

罗淑芬,胡花丽,李鹏霞,等.气调包装对鲜切芹菜贮藏品质的影响[J].江苏农业科学,2016,44(11):315-319.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.11.094

气调包装对鲜切芹菜贮藏品质的影响

罗淑芬¹,胡花丽¹,李鹏霞¹,邵明灿¹,孙玉东²,罗德旭²

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所,江苏南京 210014;2.江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所,江苏淮安 223001)

摘要:为探讨气调包装对鲜切芹菜贮藏品质的影响,选用芹菜为试验材料,在 $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的模拟货架销售条件下,以包装盒中充空气为对照1(CK₁),盒侧打孔的包装盒中充空气为对照2(CK₂),用9组气体组分($\text{O}_2\% + \text{CO}_2\%$, N_2 为平衡气)对鲜切芹菜进行气调包装,通过测定并分析其表型、感官得分、叶绿素含量、粗纤维含量的变化,筛选出其气体包装参数为 $0\% \sim 3\% \text{ O}_2 + 0\% \text{ CO}_2$;在此基础上,进一步分析 $0\% \sim 3\% \text{ O}_2 + 0\% \text{ CO}_2$ 气调包装处理对鲜切芹菜丙二醛(MDA)含量、细胞膜透性、总酚含量及抗氧化酶活性的影响。结果表明,CK₁与CK₂之间无明显差异,与2组对照相比,气调包装处理可明显抑制鲜切芹菜MDA的积累及细胞膜透性增加,并维持其较高的总酚含量和过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)的活性,从而有助于延缓鲜切芹菜的衰老。

关键词:鲜切芹菜;气调包装;贮藏;品质

中图分类号: TS255.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)11-0315-05

芹菜(*Apium graveolens*)为伞形科植物,是一种耐寒性柱状叶类蔬菜,具有降压安神、保护血管、增强免疫力等功效^[1]。芹菜采后极易失水萎蔫,脱绿黄化,组织纤维化,且呼吸作用产生的呼吸热会加速其黄化和腐烂,使其货架期寿命缩短^[2]。更重要的是蔬菜在经过鲜切加工后组织结构受到机械性损伤,易造成微生物侵染,激活一些不良的生理反应,破坏正常的组织代谢,从而加速其衰老与腐败,甚至影响食用安全^[3]。因此,采后鲜切芹菜的贮藏保鲜是生产实践中备受关注的问题^[4-5]。

气调包装(modified atmosphere packaging,简称MAP)被认为是当前国际上最有效和最先进的果蔬保鲜方法之一^[6-7]。气调包装主要通过调节包装内的气体组分,抑制新鲜果蔬呼吸强度,使包装内产品呼吸强度与包装膜透气率之间在贮藏过程中形成一个动态平衡,构成一种更适合产品保鲜的环境气氛,以有效抑制食品腐败和变质,从而延长果蔬保鲜期^[8]。在芹菜的气调(controlled atmosphere,简称CA)保鲜中,Gómez等分别以2种不同材质的气调包装袋及高 CO_2 CA对鲜切芹菜进行处理,结果表明,高 CO_2 气调处理可降低其呼吸速率和乙烯释放量,并抑制其叶绿素降解和可溶性固形物的下降,从而延缓芹菜茎的采后衰老^[9-10]。李拖平等发现,在不出现低 O_2 、高 CO_2 伤害的情况下,气调处理既起到了低 O_2 对叶片黄化的抑制效果,又发挥了高 CO_2 对衰老的抑制作用^[11]。许学勤等采用硅窗袋对水芹进行气调包装,筛选出水芹在 15°C 环境下的最优工艺参数为 $4.48\% \text{ O}_2$ 、 $2.78\% \text{ CO}_2$ ^[12]。Gonzalez-Buesa等采用2种不同包装材料分别以4

组不同气体组分对鲜切芹菜茎进行气调包装试验,得出聚丙烯交酯材质结合 $95\% \text{ O}_2$ 分压能将贮藏效果发挥得最好^[13]。可见快速简便、成本低廉、安全环保的保鲜方法成为当前鲜切果蔬的研究热点,但迄今对鲜切芹菜进行模拟货架销售的气调包装研究还较少。本研究采用不同气体成分的盒包装方式处理鲜切芹菜,分析不同气体组分包装处理对其表型及相关生理指标的影响,旨在探讨适合延长鲜切芹菜货架寿命的气体浓度,以期生产中鲜切芹菜的保鲜提供理论和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与预处理

