

气调微孔膜包装对鲜切肉苁蓉活性成分及抗氧化活性的影响

路帆¹, 梁佳睿¹, 殷贝贝¹, 过利敏², 杨帆³, 吴斌^{2,4}, 魏佳^{2,4*}

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052) (2. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091) (3. 新疆颂春维药生态农业有限公司, 新疆吐鲁番 838000) (4. 新疆农产品加工与保鲜重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830091)

摘要: 以新疆肉苁蓉 (*Cistanche deserticola* Y. C. Ma) 为试材, 主动气调处理 (6% CO₂+4% O₂+90% N₂, 体积分数) 结合不同包装材料 PE 膜[透氧量为 300 cm³/(m² d)], 微孔膜 M₁[透氧量为 6 000 cm³/(m² d)], 微孔膜 M₂ (透氧量为 8 000 cm³/(m² d)) 对鲜切肉苁蓉在低温 (4±0.5) °C 贮藏中活性成分变化和抗氧化性的影响。结果表明: 贮藏 7 d 后, 采用气调微孔膜 (6% CO₂+4% O₂+90% N₂+M₁) 处理组中 PPO 活性为 2.07 U/g, 褐变度为 0.57 OD₄₁₀/g, 均低于 CK 组; 维生素 C、总酚、类黄酮、总多糖、松果菊苷和毛蕊花糖苷含量分别较 CK 组高 13.00%、5.88%、11.24%、14.45%、1.20%、1.47%; DPPH、ABTS⁺ 自由基清除率及 FRAP 值分别较 CK 组高 8.97%、1.99%、11.43%。可见 6% CO₂+4% O₂+90% N₂+M₁ 微孔膜处理能显著减缓鲜切肉苁蓉中活性成分的下降 (P<0.05), 维持其较高的抗氧化能力, 减缓衰老程度, 较好的保持鲜切肉苁蓉的药食同源性, 是一种较好的鲜切肉苁蓉贮藏保鲜方法。

关键词: 鲜切肉苁蓉; 气调包装; 微孔膜; 抗氧化性

文章编号: 1673-9078(2023)03-194-201

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.3.0412

Effect of Microporous Membrane Modified Atmosphere Packaging on the Active Components and Antioxidant Activity of Fresh-cut *Cistanche deserticola* Y. C. Ma

LU Fan¹, LIANG Jiarui¹, YIN Beibei¹, GUO Limin², YANG Fan³, WU Bin^{2,4}, WEI Jia^{2,4*}

(1.School of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2.Xinjiang Academy of Agricultural Sciences Agricultural Products Storage and Processing Research Institute, Urumqi 830091, China) (3.Xinjiang Songchun Medicine Ecological Agriculture Co. Ltd., Turpan 838000, China)

(4.Xinjiang Key Laboratory of Agricultural Products Processing and Preservation, Urumqi 830091, China)

Abstract: *Cistanche deserticola* planted in Xinjiang was used as the test material, and the effects of the active modified atmosphere treatment (6% CO₂+4% O₂+90% N₂) combined with different packaging materials PE film (oxygen permeation 300 cm³/(m² d)), microporous membrane M₁ (oxygen permeation 6,000 cm³/(m² d)) and microporous membrane M₂ (oxygen permeation 8,000 cm³/(m² d)) on the changes of active components and antioxidant activities of the fresh-cut *Cistanche deserticola* stored at a low temperature, (4±0.5) °C. The results showed that after 7 days of storage, the PPO activity and browning degree for the group treated with modified atmosphere microporous membrane (6% CO₂+4% O₂+90% N₂+M₁) were 2.07 U/g and 0.57 OD₄₁₀/g, respectively, which were lower than those of the CK group. The contents of Vc,

引文格式:

路帆,梁佳睿,殷贝贝,等.气调微孔膜包装对鲜切肉苁蓉活性成分及抗氧化活性的影响[J].现代食品科技,2023,39(3):194-201.

LU Fan, LIANG Jiarui, YIN Beibei, et al. Effect of microporous membrane modified atmosphere packaging on the active components and antioxidant activity of fresh-cut *Cistanche deserticola* Y. C. Ma [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(3): 194-201.

收稿日期: 2022-04-08

基金项目: 新疆自治区区域协同创新专项 (2020E01048)

作者简介: 路帆 (1996-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: 2918574530@qq.com

通讯作者: 魏佳 (1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 农产品贮藏与加工, E-mail: 327645095@qq.com

total phenolics, flavonoids, total polysaccharides, echinacoside and calycoside were 13.00%, 5.88%, 11.24%, 14.45%, 1.20% and 1.47%, respectively, higher than those of the CK group. The DPPH and ABTS⁺ free radical scavenging rates and FRAP value for the group treated with 6% CO₂+4% O₂+90% N₂+M₁ microporous membrane were 8.97%, 1.99% and 11.43%, respectively, higher than those of the CK group. Accordingly, the 6% CO₂+4% O₂+90% N₂+M₁ treatment could significantly retard the decrease of the active components of the fresh-cut *C. deserticola*, and maintain its high antioxidant capacity and slow down its senescence, thereby maintaining better the medicine and food homology of fresh-cut *C. deserticola*. This would be a good preservation method for fresh-cut *C. deserticola*.

