

不同真空包装材料对鲜切甘薯品质的影响

刘程惠^{1,2}, 李雯^{1,2}, 姜爱丽^{1,2}, 谢辉³, 陈晨^{1,2}

(1.大连民族大学 生命科学学院, 辽宁 大连 116600; 2.生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连 116600; 3.大连特种粮研究所, 辽宁 大连 116200)

摘要: **目的** 研究不同真空包装材料对鲜切甘薯品质的影响, 筛选出保鲜效果最佳的真空包装材料。**方法** 本实验以厚度为 0.01 mm 的聚乙烯 (PE) 保鲜膜塑料薄膜+托盘为对照 (CK) 组, 以聚酯镀铝膜 (VMPET+PE)、铝塑复合、聚酯和高聚合尼龙面料复合聚乙烯 (PA+PE) 等 4 种真空包装材料为处理组, 将鲜切甘薯置于 4 °C 下避光贮藏 16 d, 研究其感官指标、营养物质含量及褐变相关酶等指标的变化。**结果** 在贮藏末期, 真空处理的质量损失率及褐变指数分别约为 CK 组的 28.6% 和 59.9%, 且在短期内真空包装可明显推迟呼吸高峰的出现, 抑制木质化现象的发生及酚类物质和丙二醛 (MDA) 的积累, 减缓褐变相关酶活力的增强, 维持淀粉等营养物质含量。**结论** 真空包装有利于抑制鲜切甘薯的生理生化反应, 减缓营养物质消耗和有害物质的积累, 维持其感官品质。

关键词: 鲜切甘薯; 真空包装材料; 保鲜效果

中图分类号: TB485.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)09-0062-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.09.008

Effects of Different Vacuum Packaging Materials on Quality of Fresh-cut Sweet Potatoes

LIU Cheng-hui^{1,2}, LI Wen^{1,2}, JIANG Ai-li^{1,2}, XIE Hui³, CHEN Chen^{1,2}

(1. College of Life Science, Dalian Minzu University, Liaoning Dalian 116600, China;

2. Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization, Ministry of Education, Liaoning Dalian 116600, China;

3. Dalian Special Grain Research Institute, Liaoning Dalian 116200, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effects of different vacuum packaging materials on quality of fresh-cut sweet potatoes and select the vacuum packaging materials of the best preservation effect. In this experiment, with 0.01 mm thick polyethylene (PE) plastic film + tray as the control group (CK), and with polyester aluminized film (VMPET+PE), aluminum-plastic composite, polyester and high polymerized nylon fabric composite polyethylene (PA+PE) as the treatment group, the fresh-cut sweet potatoes were stored at 4 °C for 16 days without light to study the changes of sensory indexes, nutrient contents and enzymes related to browning. The results showed that at the end of storage, the mass loss rate and browning index of the group with vacuum treatment were about 28.6% and 59.9% of the CK group. Vacuum treatment could significantly delay the appearance of respiratory peak, inhibit the lignification phenomenon, the accumulation of phenols and malondialdehyde (MDA), slow down the activity of browning related enzymes, and maintain the content of starch and other nutrients in a short term. In conclusion, vacuum packaging can inhibit physiological and biochemical

收稿日期: 2023-02-23

基金项目: 甘肃省科技计划重大项目 (21ZD4NA016-02)

作者简介: 刘程惠 (1979—), 女, 博士, 讲师, 主要研究方向为食品科学与工程。

通信作者: 姜爱丽 (1971—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为采后生物学与技术。

reactions of fresh-cut sweet potatoes, slow down nutrient consumption and accumulation of harmful substances, and maintain its sensory quality.

KEY WORDS: fresh-cut sweet potatoes; vacuum packaging materials; preservation effect

甘薯, 旋花科甘薯属一年生或多年生蔓生草本植物, 富含淀粉、纤维素及抗氧化成分, 是天然的“生理碱性”食物, 具有调节体内酸碱平衡、提高机体免疫力等作用^[1-2]。鲜切甘薯经包装后能在短期内维持其外观品质, 便于消费者直接烹饪食用^[3]。但甘薯切片加工过程中, 机械切分等步骤会使其原有的细胞组织遭到破坏, 进而导致甘薯水分流失, 风味品质下降, 影响贮藏期。同时机械损伤会使酚酶区域化被打破, 酚类底物和酚酶接触, 在氧气的作用下氧化产生醌类物质, 最终聚合为黑褐的色素物质, 产生褐变^[4]。

真空包装代表了一种静态的低压条件, 通过机械排除包装中的氧气来抑制果蔬的氧化反应及其自身的生理代谢, 对鲜活产品的色泽、香味及质地等方面均有良好的保持效果^[5]。徐冬颖等^[6]研究发现, PE + PA 真空包装能有效抑制鲜切马铃薯片的褐变程度, 并且通过隔绝空气抑制酵母和霉菌的生长及氧化褐变。甘薯与马铃薯类似, 组织结构致密, 休眠期内生理代谢及呼吸强度显著下降, 因此真空包装有望实现鲜切甘薯的短期贮藏^[7-8]。