试验芹菜于2014年11月采自江苏省农业科学院六合动物科学基地,采后2 h内运回实验室,立即选取新鲜、颜色鲜绿、无机械损伤、大小均匀的芹菜作为材料。对挑选好的芹菜进行清洗,沥干;将芹菜基部切去 $(4 \pm 1) \text{ cm}$,剩余茎部鲜切长 $(17 \pm 1) \text{ cm}$,将所切茎部与剩余带叶部分一同装于聚丙烯(简称PP)材质食品包装盒(长 21.0 cm 、宽 14.5 cm 、高 8.0 cm)中, O_2 渗透系数 $1.12 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa})$, CO_2 渗透系数 $4.29 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{Pa})$ 中,每盒 $(320 \pm 20) \text{ g}$,每个处理5个平行。于气调包装机上进行包装,向盒中充入预设配比的气体。

1.2 试验采用的气体成分

本试验分为2步进行,第1步:按表1气体配比对鲜切芹菜进行气调包装,并设置2组对照:对照组1(CK₁)在气调包装机上直接进行封口包装,盒内为空气,对照组2(CK₂)采用带孔的包装盒(孔径 2 mm)封口包装。将包装好的芹菜置于 $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、湿度 $90\% \sim 95\%$ 条件下贮藏。在贮藏0、7 d时,观察表型,并取芹菜茎样品,对其进行感官评价,测定其叶绿素、粗纤维含量。

第2步:在相同条件下,以第1步筛选出的气体组分对比对鲜切芹菜进行气调包装处理,取贮藏0、6 d芹菜茎样品,用于各项指标测定。

收稿日期:2015-09-06

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(13)3009]。

作者简介:罗淑芬(1988—),女,江西宜春人,硕士,研究方向为果蔬贮藏保鲜。E-mail:luoshufen666@126.com。

通信作者:邵明灿,硕士,副研究员,研究方向为园艺栽培与管理。E-mail:smc7849@yahoo.com。

表 1 MAP 气体组分及比例 %

| 处理 | O ₂ | CO ₂ | N ₂ |
|------|----------------|-----------------|----------------|
| MAP1 | 0 | 0 | 100 |
| MAP2 | 0 | 3 | 97 |
| MAP3 | 0 | 6 | 94 |
| MAP4 | 3 | 0 | 97 |
| MAP5 | 3 | 3 | 94 |
| MAP6 | 3 | 6 | 91 |
| MAP7 | 6 | 0 | 94 |
| MAP8 | 6 | 3 | 91 |
| MAP9 | 6 | 6 | 88 |

表 2 感官品质的评定标准

| 感官等级 | 外观 | 质地 | 气味 | 得分 |
|------|----------------------------|-------|-----------|------|
| 1 | 鲜绿,无腐烂,有光泽,茎叶可食用 | 脆嫩 | 芹香味浓 | 9~10 |
| 2 | 绿,少许茎叶变黄变暗,无腐烂,茎叶可食用 | 较脆嫩 | 芹香味较浓 | 8~9 |
| 3 | 少许茎叶发黄,少许叶片出现腐烂点,茎部无腐烂,可食用 | 较脆嫩 | 芹香味淡 | 6~8 |
| 4 | 茎叶发黄或变暗,茎叶都有腐烂,不可食用 | 茎出现萎蔫 | 芹香味淡,有腐败味 | 3~6 |
| 5 | 茎叶发黄严重,茎叶腐烂严重,不可食用 | 萎蔫 | 严重腐败味 | 0~3 |

浸提至组织变成白色。经定容、过滤后,于 649、665 nm 波长处测定吸光度,计算叶绿素含量(mg/g)。

1.4.3 粗纤维含量测定 参考胡花丽等的方法^[16],略有改动。称取 5 g 样品,加 10 mL 10% 乙酸打浆,打成匀浆后分别用 5 mL 10% 乙酸洗 3 次,然后分别加 5 mL 丙酮浸洗 3 次,79 ℃ 下烘干至恒质量。滤纸质量加样品粉末质量减去滤纸质量,即为样品粉末质量。粗纤维含量 = 样品粉末质量/称取样质量 × 100%。

1.4.4 丙二醛(MDA)含量测定 参照李合生等的方法^[15]略有改动。称取 1 g 样品,加入 5% 三氯乙酸 10 mL,研磨后所得匀浆在 3 000 r/min 下离心 10 min,取上清液 2 mL,加入 2 mL 0.67% 硫代巴比妥酸,混合后水浴煮沸 30 min,冷却后离心,分别取上清液测定在 450、532、600 nm 处的吸光度,计算 MDA 含量(μmol/g)。