Key words: *Cistanche deserticola* Y. C. Ma; modified atmosphere packaging; microporous membrane; inoxidizability

肉苁蓉 (*Cistanche deserticola* Y. C. Ma) 为列当科苁蓉属寄生植物, 性温, 味甘, 含有多糖、苯乙醇苷类、黄酮、多酚类和生物碱等多种活性物质^[1,2], 具有补肾阳、益精血、润肠通便、缓解疲劳、延缓衰老和增强免疫力等作用^[3,4]。目前, 市场上销售的肉苁蓉大多数为干制品, 而干制过程中采用传统的日晒制干方法, 造成肉苁蓉中部分活性成分流失, 减弱肉苁蓉功效。鲜切果蔬具有方便快捷和高度保持新鲜度等特点, 深受消费者喜爱, 逐渐成为果蔬鲜食加工的主流^[5]。

气调包装凭借高效、安全、成本较低等特点, 在果蔬保鲜中广泛应用。微环境气调处理有效减缓了蓝莓果实贮藏期间 (Total Soluble Solids, TSS)、可滴定酸 (Titratable Acid, TA)、维生素 C (Vc) 和花色苷含量的下降, 使其仍然保持较高的营养价值^[6]。气调结合相温处理可以有效维持百合中还原糖、可溶性蛋白和黄酮含量, 抑制醇类、酯类的生成, 提高抗氧化性, 降低褐变的发生^[7]。

微孔膜通过自身特定的透气性与果蔬的呼吸作用相结合, 自发调节包装内气体成分^[8], 使包装内的气体比例达到动态平衡, 有效的延缓果蔬贮藏品质下降和氧化衰老^[9]。微孔膜气调包装可以有效的减缓青毛豆可溶性蛋白含量和叶绿素含量的下降^[10]; 有效降低黄瓜中叶绿素的降解, 减缓 O₂ 的产生, 同时增强了相关抗氧化酶的活性, 提高了黄瓜的抗逆性^[11]; 提高了石榴皮中的总酚和总花青素含量, 增强了抗氧化性^[12]。然而, 关于气调微孔膜包装技术在鲜切肉苁蓉研究中鲜有报道。

气调微孔膜包装处理能有效的维持果蔬中营养成分, 且对抗氧化性有显著影响^[11,13], 但在鲜切肉苁蓉活性成分变化和抗氧化性方面研究较少。因此, 本文采用气调微孔膜对鲜切肉苁蓉进行包装, 研究贮藏期间鲜切肉苁蓉的活性成分的变化及其抗氧化性的影响。以期作为肉苁蓉的食药同源研究提供技术依据。

1 材料与方

1.1 材料与试剂

肉苁蓉: 2021 年 11 月采购于新疆吐鲁番地区并

运输至冷库 10 °C 预冷 24 h, 挑选新鲜无机械损伤、无病虫害、大小粗细均一 (直径约为 4 cm) 的肉苁蓉备后续试验研究。PE 膜 [厚度 40 μm, 透氧量为 300 cm³/(m² d)]、6 000 孔微孔膜 [厚度 25 μm, 透氧量为 6 000 cm³/(m² d)]、8 000 孔微孔膜 [厚度 25 μm, 透氧量为 8 000 cm³/(m² d)], 均由江苏九邦新材料科技发展有限公司提供。

乙腈、甲酸色谱纯, 德国 Merck 公司; 毛蕊花糖苷、松果菊苷标准品色谱纯, 安倍尔有限公司; 氯化钠、柠檬酸、亚硫酸氢钠、L-半胱氨酸、氯化钙、次氯酸钠、愈创木酚、聚乙二醇、邻苯二酚、抗坏血酸、过硫酸钾 (K₂S₂O₈) 天津市光复精细化工研究所; 1,1-二苯基-2-三硝基苯胍 (1,1-Diphenyl-2-Picrylhydrazyl, DPPH)、2,2'-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸) 二铵盐 (2,2'-Azino-Bis(3-Ethylbenzothiazoline-6)-Sulphonic Acid diammonium Salt), ABTS)、2,4,6-三吡啶基三嗪 (2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine, TPTZ), 北京库尔化学科技有限公司; 以上试剂均为分析纯。

1.2 试验仪器

UV-2600 型紫外分光光度计, 日本岛津公司; HC-3018R 型高速冷冻离心机, Agilent-1100 型高效液相色谱, 美国 PerkinElmer 公司; MS105DU 型十万分之一分析天平, 瑞士 Mettler Toledo 公司; SPX-100B-Z 型恒温恒湿箱, 上海博讯实业有限公司。

1.3 试验方法

将预冷 24 h 后的鲜肉苁蓉进行脱皮、清洗、切块、护色和杀菌后, 放入包装盒中 (180 mm × 140 mm × 5 mm, 每盒 200 g), 并分别使用 PE 膜、6 000 孔微孔膜、8 000 孔微孔膜进行气调包装 (热封温度为 140 °C, 热封时间为 2 s, 气调比例为 4% O₂+6% CO₂+90% N₂, 体积分数), 文中分别表示为 CK、M₁ 和 M₂。处理后立即贮藏于温度为 (4±0.5) °C, 相对湿度为 90%±1% 恒温培养箱中, 每个处理重复 3 次, 每天取样一次, 共贮藏 7 d。样品粉碎后用液氮处理, 于 -40 °C 冰箱内, 用于后续指标的测定。

1.4 指标测定方法

1.4.1 O₂、CO₂ 体积分数、PPO 活性和褐变度的测定

采用 Check point 3 便携式顶空分析仪, 定期测定不同处理组包装内 O₂ 和 CO₂ 的百分量, 单位为%, 每个处理重复 3 次。

PPO 活性测定参照曹建康^[14]方法。

褐变度测定采用消光值法^[14], 略有修改。精确称取 2.0 g 肉苻蓉样品, 匀浆后放入 50 mL 离心管中, 按照 1:10 (g:mL) 加入蒸馏水, 于 4 °C、10 000×g 离心 5 min, 取上清液 25 °C 水浴锅中恒温浸泡 5 min, 在 410 nm 下测定上清液的吸光度, 结果用 OD₄₁₀/g 表示。

1.4.2 Vc、总酚和类黄酮的测定

Vc 含量、总酚含量和类黄酮含量的测定: 采用分光光度法^[14]测定。

1.4.3 总多糖含量的测定

采用苯酚-硫酸法测定, 参照赵岩等^[15]的方法稍作修改。

样液的制备: 精确称取肉苻蓉样品粉末 1.0 g, 按料液比 1:30 (去离子水), 于 50 °C 条件下超声提取 60 min, 4 °C、8 000×g 下离心 5 min, 取上清液, 加入 φ=95% 乙醇至乙醇体积分数为 80%, 4 °C 条件下静置 12 h 后, 弃去上清液, 将沉淀依次用无水乙醇和丙酮清洗两次后, 加入去离子水, 用 Sevage 溶液 (氯仿: 正丁醇=4:1) 脱去蛋白, 定容后待测。

