

酸性电解水联合气调包装对鲜切生菜品质的影响

Effect of acidic electrolytic water combined with modified atmosphere packaging on the quality of fresh-cut lettuce

乔永祥 谢晶 雷昊 张栓栓

QIAO Yong-xiang XIE Jing LEI Hao ZHANG Shuan-shuan

(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:以鲜切散叶生菜为研究对象,在 4℃ 贮藏条件下研究酸性电解水联合气调包装对其保鲜效果的影响。研究表明:与 pH 2.3、有效氯含量为 60 mg/L 的酸性电解水联合空气包装(21% O₂+1% CO₂)的对照组相比,电解水联合气调包装可以有效抑制鲜切生菜微生物的生长繁殖,延缓水分和 V_C 的损失,抑制新陈代谢和可溶性固形物含量的减少,抑制叶绿素的分解,延缓褐变黄化的速度,保持鲜绿的外观,维持鲜切生菜的感官品质。采用酸性电解水联合气调包装(5% O₂和 10% CO₂)可以将鲜切生菜的货架期从 6~9 d 延长到 15 d,并保持良好的感官品质。

关键词:电解水;气调包装;鲜切生菜;感官品质;货架期

Abstract: The influence of acidic electrolytic water combined with modified atmosphere packaging (MAP) on preservation of fresh-cut lettuce during storage at 4℃ was studied. Results indicated that compared with the control group of acidic electrolytic water (pH 2.3, available chlorine content 60 mg/L) combined with air packaging (21% O₂+1% CO₂), the pretreatment of electrolysis water combined with MAP could effectively inhibit the growth and reproduction of microorganisms, delay loss of moisture and vitamin C, inhibit metabolism and reduction of soluble solids content as well. Moreover, it could inhibit the decomposition of chlorophyll and reduce its yellowing and browning rate. In addition, it also helped to maintain the good appearance and sensory quality of fresh-cut lettuce. Therefore, the shelf-life of fresh-cut lettuce could be extended from 6~9 days to 15 days by using acidic electrolytic water combined with MAP of 5% O₂ and 10% CO₂ to maintain good sensory quality.

Keywords: acidic electrolytic water; modified atmosphere packaging;

fresh-cut lettuce; sensory quality; shelf life

生菜又称叶用莴苣,根据叶的形态可分为散叶生菜和结球生菜,是一种营养丰富绿色健康的绿叶蔬菜,由于生菜中富含维生素、碳水化合物和矿物质等营养物质,常作为蔬菜沙拉食用^[1-2]。随着人们生活水平的提高,鲜切生菜由于方便即食、营养丰富而越来越受到人们的欢迎,特别是在生活节奏较快的大城市,鲜切生菜的需求量越来越大^[3-4]。在生产销售过程中切割边缘褐变是鲜切生菜最常见的问题之一,由于机械损伤,导致褐变反应加剧、呼吸作用加强进而加速生菜腐烂变质等一系列不良反应,从而缩短其货架期^[5]。因此找到切实可行的加工工艺对维持生菜的感官品质、保证食用安全十分重要。