本研究以鲜切甘薯为研究对象, 测定 4 °C 下贮藏 16 d 的质量损失率、硬度、色差、呼吸强度, 木质素、MDA、总酚及淀粉含量, 过氧化物酶 (POD) 活力和多酚氧化酶 (PPO) 活力等指标。研究 PE 保鲜膜塑料薄膜及 4 种不同真空包装袋对鲜切甘薯保鲜效果的影响, 为后续鲜切甘薯成品的流通上市, 开发高效的鲜切果蔬保鲜技术提供新的方向。

1 实验

1.1 材料

主要材料: 新鲜甘薯 (连烤薯 1 号), 采自大连市普兰店区大连特种粮研究所; 真空包装材料 (VMPET+PE、铝塑复合、聚酯、PA+PE), 深圳市喜之龙实业有限公司; PE 塑料托盘, 天津硕纳塑料机械科技有限公司。

主要试剂: 丙酮、甲醇、无水乙醇、浓盐酸、次氯酸钠、氢氧化钠、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、H₂O₂ (体积分数为 30%, 下同)、邻苯二酚、愈创木酚等, 天津市科密欧化学试剂有限公司。

1.2 实验仪器

仪器与设备: TGL-20M 型医用离心机, 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司; T-18 匀浆机, 德国 IKA 公司; SIM-F140 型制冰机, 日本三洋公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

选取大小形状均一, 无病害、无机械损伤的甘薯用蒸馏水清洗, 0.2% 次氯酸钠溶液浸泡 5 min, 去皮切片 (厚度为 5 mm) 后清洗切片 1 min 除去表面淀粉, 采用无菌风吹干切片表面水分, 切片随机分为 5 组: 1 组放入塑料托盘中, 用 PE 保鲜膜塑料薄膜覆盖, 作为 CK 组。其余 4 组分别放入 4 种真空包装袋中抽真空 (真空时间为 55 s, 封口时间为 2 s, 冷却时间为 3 s), 4 种处理组分别为 VMPET+PE、铝塑复合、聚酯、PA+PE。所有样品在 4 °C 条件下冷藏 16 d, 每 4 d 观察并测定相关指标, 重复平行 3 次。

1.3.2 质量损失率测定

采用称质量法^[9]测定质量损失率, 按照式 (1) 进行计算。

$$\text{质量损失率} = \frac{m - m_0}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中: m_0 为初始甘薯片的质量; m 为取样时甘薯片的质量。

1.3.3 硬度的测定

硬度参照王梅等^[10]的方法测定。由鲜切甘薯的性质选用 TA.XT plus 型质构仪, 每个处理重复测定 3 片, 每片甘薯测定 3 个相同位置点的硬度, 单位为 N。

1.3.4 色泽测定

使用色差计测定甘薯切片的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值, 褐变指数 (B_1) 计算参照 Plaou 等^[11]的方法, 计算式见式 (2)、式 (3)。

$$x = \frac{a^* + 1.75L^*}{5.645L^* + a^* - 3.012b^*} \quad (2)$$

$$B_1 = \frac{100(x - 0.31)}{0.172} \quad (3)$$

式中: B_1 代表褐变指数。

1.3.5 呼吸强度测定

将鲜切甘薯置于 550 mL 密封容器 1 h, 随后使用 F-940 便携式气体分析仪测定其呼吸强度, 每种处理重复测定 3 次, 单位为 mg/(kg·h)。

1.3.6 木质素含量测定

木质素含量参照 Jiang 等^[12]的方法测定。称取 3.0 g 样品, 加入 5 mL 预冷的体积分数为 95% 的乙醇, 收集沉淀, 用乙醇冲洗 3 次后于烘箱中烘烤 24 h, 测定反应溶液在 280 nm 下的吸光值, 单位为 mg/g。

1.3.7 MDA 含量测定

MDA 含量参照曹建康等^[13]的方法测定。测定反应溶液(2 mL 上清及 2 mL TBA)在 450、532 及 600 nm 下的吸光值,单位为 nmol/(g·mF)。

1.3.8 总酚含量测定

总酚含量参照曹建康等^[13]的方法测定。提取液为盐酸-甲醇溶液。测定上清液在 280 nm 下的吸光值,单位为 mg/g。

1.3.9 淀粉含量测定

淀粉含量参照曹建康等^[13]的方法测定。吸取 2.0 mL 淀粉提取液,在波长 660 nm 处进行比色测定。以吸光值为纵坐标,淀粉的质量为横坐标,标准曲线为 $y=0.0017x+0.0077$ (R^2 为 0.999)。根据吸光值,查出相应的淀粉质量,计算甘薯组织的淀粉含量,以质量分数(%)表示。

1.3.10 酶活性测定

过氧化物酶和多酚氧化酶活力参照 Liu 等^[14]的方法测定。

1.4 数据统计分析

用 Excel 2010 处理软件处理数据,Origin Pro 2019 软件绘图;用 SPSS 2.0 处理软件 Duncan 法检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 不同真空包装材料对鲜切甘薯质量损失率的影响