向 1 mL 样液中加入 600 μL *m*=6% 苯酚溶液、3 mL 浓硫酸, 混合后沸水浴 10 min, 冷却后与 490 nm 处测定吸光度。以葡萄糖配制标准溶液绘制标准曲线方程, 测定结果以葡萄糖当量表示 (mg DE/g DW)。

1.4.4 松果菊苷和毛蕊花糖苷的测定

对照品的制备: 取毛蕊花糖苷和松果菊苷 (纯度均 ≥98%) 标准品适量, 分别精密测定, 加入 φ=50% 甲醇制成浓度为 1.0 mg/mL 的储备液, 再分别取适量的储备液混合得到各自质量浓度为 0.05、0.10、0.15、0.2、0.3、0.4 mg/mL 的混合溶液。以峰面积 (Y) 为纵坐标, 以对照品质量 (X, mg) 绘制标准曲线。

供试品溶液的制备: 将液氮冷冻后的样品进行真空冷冻干燥, 冷冻干燥后过 (4 号) 筛。精密称取肉苻蓉粉末 1.0 g, 置于 50 mL 棕色量瓶, 并加入 25 mL φ=50% 甲醇, 摇匀浸泡 30 min, 超声处理 40 min, 冷却后加 φ=50% 甲醇至超声前的重量, 静置取上清液, 并用 0.45 μm 微孔膜过滤, 即得。

色谱条件: 色谱柱为 Agilent Eclipse XDB-C18 色谱柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm), 检测波长 254 nm),

柱温 25 °C; 以乙腈 (A) -0.1% 甲酸水溶液 (B) 为流动相, 梯度洗脱 (0~20 min, 5%~15% A; 20~40 min, 15%~30%); 流速 1.0 mL/min, 进样量 10 μL。

1.4.5 体外抗氧化活性测定

1.4.5.1 DPPH 自由基清除能力

参考文献^[16], 精确配制 0.2 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液, 于避光条件下放置 (现配现用)。A_i: 0.5 mL 0.2 mmol/L DPPH 乙醇溶液; A_c: 0.5 mL 无水乙醇+0.5 mL 0.2 mmol/L DPPH 乙醇溶液; A_j: 0.5 mL 样品溶液+0.5 mL 无水乙醇。室温条件下避光放置 30 min, 于 517 nm 处测定吸光度值, 按以下公式计算:

$$D = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_c} \right) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

D—DPPH 自由基清除率, %;

A_i—0.5 mL 0.2 mmol/L DPPH 乙醇溶液于 517 nm 处测定的吸光度值;

A_c—0.5 mL 无水乙醇+0.5 mL 0.2 mmol/L DPPH 乙醇溶液于 517 nm 处测定的吸光度值;

A_j—0.5 mL 样品溶液+0.5 mL 无水乙醇于 517 nm 处测定的吸光度值。

1.4.5.2 ABTS⁺自由基清除能力测定

参照唐艳平等^[17]方法测定。

1.4.5.3 铁离子还原能力 (Ferric Reducing/Antioxidant Power, FRAP) 的测定

参照王苗苗等^[18]方法测定。

1.5 数据统计与分析

使用 Excel 2010 进行数据处理, 使用 SPSS 20.0 进行单因素方差分析, 使用 GraphPad Prism 8.0 软件作图, *P* ≤ 0.05 表示差异显著, *P* ≤ 0.01 表示差异极显著。

2 结果与讨论

2.1 不同处理对 O₂、CO₂ 体积分数、PPO 活性和褐变度的影响

O₂ 和 CO₂ 浓度是气调贮藏中的关键参数。由图 1a、1b 可知, CK 组中 O₂ 浓度呈逐渐下降趋势, CO₂ 浓度呈逐渐上升的趋势。这是由于 CK 组透气性较差, 在鲜切肉苻蓉呼吸作用下, 包装中气体变化较快, 贮藏第 7 天时, O₂ 浓度最低。第 4 天时, M₂ 组中 O₂ 浓度上升缓慢且趋于平缓。第 6 天时, M₁ 组中 O₂ 浓度上升缓慢且趋于平缓。可能是由于 M₂ 组较 M₁ 组透氧量高, 较快达到动态平衡^[19]。