气调包装是一种通过改变包装袋内的气体组分,能经济高效延长新鲜蔬菜货架期的保鲜技术。通过气调包装可以降低新鲜蔬菜的代谢活性和化学氧化反应速率,延缓成熟和衰老,抑制微生物生长,减缓褐变反应,降低蒸腾速率和呼吸速率,降低乙烯等产物的生物合成,从而使蔬菜初始的新鲜状态得到最大限度的保留^[5-6]。此外,酸性电解水由于其广谱高效、杀菌效果显著、操作简单、安全无害,近几年来也受到了广泛关注,已成为一种应用广泛的新型杀菌剂^[7]。有研究表明:与传统杀菌剂次氯酸钠相比,酸性电解水可以更好地杀灭蔬菜表面的病原菌,其中 Rahman 等^[8]通过用酸性电解水、次氯酸钠等清洗剂处理菠菜 5 min,发现酸性电解水杀菌效果最好,可使大肠杆菌 O157:H7 和单增李斯特菌分别减少 2.3 lg(CFU/g)和 2.43 lg(CFU/g);李华贞等^[9]比较了酸性电解水和次氯酸钠对菠菜杀菌效果,研究发现酸性电解水使菠菜表面致病菌下降 2.07 lg(CFU/g),次氯酸钠仅为 1.41 lg(CFU/g)。气调包装虽然可以抑制鲜切蔬菜的新陈代谢,延缓衰老,延长货架期,但对鲜切生菜表面残留的微生物没有杀灭效果,因此本试验将酸性电解水的杀菌作用与气调包装相结合,拟研究其对鲜切生菜感官品质的影响,以期

基金项目:2015 年度国家星火计划资助项目(编号:2015GA680007);上海市绿叶菜产业体系建设项目

作者简介:乔永祥,男,上海海洋大学硕士研究生。

通信作者:谢晶(1968—),女,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: jxie@shou.edu.cn

收稿日期:2017-01-02

找到一种能更好地维持鲜切生菜感官品质的保鲜方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

新鲜生菜:购自上海市浦东新区临港新城某菜市场,挑选颜色鲜亮、脆嫩、无腐烂虫害、大小一致的生菜为试验原料。

1.2 仪器与设备

超净工作台:VS-1300L-U 型,苏净集团安泰有限公司;
冰箱:BCD-252MHV 型,苏州三星电子有限公司;
酸性电解水生成器:FW-200 型,日本 AMANO 有限公司;
电热鼓风干燥箱:DHG-9053A 型,上海一恒仪器有限公司;
高速冷冻离心机:H-2050R-1 型,长沙湘仪离心机有限公司;
全自动压力蒸汽灭菌器:YXQ-LS-30SH 型,上海博讯实业有限公司;
紫外分光光度计:UV-1102 型,上海天美仪器有限公司;
手持式折光仪:WYT-32 型,泉州光学仪器厂;
电热恒温培养箱:DHP-9162 型,上海一恒科技有限公司;
色彩色差仪:CR-400 型,日本尼康有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 电解水制备 电解水生成器电解 0.8% NaCl 产生,经测定 pH 值为 2.3,有效氯含量(ACC)为 60 mg/L 的强酸电解水。
1.3.2 生菜预处理 挑选颜色鲜亮、脆嫩、无腐烂虫害、大小一致的生菜在电解水中浸泡 5 min 捞出沥干,将整棵生菜切成 3 cm 小段并装真空保鲜袋,按照表 1 充填气体(气体比例参照 Paillart 等^[10-11]研究结果),在 4 ℃冰箱冷藏保存,每次试验每组样品随机抽取 3 袋,每隔 2 d 测一次感官和理化指标。

表 1 包装方案
Table 1 Modified atmosphere packaging treatments %

序号	气体成分比例		
	O ₂	CO ₂	N ₂
CK	21	1	78
A	5	5	90
B	5	10	85
C	10	5	85
D	10	10	80

1.3.3 感官质量评价 参照 King 等^[12]的方法,并稍加修改:每次邀请 3 名经过培训具有一定蔬菜感官评价经验的叶菜感官评价员组成评定小组,采用数字化评分方法(1~9 分)对各试验结果进行判别打分:9 分为色泽鲜艳,质地脆嫩,无褐变;7 分为色泽较鲜艳,无异味;5 分为色泽黯淡,轻微褐变,有异味;3 分为褐变严重,叶片萎蔫,有异味;1 分为