质量损失率可用来衡量甘薯切片贮藏期内呼吸底物消耗量及蒸腾作用强度。甘薯经切割伤害,创伤面会产生呼吸作用,失水面积增加^[15]。由图 1 可知,在贮藏期内,鲜切甘薯的质量损失率随时间延长呈上升趋势。从第 4 天起,各处理组的质量损失率始终显著低于 CK 组 ($p<0.05$);在贮藏第 16 天时,CK 组、VMPET+PE、铝塑复合、聚酯和 PA+PE 处理组的质量损失率分别为 3.40%、0.41%、0.11%、0.73%和 0.85%。表明铝塑复合真空包装材料密封性更好,对甘薯切片的蒸腾失水有更强的抑制作用,有益于维持其感官品质,使感官品质在贮藏期内的相对恒定。

2.2 不同真空包装材料对鲜切甘薯硬度的影响

果蔬经鲜切后细胞间结合力下降,细胞膨胀减少,导致甘薯切片品质劣变^[16]。同时,甘薯遭受机械损伤后会在表面形成愈伤组织,致密的表层导致其硬化。由图 2 可知,在贮藏期内,CK 组甘薯切片的硬度呈缓慢上升趋势,而处理组硬度均显著下降

($p<0.05$)。在贮藏至第 12 天时,CK 组甘薯硬度显著高于各处理组 ($p<0.05$)。这是由于水分蒸发迅速,愈伤组织形成快,而真空处理能有效抑制鲜切甘薯愈伤组织的形成,维持其新鲜程度^[13]。

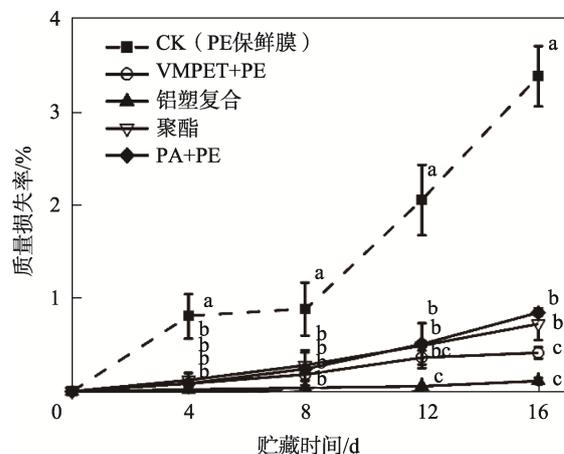


图 1 不同真空包装材料对鲜切甘薯质量损失率的影响
Fig.1 Effect of different vacuum packaging materials on mass loss rate of fresh-cut sweet potatoes

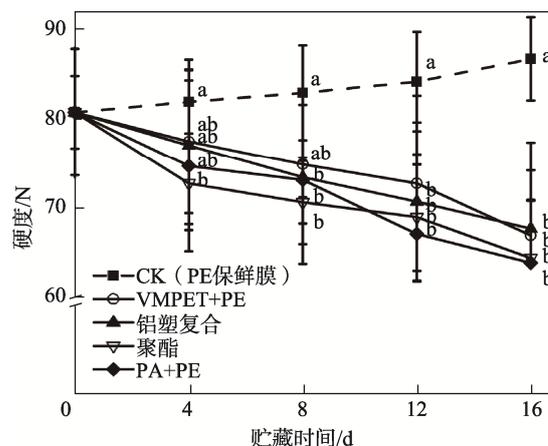


图 2 不同真空包装材料对鲜切甘薯硬度的影响
Fig.2 Effect of different vacuum packaging materials on hardness of fresh-cut sweet potatoes

2.3 不同真空包装材料对鲜切甘薯褐变指数的影响

B_1 值越高,表示褐变程度越严重。由图 3 可知,CK 组甘薯切片的褐变指数普遍呈上升趋势,而贮藏前 4 d 处理组的褐变指数略有升高,随后总体呈缓慢下降趋势。在贮藏第 16 天时,CK 组、VMPET+PE、铝塑复合、聚酯和 PA+PE 处理组的 BI 值与第 0 天的差值为 15.22、5.61、0.91、2.06 和 1.90。表明真空包装对鲜切甘薯的褐变具有抑制作用,铝塑复合真空包装材料能最大程度地保持其外观品质。

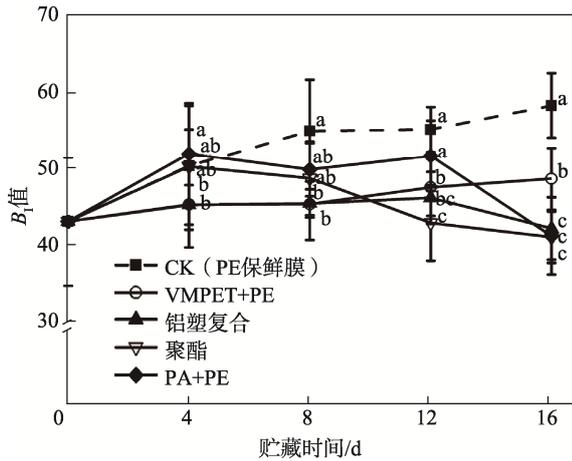


图 3 不同真空包装材料对鲜切甘薯 BI 的影响

Fig.3 Effect of different vacuum packaging materials on BI of fresh-cut sweet potatoes