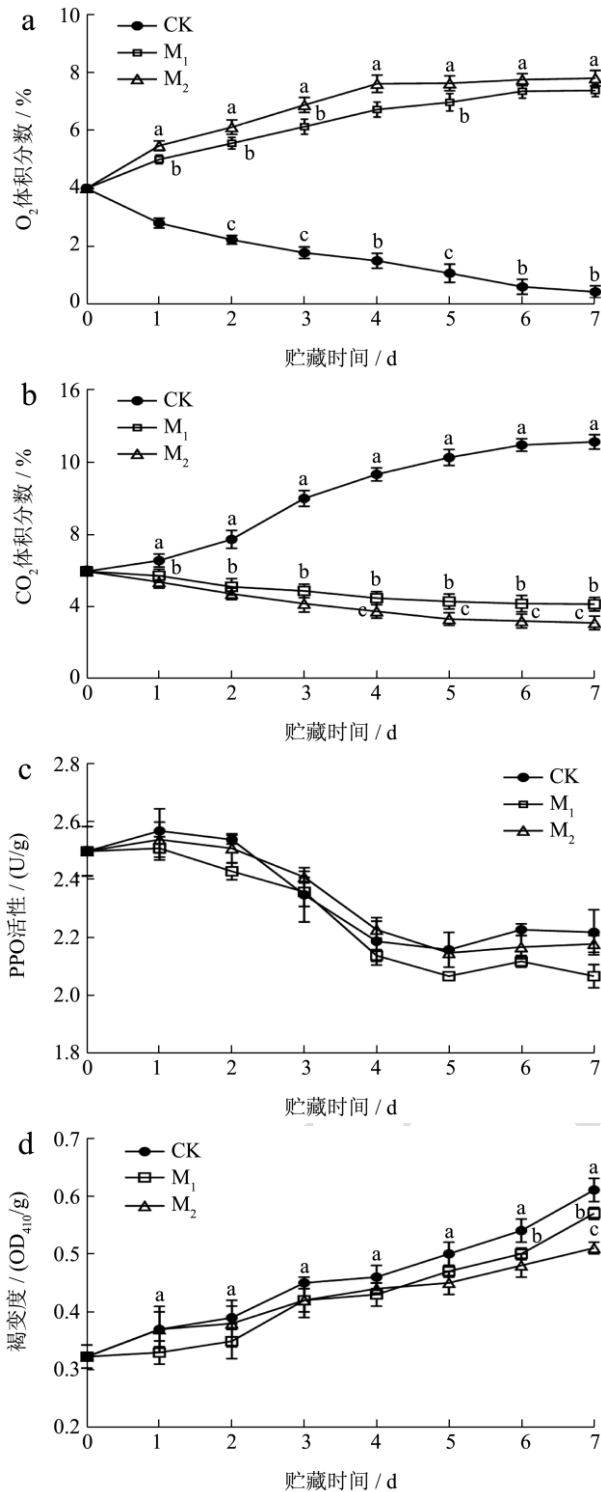


图1 不同处理对鲜切肉苁蓉 O₂体积分数(a)、CO₂体积分数(b)、PPO 活性(c)和褐变度(d)的影响

Fig.1 Effects of different treatments on volume fraction of O₂ (a), CO₂ (b), PPO activity (c) and browning degree (d) of fresh-cut *C. deserticola*

注: 同组数据间小写字母不同表示差异性显著, P<0.05, 下同。

PPO 是引起果蔬酶促褐变的主要原因。由图 1c 可知, 贮藏期间 PPO 活性呈现先上升后下降的趋势,

贮藏前期 PPO 活性上升可能是肉苁蓉在鲜切过程中受到损伤胁迫^[20]。在贮藏第 1~5 天时, 其活性缓慢下降。第 7 天时, M₁ 处理 PPO 活性分别比 CK、M₂ 处理低 6.76%、5.01%, 说明 M₁ 处理能有效抑制 PPO 活性的上升, 降低与酚类物质的结合能力。

褐变是影响鲜切肉苁蓉商品价值的关键因素之一。由图 1d 可知, 不同处理组鲜切肉苁蓉贮藏过程中褐变度均呈现上升趋势。贮藏结束时, M₁、M₂ 处理组分别比 CK 组低 6.56%、18.03%, 其中 M₂ 处理组褐变度最低, 为 0.51 OD₄₁₀/g。这可能是贮藏前期鲜切肉苁蓉呼吸较强, PPO 活性较高, 褐变相关酶与酚类物质相结合, 导致褐变。随着气体的交换, M₁、M₂ 处理组达到动态平衡微环境, 抑制了鲜切肉苁蓉的呼吸强度, 减缓了生理代谢速率, 降低了膜脂过氧化程度^[21-23], 随着 PPO 活性逐渐降低, 减少了褐色聚合物的产生, 从而抑制其褐变程度。CK 组的透气性较差, 容易发生无氧呼吸, 贮藏过程中容易产生微生物, 故褐变程度较 M₁ 和 M₂ 处理组高, 影响鲜切肉苁蓉的感官品质。

2.2 不同处理对 Vc、总酚和类黄酮的影响

Vc 是果蔬中的一种重要营养成分, 也是影响果蔬贮藏品质的重要指标之一, 在果蔬中发挥着抗氧化作用。如图 2a 所示, 在整个贮藏期间, 不同处理组中 Vc 含量均呈现逐渐下降的趋势。其中, M₁ 处理组 Vc 含量始终高于 M₂、CK 处理组 (P<0.05), 贮藏至第 7 d 时, M₁、M₂、CK 处理组 Vc 含量分别为 1.74%、1.62%、1.54%, M₁ 处理组分别是 M₂、CK 处理组的 1.07 倍、1.13 倍。可能是鲜切肉苁蓉受到机械损伤和生理代谢活动的影响, 加速组织中 Vc 的消耗和氧化进程, 从而导致 Vc 含量的降低^[24]。微孔膜气调包装处理后, 包装盒中气体通过微孔交换快速达到动态平衡状态, 抑制了鲜切肉苁蓉的生理代谢速率, 从而减缓 Vc 的氧化分解。表明 M₁ 处理能有效减缓鲜切肉苁蓉中 Vc 含量的下降, 较好的保持其抗氧化性。Reche^[25] 等研究发现, 通过延缓包装中 O₂ 的减少和 CO₂ 的增加, 可以减少营养物质消耗, 从而减少枣果实在冷藏过程中 Vc 和总酚含量的下降, 延迟果实成熟衰老。

酚类物质广泛存在于植物中, 在植物抗氧化过程中发挥着重要的作用。如图 2b 所示, 不同处理中总酚含量呈现先上升后下降的趋势, 贮藏第 5 d 时, 不同处理组总酚含量均达到峰值, 其中 M₁ 处理组总酚含量分别是 M₂、CK 处理组的 1.38 倍、1.11 倍。这可能是鲜切过程中细胞区域化结构被破坏, 导致酚类物质的含量升高^[26]。贮藏后期, 鲜切肉苁蓉衰老进程加剧,

总酚含量逐渐降低。其中, M₁、M₂ 包装内 O₂ 浓度增加, 酚类物质氧化加快, 与 M₁ 处理相比, M₂ 透气性较好, 酚类物质氧化速率较快。贮藏结束时, M₁ 处理组中总酚含量仍为最高。表明 M₁ 处理能较好的维持鲜切肉苻蓉中的总酚含量。