严重腐烂,有异味。
1.3.4 菌落总数的测定 按 GB/T 4789.2—2008《食品卫生微生物学检验菌落总数测定》执行。
1.3.5 理化指标测定
(1) 叶绿素含量测定:采用分光光度计测量^[13]。
(2) 色差测定:利用色差仪测定鲜切生菜叶片表面色泽,并记录 L^* 和 a^* 值。
(3) V_C 含量测定:2,6-二氯酚法^[14]。
(4) 含水量:按式(1)计算。
$$A = \frac{A_3 - A_1}{A_2 - A_1} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:
 A ——失重率,%;
 A_1 ——空坩埚质量,g;
 A_2 ——坩埚和生菜的质量,g;
 A_3 ——干燥后坩埚和蔬菜的质量,g。
(5) 可溶性固形物:折光仪法,用手持式折光仪测定。
1.3.6 数据处理与统计分析 各指标均做 3 次平行,均采用 Microsoft Excel 2013 软件进行数据整理,试验结果以“平均值±标准差”表示;用 Origin 7.5 软件绘图,应用 SPSS Statistics 19.0 进行差异显著分析($P < 0.05$ 为差异显著),用 Duncans 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 鲜切生菜感官品质的变化

由图 1 可知,随着贮藏时间的延长,各处理组的样品感官评分逐渐降低,其中对照组样品感官品质衰败的最快,在贮藏第 6 天与各气调包装组差异显著($P < 0.05$),其感官评分为 6.5 分,有轻微异味,失去脆嫩质感,而在第 9 天有明显的臭味,色泽黯淡,失去商品价值;在处理组样品中 B 组感官评分最高,在第 15 天才开始出现异味,叶片失去脆嫩的质感,达到销售极限,而此时对照组样品叶片萎蔫褐变,腐烂变质,可能是对照组中的氧气含量较高,微生物比较活跃,新陈代谢快,从而使空气包装样品的货架期大大缩短。在各气调包装组中,A 组和 B 组差异不显著($P > 0.05$),C 组和 D 组差

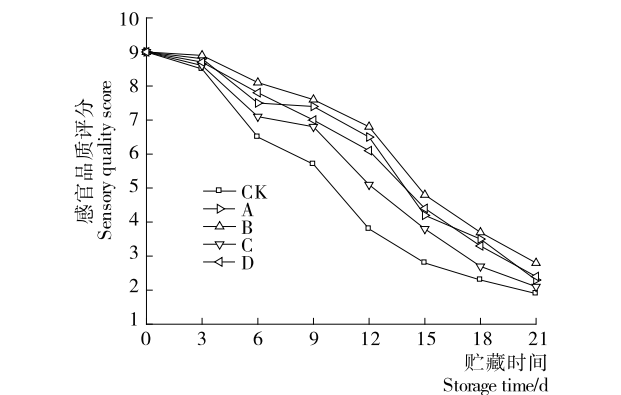


图 1 电解水联合气调包装对鲜切生菜感官品质的影响
Figure 1 Effect of electrolytic water combined with modified atmosphere packaging on the sensory quality of fresh-cut lettuce

异显著($P<0.05$),在第 12 天 C 组感官评分为 5.1,出现异味,失去商业价值,而 D 组在第 15 天才出现异味,这可能是在氧气浓度(10%)一定时,适当提高二氧化碳浓度可以抑制鲜切生菜的代谢活动,抑制褐变,从而延长货架期。Garrido 等^[15]研究发现采用低氧高二氧化碳对菠菜进行气调包装可以抑制组织衰老和异味的产生,表明适当提高二氧化碳浓度可以改善蔬菜的外观品质。

