鲜切果蔬的代谢作用没有显著的效果,而是更多依靠抑制微生物生长繁殖等其它方式维持鲜

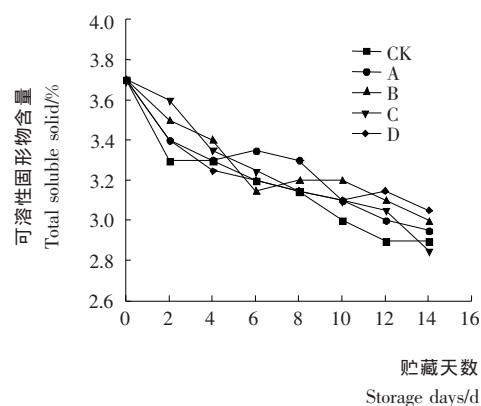


图 5 鲜切生菜贮藏过程的可溶性固形物含量
Figure 5 Soluble solids content during fresh-cut lettuce storage ($n=3$)

切果蔬的品质。

2.5 鲜切生菜的多酚氧化酶(PPO)活性变化

由图 6 可知,鲜切生菜 PPO 活性在贮藏前期迅速升高,除了 A 组,其它各组样品均在贮藏的第 2~4 天其 PPO 活性达到了最高峰,随后均逐渐降低并维持在一个相对较稳定的水平。对照组样品 PPO 活性在第 4 天达到最高,显著($P<0.05$)高于其它各组,试验组 A 样品 PPO 活性在第 6 和 8 天也显著($P<0.05$)高于其它各组。这可能是导致对照组和试验组 A 样品较快发生褐变从而使感官品质下降的原因之一。相似的,Xing Y G 等^[21]在研究中采用的气调包装对鲜切莲藕 PPO 活性抑制有明显效果,从而有效延缓鲜切莲藕发生褐变。这表明气调包装对鲜切蔬菜 PPO 活性有一定的抑制作用,从研究结果看,低 CO₂ 和低 O₂ 的气调包装对鲜切生菜 PPO 活性抑制效果更好。

3 讨论与结论

研究结果表明,在臭氧水清洗处理基础上结合气调包装可以有效延长鲜切生菜的货架期,从 10 d 延长到 14 d。气调

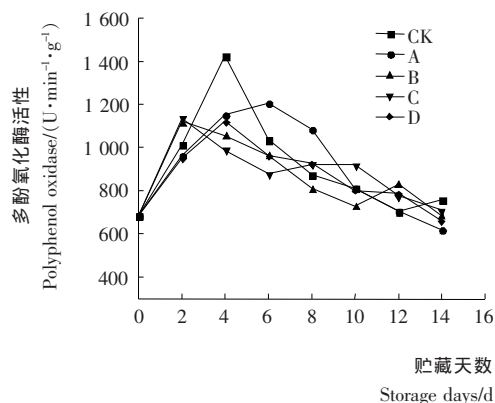


图 6 鲜切生菜贮藏过程的 PPO 活性
Figure 6 PPO activity during fresh-cut lettuce storage ($n=3$)

包装,尤其是充入固定比例气体的方式,在鲜切生菜贮藏期间有效延缓了其品质的衰退,其感官评分在第 14 天依然在可接受范围之内,而对照组在贮藏 10 d 后失去食用价值;有效抑制了微生物的生长繁殖,细菌总数在贮藏期间相比对照组下降了 0.5~1.0 个数量级;有效维持了鲜切生菜的水分,维持其脆嫩饱满的新鲜状态;在贮藏的前 6 d,相比对照组有效抑制了 PPO 的活性,延缓了鲜切生菜的褐变;同时,也有效抑制了鲜切生菜中 V_c 和叶绿素的分解,一定程度上维持了鲜切生菜的营养品质。另外,充气包装的 3 个试验组在各项指标上差异并不明显,这说明气调在适当低浓度(5%~10%)的 O_2 和 CO_2 比例范围内,不同气调比例对鲜切生菜品质的影响可能没有显著的差异。此外,在本研究中遗留两个问题:① 气调包装是通过降低鲜切生菜代谢速度来维持其品质起主导作用还是通过抑制微生物生长来维持鲜切生菜品质起主导作用;② 气调比例与鲜切生菜 PPO 活性之间的关系,在保证鲜切生菜呼吸代谢的同时能否最大限度的抑制其 PPO 活性。这需要在以后的工作中进一步研究,以找到最佳的气调比例来达到各影响因素的平衡点,更大限度发挥气调包装在鲜切果蔬保鲜贮藏中的作用。