2.4 不同真空包装材料对鲜切甘薯呼吸强度的影响

甘薯经鲜切后,呼吸作用会消耗营养成分,加速衰老,使其品质劣化。如图 4 可见,甘薯切片的呼吸强度在贮藏期内总体呈显著上升趋势 ($p < 0.05$)。从贮藏第 12 天起, VMPET+PE 及 PA+PE 处理组的呼吸强度达到峰值后下降,属于跃变型呼吸,表明甘薯进入衰老期^[17]。铝塑复合及聚酯处理组能推迟鲜切甘薯呼吸高峰的出现,延缓其成熟衰老,但由于其旺盛的呼吸作用,贮藏后期更易引发甘薯切片的无氧呼吸及内部发酵^[6]。铝塑复合及聚酯处理更适用于短期贮藏。

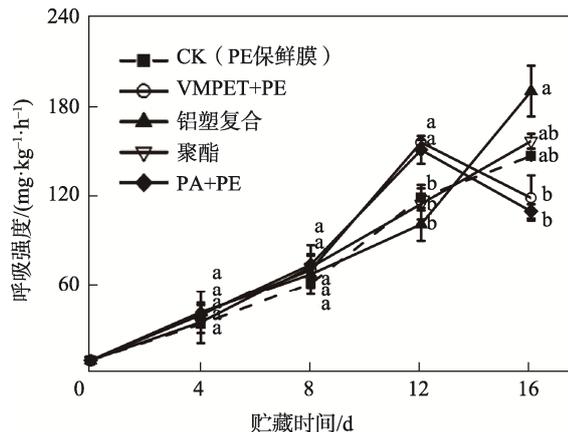


图 4 不同真空包装材料对鲜切甘薯呼吸强度的影响

Fig.4 Effect of different vacuum packaging materials on respiratory intensity of fresh-cut sweet potatoes

2.5 不同真空包装材料对鲜切甘薯木质素含量的影响

果实在受到低温及冷害等非生物胁迫时会发生

木质化现象。随冷害时间延长,木质素会在果蔬的衰老进程中不断积累^[18]。由图 5 可知,贮藏过程中鲜切甘薯的木质素含量不断上升,CK 组始终高于处理组,且贮藏至第 8 天起差异显著 ($p < 0.05$)。木质素含量的上升速率在第 8 天至第 12 天较快,12 d 后上升速率减慢。这可能由于前期乙酰化程度缓慢增大,12~16 d 时乙酰化程度迅速增加,导致木质素溶解率较高^[19]。通过不同处理组在贮藏 16 d 的对比结果可知,聚酯及 PA+PE 真空包装材料抑制鲜切甘薯木质化效果较好。

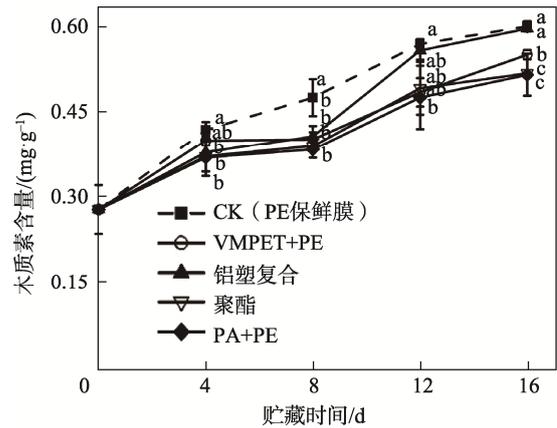


图 5 不同真空包装材料对鲜切甘薯木质素含量的影响

Fig.5 Effect of different vacuum packaging materials on lignin content of fresh-cut sweet potatoes

2.6 不同真空包装材料对鲜切甘薯 MDA 含量的影响

MDA 是膜脂过氧化的主要产物,反映鲜切甘薯细胞膜衰老和劣变程度^[20]。由图 6 可知,甘薯切片的 MDA 含量上升,贮藏末期 CK 组的膜脂过氧化程度显著高于处理组 ($p < 0.05$),说明真空包装可以减缓鲜切甘薯细胞膜的氧化损伤。铝塑复合处理组的 MDA 含量在贮藏期内始终低于其他处理组的,贮藏前后变化最小,说明铝塑复合真空包装材料抑制细胞的膜脂过氧化效果最好。