2.2 鲜切生菜菌落总数的变化

蔬菜经过切割处理后,容易被微生物污染,出现腐烂变质,失去商业价值。由图 2 可知,随着贮藏时间的增加,不同处理组菌落总数呈现上升趋势,其中对照组样品菌落总数急剧增长,在贮藏第 6 天细菌总数高于 6.00 lg(CFU/g),可能是对照组氧气充足,更利于微生物生长繁殖;有研究^[16]显示,当细菌总数小于 6.00 lg(CFU/g)时,生菜不会发生腐败变质,对照组在第 9 天菌落总数达到 6.53 lg(CFU/g),开始腐烂变质。而各气调包装组在第 15 天才超过临界值,且各处理组之间差异不显著($P>0.05$)。在贮藏期间,A 组菌落总数高于 B 组,C 组高于 D 组,可能是在氧气含量一定的情况下,高浓度的二氧化碳抑制了微生物的生长繁殖,说明在氧气比例适当的情况,高浓度二氧化碳可以抑制鲜切生菜的

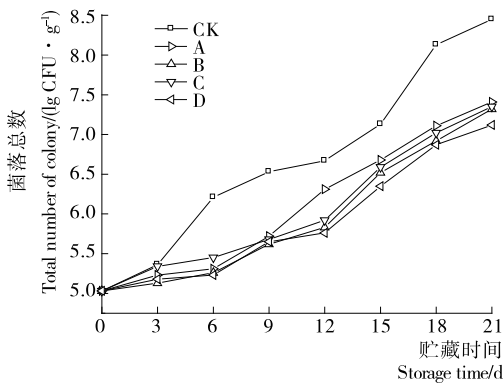


图 2 电解水联合气调包装对鲜切生菜细菌总数的影响
Figure 2 Effect of electrolytic water combined with modified atmosphere packaging on total bacterial count of fresh-cut lettuce

腐烂变质。

2.3 鲜切生菜叶绿素含量的变化

新鲜蔬菜中的叶绿素由于其不稳定容易被分解,从而使新鲜蔬菜的正常光合作用无法进行,造成黄化衰老,影响其外观,失去商品价值^[17]。由图 3 可知,随着贮藏时间的延长各处理组叶绿素含量整体呈下降趋势,在贮藏前 9 d,对照组样品中叶绿素含量迅速降低,由 1.31 mg/g 降低到 0.70 mg/g,与各处理组差异显著($P<0.05$);而各气调包装组在贮藏初期叶绿素损失缓慢,在贮藏末期叶绿素损失严重,且差异不显著($P>0.05$),这可能是由于贮藏末期,鲜切生菜组织的细胞膜遭到破坏,细胞液外露,导致叶绿素被空气中的氧气氧化分解,造成萎蔫黄化^[18]。

2.4 鲜切生菜色差的变化

新鲜蔬菜的外观是消费者考虑的重要因素之一,色泽与其外观关系密切,在一定程度上可以反映新鲜果蔬的品质状况。由表 2 可知,随着贮藏时间的延长各组样品 L^* 值呈下降趋势, a^* 值大体呈上升趋势,其中气调包装组可以明显延缓 L^* 值的下降。 L^* 值越低说明鲜切生菜表面色泽越暗,褐变程度越高, a^* 值越大说明鲜切生菜由绿变红的程度越大^[19-20]。在第 9 天对照组 L^* 值为 49.49,与贮藏初期相比

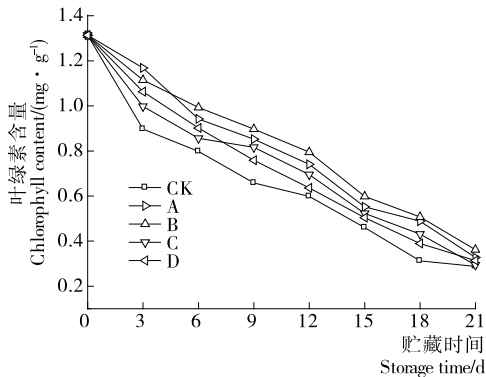


图 3 电解水联合气调包装对鲜切生菜叶绿素的影响
Figure 3 Effect of electrolytic water combined with modified atmosphere packaging on the chlorophyll content of fresh-cut lettuce

表 2 电解水联合气调包装对鲜切生菜色泽的影响[†]
Table 2 Effect of electrolytic water combined with MAP on color of fresh-cut lettuce