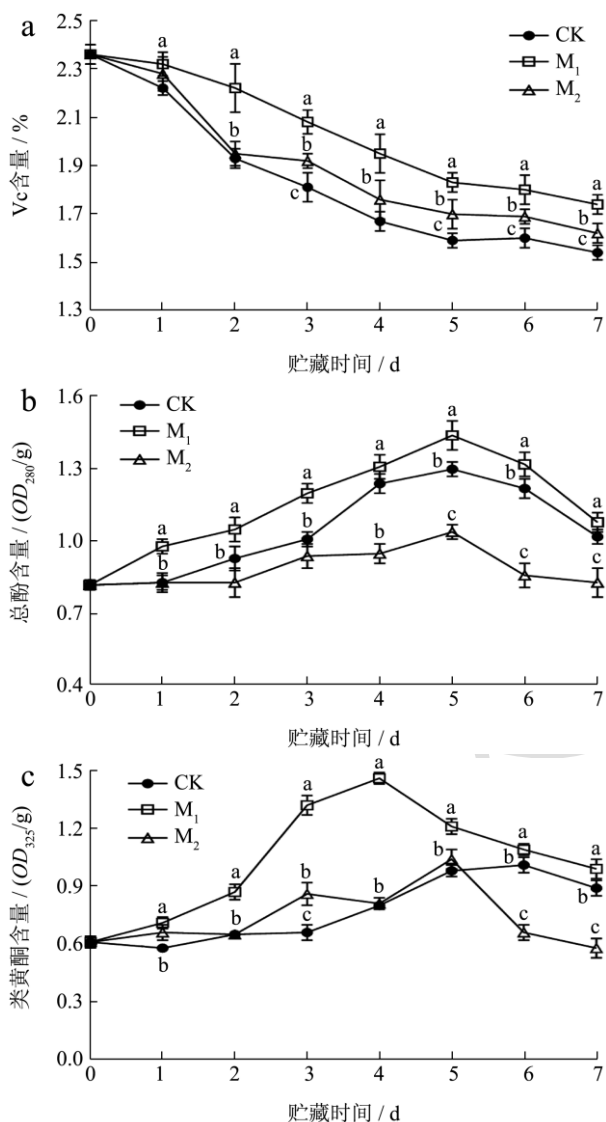


图2 不同处理对鲜切肉苻蓉 Vc 含量 (a)、总酚含量 (b) 和类黄酮含量 (c) 的影响

Fig.2 Effects of different treatments on Vc content (a), total phenol content (b) and flavonoid content (c) of fresh-cut *C. deserticola*

Vc、总酚及类黄酮是果蔬中存在的天然抗氧化剂, 能够维持体系的抗氧化性。如图 2c 所示, 贮藏期间, 不同处理组中类黄酮含量呈现先上升后下降趋势, M₁、M₂、CK 处理组分别在第 4 天、第 5 天、第 6 天时出现峰值, 且贮藏期间 M₁ 处理组中类黄酮含量最高。贮藏至第 7 天时, M₂、CK 处理组中类黄酮含量分别比 M₁ 处理组低 41.41%、10.10%。说明 M₁ 处理能有效减缓类黄酮含量的下降。

2.3 不同处理对总多糖含量的影响

植物多糖具有抑制自由基或者清除自由基的作用, 是植物中重要的活性成分之一。如图 3 所示, 贮藏期间, 不同处理组中鲜切肉苻蓉总多糖含量均呈现逐渐下降趋势, 其中 CK 组下降最快。这可能是鲜切肉苻蓉在鲜切处理后, 加速营养物质和底物有机酸的消耗, 多糖降解成单糖^[27], 从而导致总多糖含量的降低。M₁ 处理能有效抑制鲜切肉苻蓉的生理代谢, 减缓总多糖的降解。贮藏至第 7 天时, M₁ 处理组中鲜切肉苻蓉总多糖含量为 25.66 mg DE/g DW, 分别比 M₂ (24.11 mg DE/g DW)、CK (22.42 mg DE/g DW) 处理组高 6.43%、14.45%。表明 M₁ 处理能有效降低鲜切肉苻蓉中总多糖含量的散失。

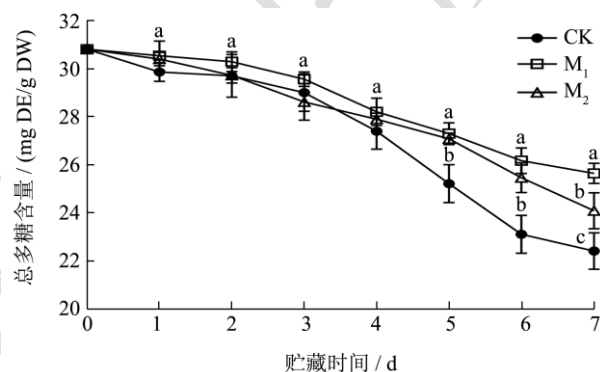


图3 不同处理对鲜切肉苻蓉总多糖含量的影响

Fig.3 Effects of different treatments on polysaccharide content of fresh-cut *C. deserticola*

2.4 不同处理对松果菊苷、毛蕊花糖苷含量的影响

图 4a 为标准品色谱图, 图 4b 为样品色谱图; 表 1 为松果菊苷和毛蕊花糖苷的相应的验证参数。校对曲线在范围内线性回归良好 ($R^2=0.9993\sim0.9998$), 因此, 建立的测定方法能够同时定量测定肉苻蓉样品粉末中松果菊苷和毛蕊花糖苷的含量。

松果菊苷和毛蕊花糖苷为肉苻蓉中主要功能成分, 属于苯乙醇苷类, 且具有抗氧化作用^[28]。由图 5a、5b 可知, 不同处理组的松果菊苷和毛蕊花糖苷含量呈逐渐下降趋势, 且下降趋势不显著。在整个贮藏期间, M₁ 处理组松果菊苷和毛蕊花糖苷的含量始终高于 CK 组。贮藏至第 7 天时, M₁ 处理组中鲜切肉苻蓉的松果菊苷的含量为 5.92 mg/g, 分别比 M₂、CK 处理组高 1.01%、1.20%, 毛蕊花糖苷的含量为 2.04 mg/g, 分别比 M₂、CK 处理组高 0.49%、1.47%。这可能是肉苻蓉植物体内含有与苯乙醇苷化合物水解相关酶, 苯乙