2.7 不同真空包装材料对鲜切甘薯总酚含量的影响

甘薯中的酚类物质在螯合活性金属离子和抑制脂质过氧化方面具有重要的抗氧化活性,它们作为酚醛酶的氧化底物参与酶促褐变反应^[21]。由图 7 可见,甘薯切片的总酚含量大体呈上升趋势,CK 组上升速度更快。可能因为机械损伤刺激了苯丙类代谢途径中酚类物质的合成,以达到修复受损组织的目的。铝塑复合处理组总酚含量在贮藏期内始终维持在最低水平,抑制鲜切甘薯酚类物质的积累效果最好,可较好地减缓其褐变速度,维持产品品质。

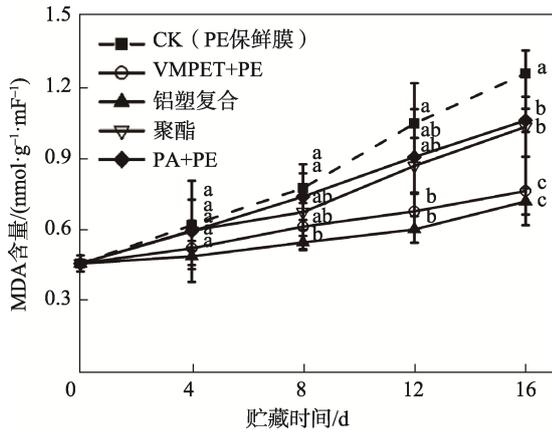


图6 不同真空包装材料对鲜切甘薯MDA含量的影响
Fig.6 Effect of different vacuum packaging materials on MDA content of fresh-cut sweet potatoes

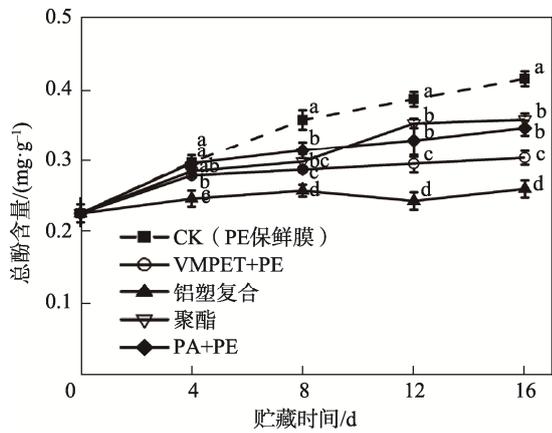


图7 不同真空包装材料对鲜切甘薯总酚含量的影响
Fig.7 Effect of different vacuum packaging materials on total phenol content of fresh-cut sweet potatoes

2.8 不同真空包装材料对鲜切甘薯淀粉含量的影响

甘薯的食用品质与淀粉含量呈正相关, 淀粉含量越高, 食用品质越好^[22]。如图8可见, 贮藏末期CK组的淀粉含量显著低于各处理组 ($p < 0.05$) 的, 这可能是甘薯切片的呼吸作用增强, 相关淀粉降解酶的活性升高, 使其糖化加速导致。在贮藏至第16天时, CK组、VMPET+PE、铝塑复合、聚酯和PA+PE处理组的淀粉含量与第0天的差值分别为3.77%、1.47%、2.01%、2.30%和3.28%。说明铝塑复合真空包装材料维持鲜切甘薯淀粉降解及保持其食用品质的效果最好。

2.9 不同真空包装材料对鲜切甘薯POD活力的影响

POD能促进甘薯切片愈伤组织的形成及酶促褐变

的加重^[23]。由图9可知, 随贮藏时间延长, 鲜切甘薯的POD活力总体呈缓慢上升趋势, 真空处理后的POD活力低于CK组的。表明真空包装能抑制POD活力的上升, VMPET+PE处理组的POD活性在贮藏期内始终维持在较低水平, 在贮藏至第8天时显著低于CK组的。

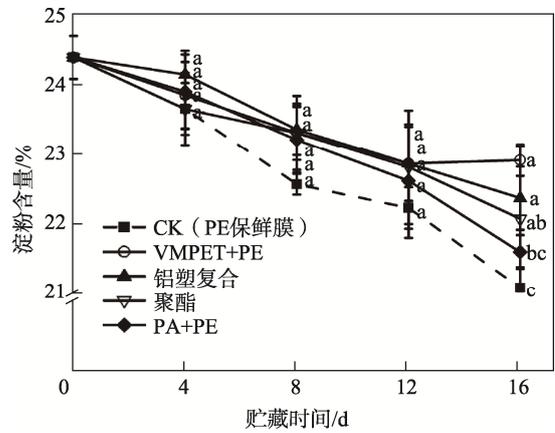


图8 不同真空包装材料对鲜切甘薯淀粉含量的影响
Fig.8 Effect of different vacuum packaging materials on starch content of fresh-cut sweet potatoes