参数	组别	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d	18 d	21 d
L^*	CK	56.61±0.16	54.93±0.26 ^c	53.64±0.15 ^e	49.49±0.26 ^d	48.31±0.25 ^d	47.32±0.16 ^c	45.28±0.15 ^d	44.92±0.49 ^a
	A	56.61±0.16	55.65±0.3 ^{ab}	54.79±0.07 ^a	52.48±0.11 ^c	50.36±0.13 ^c	48.29±0.14 ^b	46.27±0.25 ^b	44.23±0.14 ^b
	B	56.61±0.16	55.78±0.13 ^a	54.44±0.17 ^b	53.02±0.49 ^a	51.65±0.27 ^b	47.24±0.15 ^c	45.75±0.16 ^c	44.42±0.15 ^b
	C	56.61±0.16	55.52±0.15 ^b	54.17±0.13 ^c	52.54±0.21 ^{bc}	51.76±0.08 ^a	49.19±0.05 ^a	45.85±0.15 ^c	43.22±0.12 ^c
	D	56.61±0.16	55.82±0.05 ^a	53.93±0.11 ^d	52.82±0.31 ^{ab}	50.89±0.07 ^a	48.16±0.26 ^b	46.53±0.16 ^a	44.38±0.15 ^b
a^*	CK	-20.43±0.12	-19.12±0.12 ^a	-18.52±0.15 ^a	-18.43±0.08 ^a	-18.14±0.13 ^a	-17.23±0.21 ^a	-17.25±0.09 ^{ab}	-17.02±0.11 ^a
	A	-20.43±0.12	-19.31±0.15 ^b	-18.83±0.08 ^b	-18.65±0.12 ^b	-18.47±0.08 ^c	-17.36±0.15 ^a	-17.56±0.13 ^b	-17.15±0.12 ^{ab}
	B	-20.43±0.12	-19.25±0.13 ^{ab}	-18.80±0.12 ^b	-18.59±0.08 ^b	-18.32±0.15 ^{bc}	-17.53±0.14 ^b	-17.68±0.12 ^{ab}	-17.09±0.1 ^{ab}
	C	-20.43±0.12	-19.28±0.07 ^{ab}	-18.74±0.11 ^b	-18.66±0.12 ^b	-18.34±0.12 ^{ab}	-17.61±0.08 ^b	-17.36±0.11 ^{ab}	-17.23±0.15 ^b
	D	-20.43±0.12	-19.23±0.12 ^{ab}	-18.65±0.08 ^a	-18.56±0.11 ^b	-18.42±0.12 ^{bc}	-17.68±0.23 ^b	-17.28±0.08 ^a	-17.23±0.11 ^{ab}

[†] 同列母表示不同处理之间的显著性差异($P<0.05$)。

下降了 12.6%，与处理组差异显著($P<0.05$)，而各气调包装组在第 15 天 L^* 值仍保持在较高水平，同时各气调包装组 a^* 值上升趋势比对照组较缓，且各处理组之间差异不显著($P>0.05$)，可能是相对于对照组的高氧气浓度，各处理氧气浓度较低，呼吸作用减弱，抑制褐变速度，延缓鲜切生菜变暗和由绿变红的速度，从而维持鲜切生菜鲜亮的外观。Escalona 等^[21]研究发现鲜切生菜在低浓度氧环境下可以抑制呼吸作用，延缓新陈代谢，使鲜切生菜保持良好的外观，这与本试验研究结果一致。