1.4.5 细胞膜透性测定 以相对电导率表示^[17],取 5 g 切成相同长度的芹菜茎样品,两端各去掉 4 cm,用去离子水洗 3 次,去除表面离子。用洁净滤纸吸干样品表面水分,悬浮于 40 mL 双蒸水中,静置 10 min,测定电导度,煮沸 10 min 后再次测定电导度。电导率 = 煮沸前溶液电导度/煮沸后溶液电导度 × 100%。

1.4.6 总酚含量的测定 参考 Ghasemnezhad 等的方法^[18],略有改动。称取 5 g 样品,加 10 mL 80% 乙醇充分研磨,4 ℃、10 000 r/min 离心 20 min,上清液用于总酚含量的测定。取 0.1 mL 上清液,加 0.9 mL 蒸馏水、1 mL Folin 试剂,25 ℃ 反应 3 min,再加入 2 mL 饱和 Na₂CO₃ 溶液,25 ℃ 反应 1 h,于 760 nm 测吸光度,以计算总酚含量(μg/g)。

1.4.7 过氧化物酶(POD)活性测定 采用愈创木酚法^[19]。取 5 g 样品,加入 10 mL 50 mmol/L 磷酸缓冲液[pH 值 7.0,含 1% 聚乙烯吡咯烷酮(简称 PVP),冰浴下研磨,4 ℃、10 000 r/min 离心 20 min,上清液即为 POD 粗提液。取 1 mL 粗酶提取液,加入 2 mL 0.05 mol/L 愈创木酚(用 0.2 mol/L pH 值 6.4 的磷酸缓冲液配成)中,在 30 ℃ 水浴中平衡 5 min,然后加入 1 mL 0.2% H₂O₂(用 0.2 mol/L pH 值 6.4 的磷酸

1.3 主要仪器及设备

MAP YHH360 复合气调包装机,苏州亚和保鲜科技有限公司生产;TU-1810 紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器公司生产;Ika-A11 basic 液氮研磨机,德国 IKA 公司生产;METTLER TOLEDO PL202-L 酸度计,梅特勒-托利多仪器上海有限公司生产。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 感官品质评定 感官品质评价标准参考许学勤等的研究结果^[12,14]。

1.4.2 叶绿素含量测定 参考李合生的方法^[15],采用乙醇浸提法测定。称取样品 5 g,加入 15 mL 丙酮充分打浆后,

缓冲液配成)混匀,以 1 min 内 D_{470 nm} 减少 0.01 表示 1 个酶活性单位,计算 POD 活性(U/g)。

1.4.8 超氧化物歧化酶(SOD)活性测定 用氮蓝四唑法^[19]。取 5 g 样品,加入 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.2) 10 mL,离心(10 000 r/min,20 min,4 ℃)。反应在透明度好、质地相同的试管中进行。反应体系包括 130 mmol/L 甲硫氨酸、750 μmol/L 氮蓝四唑、20 μmol/L 核黄素、100 μmol/L EDTA、1 mL 粗提液。混匀后,将对照管完全遮光,与样品管同时置于光照培养箱内反应 60 min。反应结束后,用黑布罩盖上试管终止反应。以遮光的对照管作为空白调零,在 560 nm 波长处测定吸光度,计算 SOD 活性(U/g)。

1.4.9 过氧化氢酶(CAT)活性测定 采用过氧化氢法^[19]。取 5 g 样品,加入 10 mL 50 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.0,含 1% PVP),冰浴下研磨,4 ℃、10 000 r/min 离心 20 min,上清液即为 CAT 粗提液。取 1 mL 粗酶液,加入 2 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH 值 7.8),在 25 ℃ 水浴下预热 5 min,加入 1 mL 0.2% H₂O₂,以 1 min 内 D_{240 nm} 减少 0.1 个单位为 1 个酶活性单位,计算 CAT 活性(U/g)。

1.5 数据统计

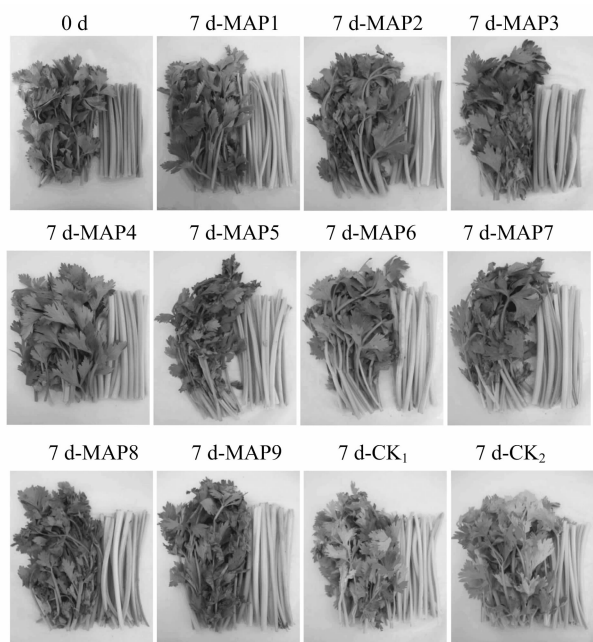
所有数据均平行测定 3 次,数据采用“平均值 ± 标准偏差”表示,显著性采用 SPSS18.0 软件进行分析(α < 0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同气体组分对鲜切芹菜表型及感官得分、叶绿素及粗纤维含量的影响