醇苷类物质会随着贮藏时间的增加被水解为小分子物质,从而导致其含量降低^[29,30],影响肉苁蓉的功能性。本试验中,鲜切肉苁蓉置于4℃环境中,低温抑制了苯乙醇苷相关水解酶的活性,从而降低苯乙醇苷类物质的水解程度^[31],较好的保持其含量。同时,M₁处理能够使包装盒中气体达到动态平衡,抑制鲜切肉苁蓉

的呼吸作用,减缓生命活动,且气体通过微孔进行交换,防止发生无氧呼吸,从而减缓鲜切肉苁蓉 pH 值的变化,有效的维持苯乙醇苷类物质的稳定性^[32]。结果表明,M₁处理能够有效的维持鲜切肉苁蓉中松果菊苷和毛蕊花糖苷的含量,保持其功能成分,提高其药用价值。

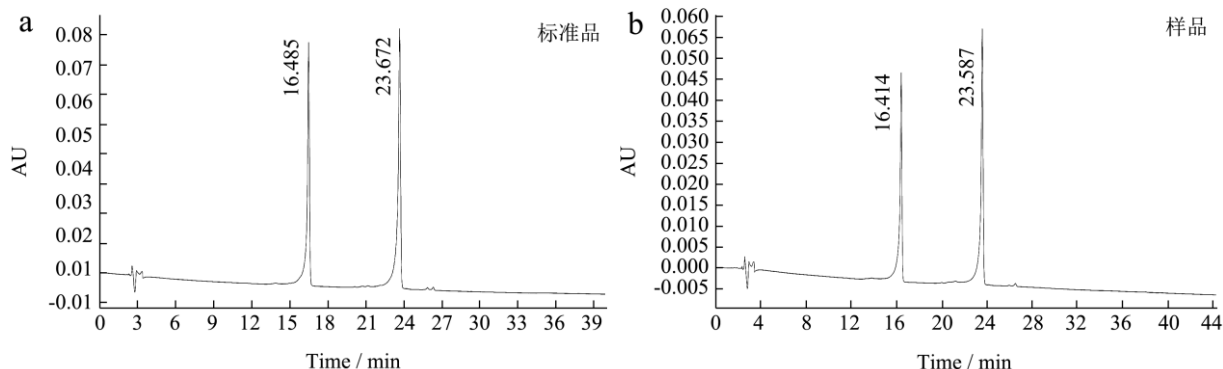


图 4 HPLC 色谱图

Fig.4 HPLC chromatogram

表 1 HPLC 法测定鲜切肉苁蓉中毛蕊花糖苷、松果菊苷验证参数

Table 1 HPLC method was used to determine the validation parameters of mulin and echinoside in fresh-cut *C.deserticola*

化合物	出峰时间/min	标准曲线	R ²	线性范围/(mg/mL)
毛蕊花糖苷	16.485	Y=161 735x+912 545	0.999 8	0.05~0.40
松果菊苷	23.672	Y=80 817x+1 478 316	0.999 3	0.05~0.40

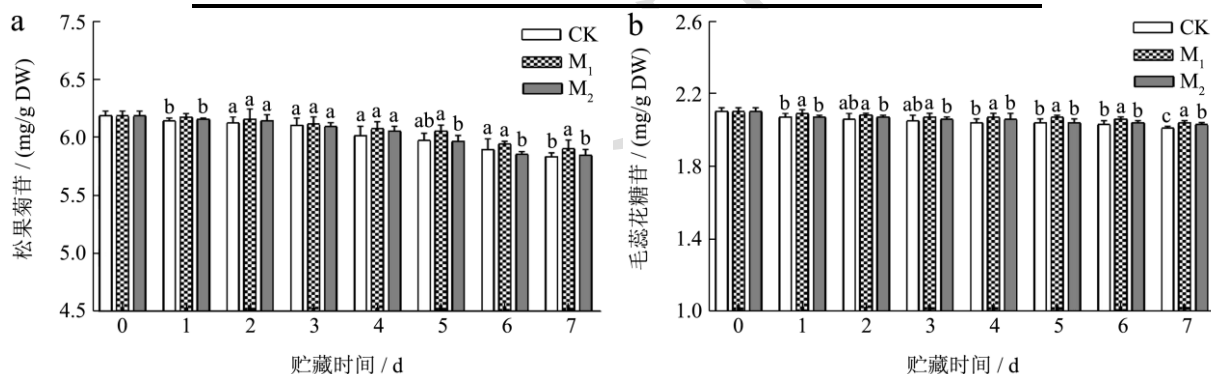


图 5 不同处理对鲜切肉苁蓉松果菊苷 (a) 和毛蕊花糖苷 (b) 含量的影响

Fig.5 Effects of different treatments on the contents of echinoside (a) and calycosin (b) in fresh-cut *C. deserticola*

2.5 不同处理对抗氧化性的影响

DPPH、ABTS⁺自由基清除能力和 FRAP 还原能力是直观反映果蔬抗氧化能力的重要指标,自由基清除率越高表明抗氧化能力越强。如图 6a、6b 所示,随着贮藏时间的延长,不同处理组的 DPPH 自由基清除率、ABTS⁺自由基清除率呈先上升后下降的趋势,与总酚含量、类黄酮含量的变化趋势整体一致,说明 DPPH 自由基清除率、ABTS⁺自由基清除率和总酚、类黄酮密切相关。贮藏至第 5 天时,不同处理组的 DPPH 自由基清除率均达到峰值,其中 M₁ 处理组的 DPPH 自由基清除率为 92.38%,而 M₂、CK 处理组的