2.5 鲜切生菜 V_c 含量的变化

新切蔬菜中营养物质 V_c 容易被氧化，造成损失，因此 V_c 含量是衡量贮藏期间蔬菜品质和反映营养价值的一个重要指标^[22]。由图 4 可知，所有样品在贮藏初期 V_c 下降速度较快，贮藏末期趋于平缓，其中对照组在前 6 d 下降幅度最大，与其他处理组存在显著性差异($P<0.05$)，可能是对照组样品中氧气含量高(达 21%)，贮藏初期生菜组织呼吸作用较强，从而加速了 V_c 的损失。在整个贮藏过程中，各处理组之间差异不显著($P>0.05$)，A 组和 B 组样品 V_c 损失速度相对 C 组和 D 组较缓，是因为 A、B 两组氧气比例均为 5%，相对于 C、D 两组的 10% 低，在相同贮藏条件下，延缓了 V_c 的降解，这表明低浓度氧气有利于保护鲜切生菜中的 V_c 含量，这与 Simões 等^[23]研究的降低氧气浓度可以更好地维持 V_c 含量相符。而 B 组在贮藏前 6 d V_c 损失速度明显小于 A 组的 V_c 损失速度，可能是 B 组气调包装二氧化碳含量较高，抑制了呼吸作用，表明低氧高二氧化碳气调包装对保护鲜切生菜中 V_c 具有良好的效果。这与 Radziejewska-Kubzdela E^[24]研究的在贮藏初期提高二氧化碳浓度对蔬菜中的 V_c 具有保护作用相一致。

2.6 鲜切生菜含水量的变化

生菜中水分含量高达 97%，采后的蔬菜通过蒸腾作用失水，导致蔬菜劣变，通常失水率达到 5% 时就会呈现出萎蔫状态，失去商品价值^[25]。由图 5 可知，鲜切生菜的初始含水量为 96.7%，在贮藏前期含水量损失较快，在贮藏末期对照组的含水量为 92.4%，水分损失严重，可能是切割等机械损伤

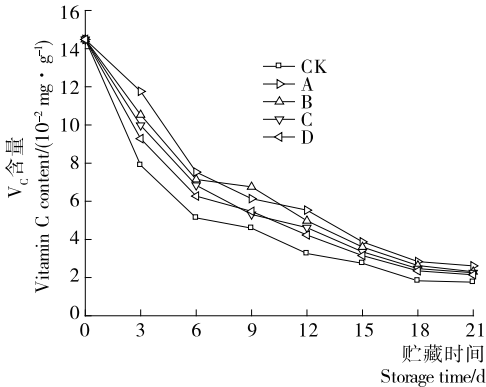


图 4 电解水联合气调包装对 V_c 含量的影响
Figure 4 Effect of electrolytic water combined with modified atmosphere packaging on the vitamin C of fresh-cut lettuce

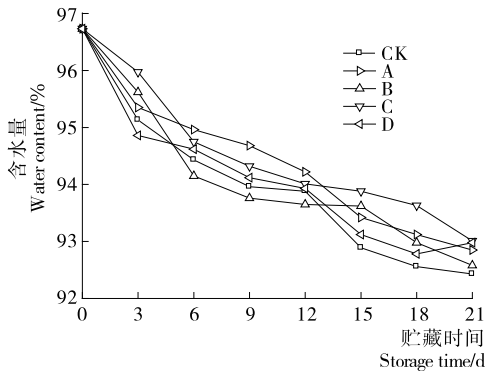


图 5 电解水结合气调包装对鲜切生菜含水量的影响
Figure 5 Effect of electrolytic water combined with modified atmosphere packaging on water content of fresh-cut lettuce

大大加快鲜切生菜的蒸腾作用，造成前期失水严重。在贮藏期间含水量总体呈现下降趋势，在第 3 天处理组 B 与对照组差异显著($P<0.05$)，可能是高浓度的二氧化碳抑制了生菜的代谢活动，从而延缓了水分的损失。同时结合图 1 感官评价可知，对照组在第 9 天失去脆嫩的质感，叶片萎蔫，而气调包装组在第 15 天脆嫩质感才消失，是因为对照组鲜切生菜在贮藏期间代谢活跃，水分大量损失，阻碍鲜切生菜的呼吸作用，促进褐变发生，缩短其货架期^[26]。说明气调包装可以有效抑制鲜切生菜的代谢活动，减少水分损失，维持品质，延长生菜的货架期。