2.1.1 表型得分 芹菜在贮藏过程中感官变化主要体现为黄化和腐烂,图 1 为气调包装鲜切芹菜当天及贮藏后 7 d 时的感官表现,可以看出,对照组黄化较严重,而 MAP1、MAP4 处理的芹菜感官效果较好,MAP2、MAP3、MAP5、MAP7 处理的芹菜叶片有少许腐烂,但茎部未出现腐烂点,MAP6、MAP8、MAP9 处理的芹菜不仅叶片大部分腐烂,茎部也有腐烂点出现,已不可食用。同时可看出,与 O₂(比例分别为 0%、3%、6%)配比处理时,3%、6% CO₂ 处理的芹菜感官品质较 0%

CO₂ 处理差;与 CO₂ (比例分别为 0%、3%、6%) 配比处理时,6% O₂ 处理的芹菜感官品质较 0%、3% O₂ 处理差;可见 0%~3% O₂+0% CO₂ 配比处理可有效维持鲜切芹菜较好的感官品质。



7 d-MAP1 表示贮藏 7 d 时的 MAP1 处理, 以此类推

图1 9组气体组分对鲜切芹菜表型的影响

2.1.2 感官得分 图2为气调包装鲜切芹菜当天及贮藏后7 d的感官得分,MAP4、MAP1处理的芹菜在贮藏后7 d仍保持较高的感官得分,明显高于其他处理及 CK₁、CK₂;其次为 MAP2、MAP3、MAP5、MAP7,明显高于 CK₁、CK₂;而此时 MAP8、MAP9 及 CK₁、CK₂ 处理的芹菜已不可食用,感官得分低于6。

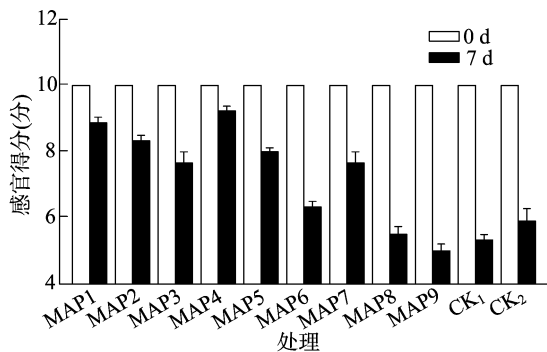


图2 9组气体组分对鲜切芹菜感官得分的影响

2.1.3 叶绿素含量 芹菜在贮藏过程中极易黄化,叶绿素逐渐降解。从图3可以看出,与贮藏当天相比,不同处理组叶绿素含量在贮藏后7 d均有所下降,其中 MAP1 处理、MAP4 处理下降幅度分别为 15.56%、10.36%,含量明显高于其他处理及 CK₁ (降幅为 43.11%)、CK₂ (降幅为 49.78%);其次为 MAP3 (降幅为 22.84%)、MAP5 (降幅为 24.49%)、MAP2 (降幅为 26.31%)。分析结果与 CO₂ (比例分别为 0%、3%、6%) 配比处理时,6% O₂ 处理的芹菜叶绿素降解程度较 0%、3% O₂ 处理高;与 O₂ (比例分别为 0%、3%、6%) 配比处理时,3%、6% CO₂ 处理的芹菜叶绿素降解程度较 0% CO₂ 处理