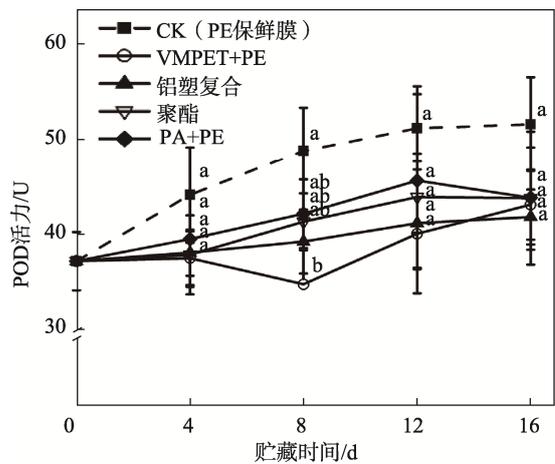


图9 不同真空包装材料对鲜切甘薯POD活力的影响
Fig.9 Effect of different vacuum packaging materials on POD activity of fresh-cut sweet potatoes

2.10 不同真空包装材料对鲜切甘薯PPO活力的影响

PPO是果蔬中存在的一种末端氧化还原酶, 主要参与受损植物组织的褐变过程^[24]。由图10可知, CK组甘薯切片在贮藏期间的PPO活力总体呈显著上升趋势 ($p < 0.05$)。贮藏末期CK组PPO活力显著高于各处理组 ($p < 0.05$), 表明真空包装能抑制PPO活力的上升。综合整个贮藏期内各包装材料对PPO活性的抑制作用后发现, VMPET+PE、铝塑复合及聚酯

处理组对 PPO 活力的抑制作用具有稳定表现, 能起到延缓甘薯切片褐变的作用。

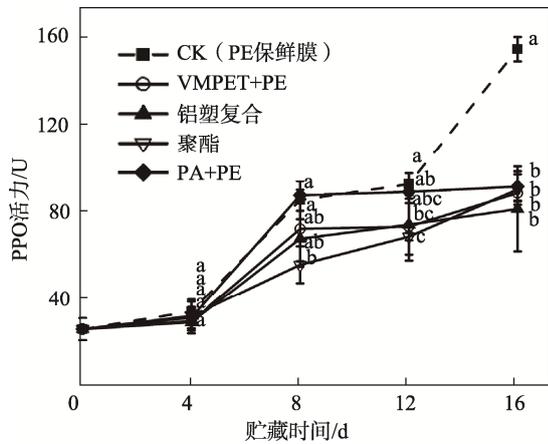


图 10 不同真空包装材料对鲜切甘薯 PPO 活力的影响

Fig.10 Effect of different vacuum packaging materials on PPO activity of fresh-cut sweet potatoes

2.11 不同真空包装材料对鲜切甘薯各指标间的 Pearson 相关性分析

由图 11 中 CK 组及各处理组甘薯切片的各项生理生化指标的相关性分析发现, 不同处理组的感官指标、营养物质含量及酶活力之间相关性较高, 处理组与 CK 组各指标间的相关性有较大差异, 各处理组间差异不显著。结果表明: CK 组褐变指数与淀粉含量

呈显著负相关 ($p < 0.05$), 与呼吸强度、MDA、总酚含量及 PPO、POD 活力呈显著正相关 ($p < 0.05$) 或极显著正相关 ($p < 0.01$); 而铝塑复合、聚酯和 PA+PE 处理组的褐变指数与这些指标均无明显相关性。说明这几种真空包装材料通过降低呼吸速率、减缓相关代谢酶的活性、酚类底物的合成及细胞膜脂过氧化程度的积累来抑制鲜切甘薯的酶促褐变。此外, 各处理组的 MDA 含量与质量损失率间存在极显著 ($p < 0.01$) 正相关关系, 与硬度呈显著负相关 ($p < 0.05$) 或极显著负相关 ($p < 0.01$), 与淀粉含量间存在显著 ($p < 0.05$) 或极显著 ($p < 0.01$) 负相关关系。这表明真空包装材料通过延缓鲜切甘薯水分的散失及愈伤组织的形成, 抑制淀粉降解, 从而减缓细胞的过氧化损伤。不仅如此, 由图 11 可知, 各组木质素含量与 POD 活力呈显著正相关 ($p < 0.05$), 说明褐变相关酶活力的上升是导致甘薯木质化现象发生的关键, 在贮藏过程中可通过抑制酶的活性有效延缓木质素的积累。

3 讨论

果蔬经鲜切后呼吸强度升高, 新陈代谢加快, 加速了其品质劣化。已有研究表明, 真空包装能抑制鲜切产品遭受逆境伤害后的次生代谢水平, 从而达到更好的保鲜效果^[25]。本研究用真空包装处理鲜切甘薯后于 4 °C 冷藏条件下贮存, 发现真空处理可以通过抑制甘薯切片组织失水、褐变相关酶活力的上升以及酚类底物的积累, 减缓细胞膜的氧化损伤和营养物质的消耗, 从而维持其生理特性。