2.7 鲜切生菜可溶性固形物的变化

新鲜蔬菜可溶性固形物含量可以直接反映蔬菜的成熟程度和品质状况。由图 6 可知，在贮藏期间鲜切生菜可溶性固形物含量呈现下降趋势，其中对照组与各气调包装组差异显著($P<0.05$)，前 6 d 对照组的可溶性固形物含量下降幅度较大，而各气调包装组下降幅度较平缓，且差异不显著($P>0.05$)，可能是对照组中氧气含量较高(为 21%)，鲜切生菜代谢活动较活跃，大量消耗糖类物质，造成贮藏初期鲜切生菜中可溶性固形物含量迅速下降^[27]。

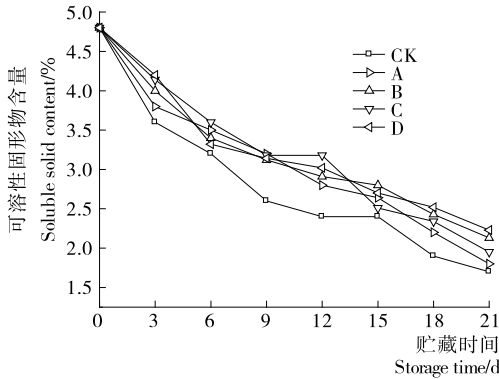


图 6 电解水结合气调包装对鲜切生菜可溶性固形物含量的影响
Figure 6 Effect of electrolytic water combined with modified atmosphere packaging on the soluble solid content of fresh-cut lettuce

3 结论

本试验研究发现在 4℃贮藏条件下,对照组(21% O₂ + 1% CO₂)在第 6 天就出现轻微异味,在 9 天有明显的异味,失去商业价值,而气调包装组 B(5% O₂ + 10% CO₂)在第 15 天菌落总数才超过临界值 6 lg(CFU/g),有效抑制了微生物的生长繁殖,贮藏期间感官评分最高,更好地维持 V_C和叶绿素的含量,可以将鲜切生菜的货架期延长至 15 d,这与余江涛^[28]和徐燕新^[29]等研究结果相符。

同时研究发现在氧气浓度一定的情况下,提高二氧化碳浓度可以更好地维持鲜切生菜的营养价值,其中在感官评价、延缓 V_C损失、抑制微生物生长和叶绿素降解等方面,气调包装组 B(5% O₂ + 10% CO₂)和 D(10% O₂ + 10% CO₂)的效果分别优于气调包装组 A(5% O₂ + 5% CO₂)和 C(10% O₂ + 5% CO₂)。因此在今后试验中可以侧重研究氧气和二氧化碳浓度比例,深入研究氧气和二氧化碳浓度与鲜切生菜营养指标和微生物指标的关系,从而找到更好地维持鲜切生菜的营养价值和延长货架期的气调包装技术。

参考文献

[1] 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.

[2] CHEN Zhao, ZHU Chuan-he, ZHANG Yan, et al. Effects of aqueous chlorine dioxide treatment on enzymatic browning and shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa*, L.)[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2010, 58(3): 232-238.

[3] RAMOS B, MILLER F A, BRANDÃO T R S, et al. Fresh fruits and vegetables—An overview on applied methodologies to improve its quality and safety[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013, 20(4): 1-15.

[4] 王莉, 姜微波, 冯双庆. 贮藏温度与包装方式对切割生菜品质的影响[J]. *食品科学*, 2004, 25(1): 177-179.

[5] NIEMIRA B A, FAN X. Fruits and Vegetables: Advances in Processing Technologies to Preserve and Enhance the Safety of Fresh and Fresh-Cut Fruits and Vegetables[J]. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 2014: 983-991.