参考文献

- 冯双庆,赵玉梅. 水果蔬菜保鲜实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004:172.
- 胡文忠. 鲜切果蔬科学与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009:1.
- 余江涛,谢晶. 生菜保鲜技术研究现状[J]. 食品与机械,2013,29(5):226~233.
- Xu Liangji. Use of ozone to improve the safety of fresh fruits and vegetables[J]. Food Technology, 1999, 53(10): 58~61.
- 林永艳,谢晶,朱军伟. 清洗方式对鲜切生菜保鲜效果的影响[J]. 食品与机械,2012,28(1):211~213.
- 张宁. 臭氧降解蔬菜中农药残留机理与效果研究[J]. 食品与机械,2006,22(4):57~59,66.
- 张向阳,王丹,马超. 清洗方式对鲜切胡萝卜处理效果的影响[J]. 食品与机械,2012,28(5):189~192.
- 王瑾,林向阳,阮榕生. 高浓度臭氧水对鲜切花椰菜保鲜的研究[J]. 食品科学,2008,29(8):607~611.
- 王肱,谢晶. 臭氧水处理对鲜切茄子保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技,2013,34(3):324~328.
- 陈欢欢,邓玉璞,冯建华,等. 青椒 MAP 保鲜效果研究[J]. 食品科技,2013,38(10):36~39.
- 张玉敏,胡长鹰,吴宇梅,等. 气调包装对番石榴贮藏品质的影响[J]. 食品与机械,2012,28(2):180~183.
- Fernández-León M F, Fernández-León A M, Lozano M, et al. Different postharvest strategies to preserve broccoli quality during storage and shelf life: Controlled atmosphere and 1-MCP[J]. Food Chemistry, 2013(138): 564~573.
- Ana B M, Daniel R, Catherine B R. Green tea extract as a natural antioxidant to extend the shelf-life of fresh-cut lettuce[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008(9): 593~603.
- 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,2007:31.
- William P I, Paul R B. Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N, N-dimethylformide and 80% acetone[J]. Plant Physiol, 1985(77): 483~485.
- Zhan Lijuan, Li Yu, Hu Jinqiang. Browning inhibition and quality preservation of fresh-cut romaine lettuce exposed to high intensity light[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2012(14): 70~76.
- 张立奎,陆兆新,郁志芳. 臭氧水处理鲜切生菜贮藏期间的品质变化[J]. 食品与发酵工业,2004,30(3):128~131.
- Waghmare R B, Annapure U S. Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013(85): 147~153.
- 张引成,雷云,王志英. 二氧化碳气调包装对鲜切结球莴苣贮藏品质和生理的影响[J]. 食品科学,2012,33(8):318~322.
- Gomes M H, Fundo J F, Pocas M F. Quality changes in fresh-cut 'Rocha' pear as affected by oxygen levels in modified atmosphere packaging and the pH of antibrowning additive[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012(74): 62~70.
- Xing Yage, Li Xihong, Xu Qianlian. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (Nelumbo nucifera Gaertn) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010(11): 684~689.

(上接第 85 页)

- 黄丽雪,刘丽霞,董同力,等. 高效液相色谱法测定 3 种邻苯类增塑剂检测条件的研究[J]. 包装工程,2012,33(17):39~43.
- 陈建煌. 高效液相色谱法分析皮革制品中 16 种塑化剂[J]. 西部皮革,2013,35(6):40~44.
- 邵栋梁. GC—MS 法测定白酒中邻苯二甲酸酯残留量[J]. 化学分析计量,2010,19(6):33~35.
- 谭和平,钱杉杉,史谢飞. GC/MS 法测定室内空气中邻苯二甲酸酯类物质[J]. 分析试验室,2012,31(8):15~19.
- 李飞,陈静,张耀广. GC—MS 检测乳制品中 15 种邻苯二甲酸酯物质方法研究[J]. 中国乳品工业,2011,39(10):50~53.
- 方志青,林野,王娅,等. 气相色谱—质谱法测定塑料水杯浸出液中 16 种邻苯二甲酸酯[J]. 食品与机械,2014,30(2):78~80.
- 刘红河,黄晓群,王晖. 高效液相色谱—串联质谱法测定食品中邻苯二甲酸酯[J]. 现代预防医学,2008,35(1):119~121.
- 黄珂,赵东豪,黎智广. 高效液相色谱—串联质谱法测定水中邻苯二甲酸酯[J]. 海洋环境科学,2011,30(4):590~593.
- 杨荣静,卫碧文,高欢. 高效液相色谱—串联质谱法检测食品接触材料中的 17 种邻苯二甲酸酯类增塑剂[J]. 环境化学,2012,31(6):925~929.