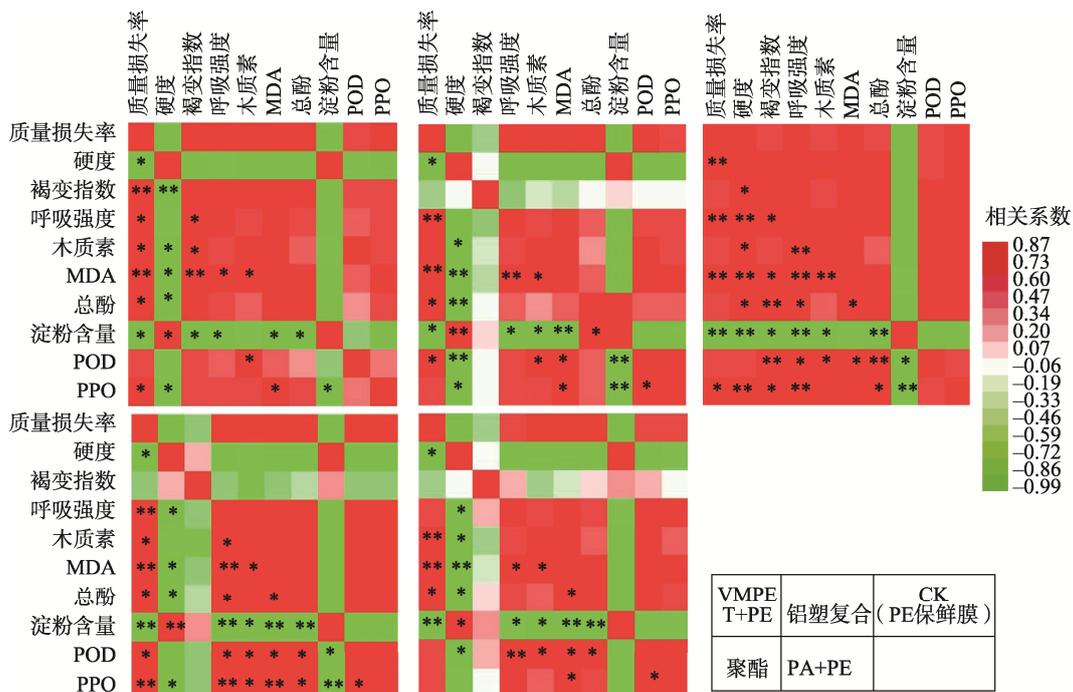


图 11 各指标皮尔森相关性矩阵

Fig.11 Pearson correlation matrix of indicators

注: $p < 0.05$ (*) 表示差异达显著水平; $p < 0.01$ (**) 表示差异达极显著水平。

酚类底物、褐变相关酶及氧气的存在是酶促褐变发生的必要条件。酚类化合物与 PPO 存在区域性分布, 鲜切会导致细胞损伤, PPO 在氧气的参与下催化底物发生反应, 引起褐变。此外, 酚类物质的含量与植物受到伤害胁迫后的氧化应激反应程度密切相关^[26-27]。为防御伤害胁迫和达到愈伤修复的目的, 切割处理也会催化内酚类物质的合成并积累, 导致氧化酶进一步活化, 加速褐变反应的发生^[28-30]。本研究表明甘薯经鲜切后, MDA、总酚含量和 PPO、POD 活性会上升, CK 组褐变指数与 PPO、POD 活力间存在显著正相关或极显著正相关关系。表明机械损伤对酶促褐变起到促进作用, 而真空处理可通过保持低氧及负压环境, 使鲜切甘薯的褐变程度维持在较低水平。

甘薯经切分后会产生较多的木质素, 减少所受伤害^[31]。在木质素合成的最后一步, POD 参与了伤口愈合阶段闭合层的形成, 起到抗氧化及促进褐变的双重作用^[32-33]。本研究表明, 各组木质素含量与 POD 活力间存在显著正相关关系, 说明切割伤害会引发木质素积累, 而木质化现象的出现是 POD 活化的关键。这一结论与薛应钰等^[34]的研究结果一致。真空处理能有效抑制甘薯切片的木质化现象及酶活力上升, 使其保持相对稳定的外观品质及理化特性。

在保鲜过程中, 甘薯切片营养成分的流失主要是由于淀粉转化为糖^[35]。各组淀粉含量与呼吸强度呈显著或极显著负相关。表明伤胁迫会刺激甘薯细胞氧化分解营养物质并释放产生能量, 通过呼吸作用使鲜切甘薯营养物质损失加剧。王定仙等^[36]发现真空包装能显著抑制鲜切马铃薯褐变及淀粉水解, 使其整体感官评分较好。本研究发现, 铝塑复合及聚酯处理组能有效推迟鲜切甘薯贮藏期内呼吸高峰的出现, 有益于维持其营养物质含量。真空处理维持鲜切甘薯品质的作用模型见图 12。