[6] 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.

[7] 杨敏. 酸性氧化电位水消毒机制及制备工艺研究[D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 解放军军事医学科学院, 2006: 15-18.

[8] RAHMAN S M E, TIAN D, OH D H. Inactivation effect of newly developed low concentration electrolyzed water and other sanitizers against microorganisms on spinach[J]. *Food Control*, 2010, 21(10): 1 383-1 387.

[9] 李华贞, 郑淑方, 宋曙辉, 等. 酸性电解水对果蔬杀菌及保鲜效果的研究[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(3): 361-365.

[10] PAILLART M J M, VAN DER VOSSEN J M B M, LEVIN E, et al. Bacterial population dynamics and sensorial quality loss in modified atmosphere packed fresh-cut iceberg lettuce[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2017, 124: 91-99.

[11] FERNÁNDEZ-LEÓN M F, FERNÁNDEZ-LEÓN A M, LOZ-

ANO 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(1): 564-573.

[12] KING A D, MAGNUSON J. Microbial flora and storage quality of partially processed lettuce[J]. *Journal of Food Science*, 1991, 56(2): 459-461.

[13] INSKEEP W P, BLOOM P R. Extinction coefficients of chlorophyll a and B in n,n-dimethylformamide and 80% acetone[J]. *Plant Physiology*, 1985, 77(2): 483-485.

[14] 李合生. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 134-138.

[15] GARRIDO Y, TUDELA J A, HERNÁNDEZ J A, et al. Modified atmosphere generated during storage under light conditions is the main factor responsible for the quality changes of baby spinach[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2016, 114: 45-53.

[16] 张立奎, 陆兆新, 汪宏喜. 鲜切生菜在贮藏期间的微生物生长模型[J]. *食品与发酵工业*, 2004, 30(2): 107-110.

[17] 杨晓棠, 张昭其, 庞学群. 果蔬采后叶绿素降解与品质变化的关系[J]. *果树学报*, 2005, 22(6): 691-696.

[18] 张引成, 雷云, 王志英, 等. 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(8): 318-322.

[19] 鲁莉莎, 乔勇进, 海宏. 热处理对鲜切生菜品质的影响[J]. *四川农业大学学报*, 2010, 28(3): 333-338.

[20] 曹娜, 杜传来, 张心怡, 等. 加工和贮藏期间鲜切生菜品质变化研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015(7): 2 516-2 523.

[21] ESCALONA V H, VERLINDEN B E, GEYSEN S, et al. Changes in respiration of fresh-cut butterhead lettuce under controlled atmospheres using low and superatmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2006, 39(1): 48-55.

[22] 王宏, 董大远. 清洗剂对生菜贮藏保鲜效果的影响[J]. *食品研究与开发*, 2006, 27(8): 153-156.

[23] SIMÕES A D N, ALLENDE A, TUDELA J A, et al. Optimum controlled atmospheres minimise respiration rate and quality losses while increase phenolic compounds of baby carrots[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2011, 44(1): 277-283.

[24] RADZIEJEWSKA-KUBZDELA E. The effect of pretreatment and modified atmosphere packaging on bioactive compound content in coleslaw mix[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2017, 75: 505-511.

[25] 冯双庆. 园产品采后处理[M]. 北京: 中央广播电视大学出版社, 2002: 45-52.

[26] 关文强. 果蔬物流保鲜技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008: 61.

[27] 郭玉花, 黄震, 滕立军, 等. 新鲜菠菜的纳米活性气调包装研究[J]. *食品与机械*, 2009, 25(4): 167-170.

[28] 余江涛, 谢晶. 臭氧水处理结合气调包装对鲜切生菜保鲜效果的影响[J]. *食品与机械*, 2015, 31(1): 111-115.

[29] 徐燕新, 陈湘宁, 许丽. 鲜切生菜气调包装保鲜条件优化[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(7): 185-190.