高。表明 0%~3% O₂+0% CO₂ 配比处理最有利于抑制鲜切芹菜叶绿素降解。

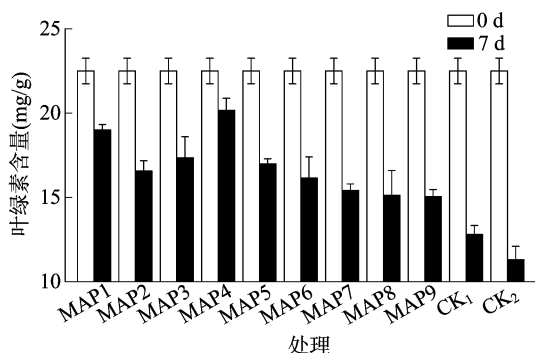


图3 9组气体组分对鲜切芹菜叶绿素含量的影响

2.1.4 粗纤维含量 从图4可以看出,MAP1~MAP8处理粗纤维含量均显著低于 CK₁、CK₂,其中 MAP1、MAP4、MAP5处理明显低于其他处理组。经分析,三者间无显著差异。与相同比例 O₂ (比例分别为 0%、3%、6%) 配比处理时,CO₂ 比例越高,粗纤维含量增加速度越快;与相同比例 CO₂ (比例分别为 0%、3%、6%) 配比处理时,6% O₂ 处理粗纤维含量增加较 0%、3% O₂ 处理快。表明 0%~3% O₂+0%~3% CO₂ 处理对抑制鲜切芹菜粗纤维生成效果最好。

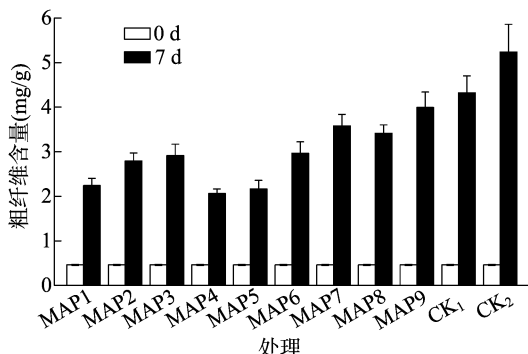


图4 9组气体组分对鲜切芹菜粗纤维含量的影响

综上所述,气调包装可有效维持鲜切芹菜较好的感官品质,并抑制叶绿素降解和粗纤维生成,MAP1、MAP4处理对芹菜的感官品质、抑制叶绿素降解、粗纤维生成效果最好。笔者筛选出 MAP1、MAP4 处理,即气体组分 0%~3% O₂+0% CO₂ 对鲜切芹菜进行气调包装贮藏。

2.2 气调包装处理对鲜切芹菜丙二醛含量的影响

MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一,MDA 含量可以反映植物细胞膜衰老和破坏的程度。从图5可以看出,贮藏后6 d,处理组 MDA 积累速度缓慢,二者间无明显差异,而 CK₁、CK₂ MDA 含量迅速增加,明显高于处理组,原因可能为 CK₁、CK₂ 中 O₂ 含量高,芹菜呼吸作用较强,生理代谢旺盛,细胞衰老快,从而导致其膜脂过氧化反应速度快。表明气体组分 0%~3% O₂+0% CO₂ 处理可抑制鲜切芹菜 MDA 的积累。

2.3 气调包装处理对鲜切芹菜细胞膜透性的影响

细胞膜透性的变化表明芹菜细胞膜完整性遭到破坏的程度。从图6可以看出,贮藏后6 d,处理组及对照组芹菜细胞膜透性都有所增加,其中气体组分 0% O₂+0% CO₂ 及 3% O₂+0% CO₂ 处理分别增加 35.23%、27.94%,二者间无明显差异,均明显低于 CK₁ (增幅 54.76%)、CK₂ (增幅 67.41%)。