DPPH 自由基清除率分别为 79.05%、88.25%。说明 M₁ 处理在不同程度上影响了 DPPH 自由基清除率且效果最好。贮藏期间,ABTS⁺自由基清除率的变化趋势与 DPPH 自由基清除率变化基本一致。M₁ 处理组中在第 5 天出现峰值,为 90.26%,而 M₂、CK 处理组在第 4 天出现峰值,分别比 M₁ 处理低 2.28%、1.70%,差异性显著 (P<0.05)。表明 M₁ 处理对鲜切肉苁蓉 ABTS⁺自由基清除率有显著影响,可以延缓鲜切肉苁蓉的氧化衰老。

FRAP 含量越高,表明果蔬抗氧化能力越强。如图 6c 所示,鲜切肉苁蓉中 FRAP 呈现整体下降趋势,与 Vc 含量和总多糖含量的变化趋势一致,说明 FRAP

还原能力与鲜切肉苁蓉中 Vc 含量和总多糖含量密切相关。贮藏至第 7 天时, M₁ 处理组中 FRAP 为 0.78 mmol/L, 分别比 M₂、CK 处理组提高 4.00%、11.43%。结果表明, M₁ 处理效果最好, 能较好的提高鲜切肉苁蓉的抗氧化性。

此外, 气调包装能调控抗氧化相关酶活性, 增强果实的抗氧化能力, 减轻氧化胁迫程度, 从而延缓品质的下降^[33]。已有研究表明, 各种水果中酚类、黄酮类含量与自身的抗氧化性有密切关系^[34-36]。本试验研究表明, M₁ 处理较好的维持鲜切肉苁蓉的活性成分, 增强鲜切肉苁蓉的抗氧化性, 有效延缓了组织衰老, 保护细胞免受微生物侵染, 从而提高其抗逆性, 较好的维持鲜切肉苁蓉的品质。

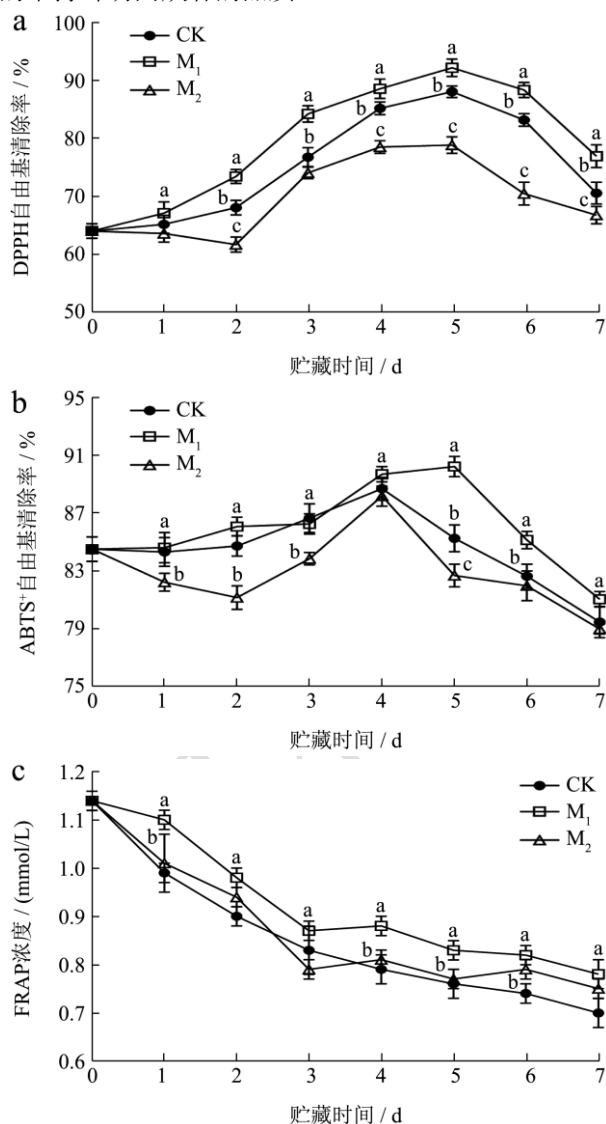


图 6 不同处理对鲜切肉苁蓉 DPPH 自由基清除率 (a)、ABTS⁺ 自由基清除率 (b) 和 FRAP (c) 的影响

Fig.6 Effects of different treatments on DPPH free radical scavenging rate (a), ABTS⁺ free radical scavenging rate (b) and FRAP (c) of fresh-cut *C. deserticola*

3 结论

主动气调处理 (6% CO₂+4% O₂+90% N₂) 结合不同包装材料对鲜切肉苁蓉进行研究, M₁ 处理能显著抑制鲜切肉苁蓉中 PPO 活性和褐变度的上升, 减缓 Vc、总酚、类黄酮、总多糖、松果菊苷和毛蕊花糖苷含量的下降, 使 DPPH、ABTS⁺ 自由基清除率和 FRAP 还原能力保持在较高水平。6% CO₂+4% O₂+90% N₂+M₁ 处理提高了鲜切肉苁蓉的抗氧化能力, 减缓了褐变与衰老, 维持了鲜切肉苁蓉的品质, 本研究可为鲜切肉苁蓉的贮藏保鲜提供理论依据。