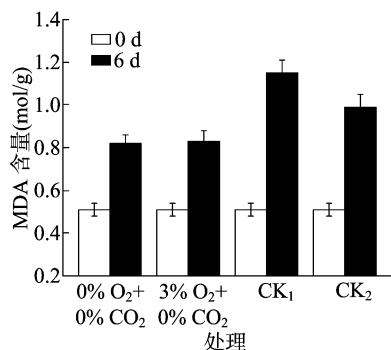


图5 气调包装对鲜切芹菜 MDA 含量的影响

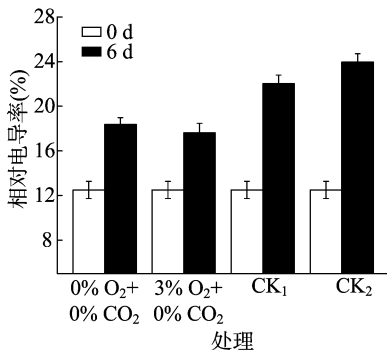


图6 气调包装对鲜切芹菜细胞膜透性的影响

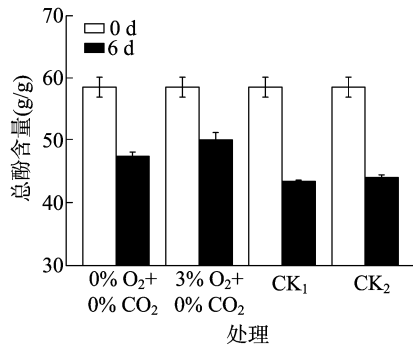


图7 气调包装对鲜切芹菜总酚含量的影响

表明气体组分 0% ~3% O₂ + 0% CO₂ 处理可有效保持鲜切芹菜细胞膜完整性。

2.4 气调包装处理对鲜切芹菜总酚含量的影响

酚类物质是植物体内分布最广泛的次生代谢物质,它不仅是参与褐变反应必要的酶促底物,还是植物防御体系的重要组成部分。从图 7 可以看出,贮藏后 6 d,处理组芹菜总酚含量分别下降了 8.88% (0% O₂ + 0% CO₂)、8.78% (3% O₂ + 0% CO₂),二者间无明显差异,但均明显高于 CK₁ (降幅 21.56%)、CK₂ (降幅 29.74%)。结果表明,气体组分 0% ~3% O₂ + 0% CO₂ 处理对保持鲜切芹菜总酚含量具有良好的效果。

2.5 气调包装处理对鲜切芹菜 POD 活性的影响

从图 8 可以看出,贮藏后 6 d,处理组及对照组芹菜 POD 活性均有不同幅度的升高,气体组分 0% O₂ + 0% CO₂ 处理、3% O₂ + 0% CO₂ 处理升高幅度分别为 40.61%、43.35%,且二者 POD 活性分别明显高于 CK (增幅 20.29%)、CK₂ (增幅 17.55%)。2 个处理组鲜切芹菜 POD 活性无明显差异,表明气体组分 0% ~3% O₂ + 0% CO₂ 处理可有效维持鲜切芹菜较高

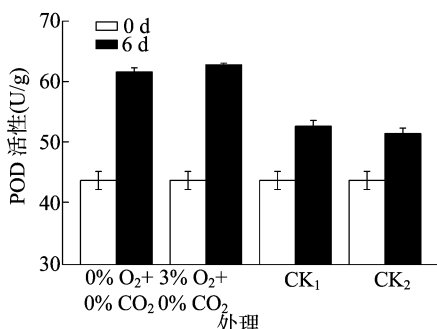


图8 气调包装对鲜切芹菜 POD 活性的影响

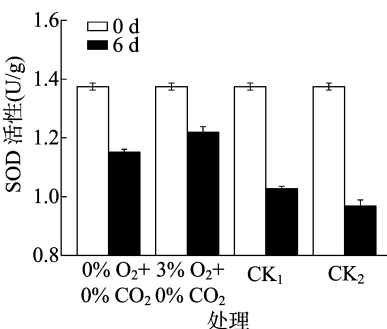


图9 气调包装对鲜切芹菜 SOD 活性的影响

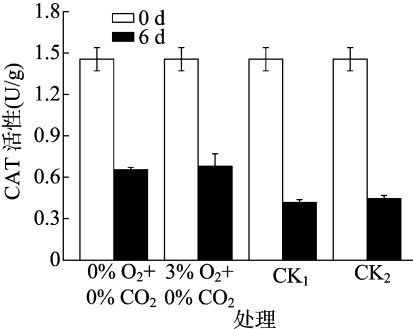


图10 气调包装对鲜切芹菜 CAT 活性的影响

3 讨论

不同气体组分对鲜切芹菜表型、感官得分、叶绿素和粗纤维含量均有一定的影响。鲜切芹菜在贮藏过程中极易出现颜色变暗、黄化和组织纤维化等现象,气调包装是鲜切芹菜保鲜非常有效的一种手段,而选择合适的气调比例是使包装方法发挥最大作用的重要因素^[14]。相关研究表明,在 (15 ± 1) °C 条件下以硅窗袋对芹菜进行气调包装,适宜的初始气体组分可更有效地抑制芹菜的黄化、腐烂现象及其粗纤维的生成^[20];Rizzo 等研究表明,气调包装可使鲜切芹菜保持较高的感官值,可有效抑制在贮藏过程中的黄化现象^[21]。本研究在 (10 ± 1) °C 条件下对鲜切芹菜进行气调包装,发现在贮藏后

的 POD 活性。

2.6 气调包装处理对鲜切芹菜 SOD 活性的影响

SOD 是活性氧清除过程中的重要酶,能够有效清除超氧阴离子自由基。从图 9 可以看出,贮藏后 6 d,2 个处理组鲜切芹菜 SOD 活性均明显高于 CK₁、CK₂,且气体组分 3% O₂ + 0% CO₂ 处理明显高于 0% O₂ + 0% CO₂ 处理。表明气调包装处理对保持鲜切芹菜 SOD 活性具有良好的效果,且 3% O₂ + 0% CO₂ 处理优于 0% O₂ + 0% CO₂ 处理。