参考文献

- [1] Quan X L, Xue B, Hui C B, et al. Crude polysaccharides from *Cistanche deserticola* Y. C. Ma as an immunoregulator and an adjuvant for foot-and-mouth disease vaccine [J]. Journal of Functional Foods, 2021, 87: 104800.
- [2] Xin H W, Xiao G W, Yu H G. Rapidly simultaneous determination of six effective components in *Cistanche tubulosa* by near infrared spectroscopy [J]. Molecules, 2017, 22(5): 843-851.
- [3] Wang F, Tu P, Zeng K, et al. Total glycosides and polysaccharides of *Cistanche deserticola* prevent osteoporosis by activating Wnt/ β -catenin signaling pathway in SAMP6 mice [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 271: 113899.
- [4] Feng S, Yang X, Weng X, et al. Aqueous extracts from cultivated *Cistanche deserticola* Y. C. Ma as polysaccharide adjuvant promote immune responses via facilitating dendritic cell activation [J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 277(10): 114256.
- [5] 胡晓敏, 黄彭, 刘雯欣, 等. 非热物理技术在鲜切果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 278-284.
- [6] 张鹏, 于弘弢, 李春媛, 等. 基于主成分分析的微环境气调对蓝莓贮藏后货架品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 12(3): 1-13.
- [7] 康丹丹. 微环境气调结合相温对兰州百合采后品质的调控效应[D]. 长春: 沈阳农业大学, 2020.
- [8] 伍新龄, 荆红彭, 张旭, 等. 不同自发气调包装膜对鲜食大豆保鲜效果的比较[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 265-270.
- [9] Rodriguez J, Zoffoli J P. Effect of sulfur dioxide and modified atmosphere packaging on blueberry postharvest quality [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 117(23): 230-238.
- [10] 荆红彭, 张旭, 关文强, 等. 不同温度下微孔膜包装青毛豆的

- 保鲜效果研究[J].食品工业科技,2015,36(3):335-339.
- [11] 尹杰文,何晓梅,贾嘉懿,等.基于主成分分析的微孔膜包装对延缓黄瓜冷贮后细胞膜脂过氧化及品质劣变研究[J].食品与发酵工业,2021,63(27):1-13.
- [12] Opapa U L, Hussein Z, Caleb O J. Phytochemical properties and antioxidant activities of minimally processed 'Acco' pomegranate arils as affected by perforation-mediated modified atmosphere packaging [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 43(3): 124-132.
- [13] 刘慧,张静林,刘杰超,等.抗坏血酸结合自发热气调包装对灵武长枣贮藏品质和抗氧化性的影响[J].食品科学,2021,42(1):257-263.
- [14] 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
- [15] 赵岩,于鑫淼,魏玉萍,等.青海管花肉苁蓉不同部位的功能性成分及其抗氧化活性[J].食品工业科技,2021,15(26):1-11.
- [16] 裴斐,陶虹伶,蔡丽娟,等.响应面试验优化辣木叶多酚超声辅助提取工艺及其抗氧化活性[J].食品科学,2016,37(20):24-30.
- [17] 唐艳平,张伟敏,陈文学,等.腰果梨渣多酚提取及抗氧化性研究[J].食品科学,2010,31(20):240-245.
- [18] 王苗苗,刘宗浩,张永,等.2种新疆沙棘中黄酮、多酚及其抗氧化活性分析[J].食品工业科技,2020,41(18):51-57.
- [19] 王晓芸.微孔保鲜膜在蔬菜包装上的应用研究[D].天津:天津科技大学,2015.
- [20] 闫凯亚,何叶子,张敏.包装方式对西兰花物流保鲜品质的影响[J].食品与机械,2016,32(4):155-159.
- [21] 王康飞,王桂英,王德铮.不同保鲜方式对葡萄保鲜效果影响的对比研究[J].包装工程,2020,41(15):19-24.
- [22] 俞静芬,卢宇广,尚海涛,等.微孔膜结合 1-MCP 对水蜜桃果实品质的影响研究[J].农产品加工,2021,6(3):26-28.
- [23] 付越.不同包装材料对板栗贮藏保鲜效果的影响[D].晋中:山西农业大学,2019.
- [24] 方宗壮,何艾,窦志浩,等.不同气调包装结合低温处理对鲜切菠萝贮藏品质的影响[J].河南工业大学学报,2018,39(4):102-107.
- [25] Reche J, Garcia-pastor M, Valero D, et al. Effect of modified atmosphere packaging on the physiological and functional characteristics of Spanish jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) cv 'Phoenix' during cold storage [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 258: 108743.
- [26] Ali S, Khan A S, Malik A U, et al. Modified atmosphere packaging delays enzymatic browning and maintains quality of harvested litchi fruit during low temperature storage [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 254(16): 14-20.
- [27] 刘洋.肉苁蓉,草苁蓉活性成分和指纹图谱研究[D].长春:吉林大学,2013.
- [28] Jin L, Hong N Y, Chuan Y, et al. Therapeutic potential and molecular mechanisms of echinacoside in neurodegenerative diseases[J]. Frontiers in Pharmacology, 2022, 13: 841110.
- [29] 庞金虎.采后处理及提取方法对肉苁蓉主要有效成分的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
- [30] 张超,华悦,廉婧,等.肉苁蓉炮制过程中苯乙醇苷类成分含量变化规律研究[J].中国中医药信息杂志,2015,36(22):260-265.
- [31] 蔡鸿,鲍忠,姜勇,等.不同产地管花肉苁蓉中有效成分的定量分析[J].中草药,2007,38(3):452-455.
- [32] Fei Z, Zhao Y, Li M, et al. Degradation of phenylethanoid glycosides in *Osmanthus fragrans* Lour. flowers and its effect on anti-hypoxia activity [J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 10068-10083.
- [33] 罗淑芬,胡花丽,陈筱艳,等.气调包装对刀豆贮藏品质及抗氧化酶活性的影响[J].食品科学,2015,36(22):260-265.
- [34] Wang S Y, Lin H S. Antioxidant activity in fruits and leaves of blackberry, raspberry, and strawberry varies with cultivar and developmental stage [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(2): 140-146.
- [35] Reche J, Garcia-pastor M E, Valero D, et al. Effect of modified atmosphere packaging in the antioxidant capacity of arazá (*Eugenia stipitata* McVaugh), naranjilla (*Solanum quitoense* Lam.) and tree tomato (*Solanum betaceum* Cav.) fruits from Ecuador [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(10): 147-157.
- [36] Selcuk N, Erkan M. Changes in antioxidant activity and postharvest quality of sweet pomegranates cv. Hicrannar under modified atmosphere packaging [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 92(38): 29-36.