2.7 气调包装处理对鲜切芹菜 CAT 活性的影响

CAT 能有效延缓植物体内过氧化氢对细胞的氧化作用,是保护自身免受活性氧自由基毒害的重要酶类。从图 10 可以看出,在贮藏后 6 d,处理组芹菜 CAT 活性下降程度小于对照组,且气体组分 0% O₂ + 0% CO₂ 处理分别为 CK₁、CK₂ 的 1.59、1.55 倍,3% O₂ + 0% CO₂ 处理分别为 CK₁、CK₂ 的 1.66、1.62 倍,2 个处理组间无明显差异,但均明显高于 CK₁、CK₂。表明气体组分 0% ~3% O₂ + 0% CO₂ 处理可延缓鲜切芹菜 CAT 活性下降。

6 d,CK₁、CK₂ 已严重黄化,不可食用,二者间差异不明显,而除 MAP8、MAP9 处理外的所有处理组芹菜茎仍可食用,且气体组分为 0% ~3% O₂ + 0% CO₂ 的处理感官效果最好,不仅可有效维持芹菜较好的感官品质,且可抑制其叶绿素降解和粗纤维生成。黄光荣等对芦笋的研究也表明,气调包装可有效维持其较好的感官品质,并抑制叶绿素降解和粗纤维生成^[22],研究最适宜初始气体组分为 5% O₂ + 5% CO₂ 和 10% O₂ + 10% CO₂,这可能与果蔬的品种有关^[8]。

气调包装对鲜切芹菜 MDA 含量、细胞膜透性、总酚、抗氧化酶活性均有一定的影响。正常生长的果蔬细胞内自由基处于产生与清除的动态平衡中,贮藏过程中的逆境胁迫破坏了自由基的代谢平衡,导致自由基积累,诱发膜脂过氧化反

应,促使该反应的产物 MDA 含量上升,MDA 破坏细胞膜系统,导致细胞膜透性增加,细胞内物质外渗,引起果蔬衰老^[23-24]。刘晓蓉以黄藤笋为试材,发现气调包装可有效抑制其 MDA 含量及细胞膜透性上升^[25]。本试验中气体组分为 0%~3% O₂+0% CO₂ 的气调包装处理对抑制鲜切芹菜 MDA 积累、细胞膜透性增加具有明显效果,与陈杭君等以气调包装处理芦笋的细胞膜透性及 MDA 含量变化结果^[26]相似。

总酚作为果蔬中主要的抗氧化物质,在果蔬体内清除自由基以抑制细胞膜脂过氧化反应,从而在维持自由基的平衡中发挥重要作用。保护酶系在阻止此反应中也起到关键作用,其中 POD 可清除线粒体或胞浆中产生的 H₂O₂,SOD 是植物体内消除 O₂⁻ 的关键酶^[27-28],而 CAT 主要分布在过氧化物酶体中,可及时清除植物体内的 H₂O₂。Li 等发现气调包装可保持茶树菇较高的 POD、SOD、CAT 等活性,并可有效抑制其机体内 MDA 的积累^[29];此外,Starzynska 等通过研究也得出,对西兰花进行包装可同时保持其较高的 POD、SOD、CAT 等的活性及总酚含量^[30]。本研究结果,与对照组相比,气体组分 0%~3% O₂+0% CO₂ 气调包装处理有效地保持了鲜切芹菜的总酚含量和 POD、SOD、CAT 等的活性,表明气调包装可维持鲜切芹菜机体内自由基水平的稳态,这可被 MDA 及细胞膜透性的结果证实。

综上所述,气体组分 0%~3% O₂+0% CO₂ 气调包装可保持鲜切芹菜较好的感官品质,抑制其叶绿素降解、粗纤维含量增加,同时延缓其 MDA 积累和细胞膜透性的增加,并使其保持较高的总酚含量及抗氧化酶 POD、SOD、CAT 等的活性。本试验结果可为鲜切芹菜的气调保鲜提供技术支持。

参考文献:

- [1] 朱军伟,谢 晶,章佳君,等. 薄膜包装芹菜品质分析及货架寿命研究[J]. 食品科学,2013,34(4):272-276.
- [2] 崔 同,霍君生. 芹菜硅窗袋气调贮藏与塑料薄膜密闭贮藏效果比较[J]. 河北农业大学学报,1991,14(1):116-118.
- [3] 燕平梅,魏爱丽. 紫外线处理对鲜切芹菜品质的影响[J]. 食品工业科技,2010,31(5):327-330.
- [4] 曾剑超,夏天兰,吴希茜,等. 鲜切芹菜的保鲜工艺研究[J]. 江苏食品与发酵,2008(1):21-22.
- [5] 陈从贵,张景强,高 慧. 芹菜的鲜切加工与保鲜研究[J]. 食品工业科技,2003,24(11):69-71.
- [6] Jaccsens L,Devlieghere F,Debevere J. Predictive modelling for packaging design:equilibrium modified atmosphere packages of fresh-cut vegetables subjected to a simulated distribution chain [J]. International Journal of Food Microbiology,2002,73(2/3):331-341.
- [7] 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.
- [8] 卢立新. 果蔬气调包装理论进展[J]. 农业工程学报,2005,21(7):175-180.
- [9] Gómez P A,Artés F. Improved keeping quality of minimally fresh processed celery sticks by modified atmosphere packaging[J]. LWT - Food Science and Technology,2005,38(4):323-329.
- [10] Gomez P A,Artes F. Controlled atmospheres enhance postharvest green celery quality[J]. Postharvest Biology and Technology,2004,34(2):203-209.
- [11] 李艳平,高瑞霞,胡文玉. 气调对芹菜贮藏效应的研究[J]. 沈阳农业大学学报,1995,26(2):162-166.
- [12] 许学勤,张 烜,唐 峰. 水芹菜硅窗袋气调保鲜初始气体成分的优化研究[J]. 食品工业科技,2007,28(12):187-189.
- [13] Gonzalez - Buesa J,Page N,Kaminski C,et al. Effect of non - conventional atmospheres and bio - based packaging on the quality and safety of *Listeria monocytogenes* - inoculated fresh - cut celery (*Apium graveolens* L.) during storage [J]. Postharvest Biology and Technology,2014,93(7):29-37.
- [14] 张 敏. 气调包装对超市常温销售的鲜切芹菜品质影响研究[J]. 包装工程,2007,28(3):48-50.
- [15] 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,2000:191-196.
- [16] 胡花丽,李鹏霞,王毓宁. 不同薄膜包装对杏鲍菇采后衰老生理的影响[J]. 食品与发酵工业,2012,38(7):196-200.
- [17] 张昭其,段学武,庞学群,等. 冷激对采后香蕉几个与耐热性有关的生理指标的影响[J]. 植物生理学通讯,2002,38(4):333-335.
- [18] Ghasemnezhad M,Sherafati M,Payvast G A. Variation in phenolic compounds,ascorbic acid and antioxidant activity of five coloured bell pepper (*Capsicum annum*) fruits at two different harvest times [J]. Journal of Functional Foods,2011,3(1):44-49.
- [19] 孙 群,胡景江. 植物生理学研究技术[M]. 西安:西北农林科技大学出版社,2006.
- [20] 张 烜,许学勤. 硅窗袋保鲜芹菜的研究[J]. 食品科技,2007(6):236-239.
- [21] Rizzo V,Muratore G. Effects of packaging on shelf life of fresh celery[J]. Journal of Food Engineering,2009,90(1):124-128.
- [22] 黄光荣,沈莲清,王向阳. 芦笋 MAP 保鲜研究[J]. 食品科学,2000,21(7):50-54.
- [23] 蒋明义,荆家海,王韶唐. 水分胁迫与植物膜脂过氧化[J]. 西北农业大学学报,1991,19(2):88-94.
- [24] 魏云潇,叶兴乾. 果蔬采后成熟衰老酶与保护酶类系统的研究进展[J]. 食品工业科技,2009,30(12):427-431.
- [25] 刘晓蓉. 气调包装黄藤笋贮藏品质的影响[J]. 包装工程,2011,32(15):12-18.
- [26] 陈杭君,邵海燕,毛金林,等. 预冷方式及 MAP 贮藏对芦笋采后生理变化的影响[J]. 中国食品学报,2007,7(4):85-90.
- [27] 何林池,王摇康,魏小云,等. 耐盐差异性不同棉花品种的抗氧化酶活性及 SNP/InDel 分析[J]. 江苏农业学报,2014,30(5):980-985.
- [28] 管 莉,张阿英. CaM 与 ZmCCaMK 相互作用参与 BR 诱导的玉米叶片抗氧化防护[J]. 江苏农业学报,2015,31(1):10-15.
- [29] Li T H,Zhang M. Effects of modified atmosphere package (MAP) with a silicon gum film window and storage temperature on the quality and antioxidant system of stored *Agrocybe chaxingu* [J]. LWT - Food Science and Technology,2010,43(7):1113-1120.
- [30] Starzynska A,Leja M,Mareczek A. Physiological changes in the antioxidant system of broccoli flower buds senescing during short-term storage,related to temperature and packaging [J]. Plant Science,2003,165(6):1387-1395.