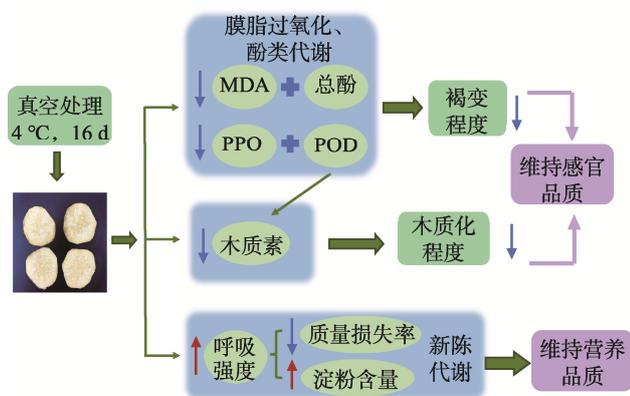


图 12 真空处理维持鲜切甘薯品质的作用模型

Fig.12 Model of maintaining fresh-cut sweet potatoes quality

4 结语

真空包装在短期内可隔绝空气, 抑制鲜切甘薯水分流失及愈伤组织形成, 推迟呼吸高峰的出现, 抑制木质素、酚类底物和细胞膜脂过氧化程度的积累, 减缓褐变相关酶活性增加, 维持淀粉等营养物质含量, 从而使甘薯保持较好的生理品质和营养价值, 延长贮藏期。本研究通过比较发现, 铝塑复合处理组在整个贮藏期内抑制甘薯褐变的效果显著, 能最大程度地维持其新鲜品质。因此, 铝塑复合真空包装材料可作为安全高效的保鲜材料用于鲜切甘薯的贮藏保鲜。

参考文献:

- [1] GRACE M H, YOUSEF G G, GUSTAFSON S J, et al. Phytochemical Changes in Phenolics, Anthocyanins, Ascorbic Acid, and Carotenoids Associated with Sweetpotato Storage and Impacts on Bioactive Properties[J]. Food Chemistry, 2014, 145: 717-724.
- [2] OKE M O, WORKNEH T S. A Review on Sweet Potato Postharvest Processing and Preservation Technology[J]. African Journal of Agricultural Research, 2013, 8(40): 4990-5003.
- [3] 王礼群, 刘硕, 杨春贤, 等. 鲜切甘薯不同部位褐变机理差异[J]. 食品科学, 2018, 39(1): 285-290.
WANG Li-qun, LIU Shuo, YANG Chun-xian, et al. Mechanism of Browning in Different Parts of Fresh Cut Sweet Potato[J]. Food Chemistry, 2018, 39(1): 285-290.
- [4] HE Q, LUO Y G. Enzymatic Browning and its Control in Fresh-Cut Produce[J]. Stewart Postharvest Review, 2007, 3(6): 1-7.
- [5] XU Dong-ying, CHEN Chen, ZHOU Fu-hui, et al. Vacuum Packaging and Ascorbic Acid Synergistically Maintain the Quality and Flavor of Fresh Cut Potatoes[J]. LWT - Food Science and Technology, 2022, 162: 113356.
- [6] 徐冬颖, 周福慧, 蒋海峰, 等. 真空包装结合避光处理对鲜切马铃薯的品质影响[J]. 食品科学, 2020, 41(13): 184-192.
XU Dong-ying, ZHOU Fu-hui, JIANG Hai-feng, et al. Effects of Vacuum Combined with Light-Protected Treatment on the Quality of Fresh-Cut Potato[J]. Food Chemistry, 2020, 41(13): 184-192.
- [7] BELTRÁN D B, SELMA M V, TUDELA J A, et al. Effect of Different Sanitizers on Microbial and Sensory Quality of Fresh Cut Potato Strips Stored Under Modified Atmosphere or Vacuum Packaging[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 37(1): 37-46.

- [8] ROCHA A M C N, COULON E C, MORAIS A M M B. Effects of Vacuum Packaging on the Physical Quality of Minimally Processed Potatoes[J]. *Food Service Technology*, 2003, 3(2): 81-88.
- [9] 孙文丽, 邵海燕, 韩延超, 等. EPE 减振包装对蓝莓贮藏品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(10): 232-239.
SUN Wen-li, GAO Hai-yan, HAN Yan-chao, et al. Effect of EPE Vibration-Absorbing Packaging on Storage Quality of Blueberry[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(10): 232-239.
- [10] 王梅, 刘永翔, 吕都, 等. 不同材料包装袋对泡椒鲜切马铃薯片储藏品质的影响[J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(11): 1-8.
WANG Mei, LIU Yong-xiang, LYU Du, et al. Effect of Different Materials Packaging Bags on Storage Quality of Fresh-Cut Potato Chips with Pickled Pepper[J]. *Storage and Process*, 2021, 21(11): 1-8.
- [11] PALOU E, LÓPEZ-MALO A, BARBOSA-CÁNOVAS G V, et al. Polyphenoloxidase Activity and Color of Blanched and High Hydrostatic Pressure Treated Banana Puree[J]. *Journal of Food Science*, 1999, 64(1): 42-45.
- [12] JIANG Hong, WANG Bin, MA Li, et al. Benzo-(1, 2, 3)-Thiadiazole-7-Carbothioic Acid S-Methyl Ester (BTH) Promotes Tuber Wound Healing of Potato by Elevation of Phenylpropanoid Metabolism[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 153: 125-132.
- [13] 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: 154-155.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. *Postharvest Physiological and Biochemical Experiment Guidance of Fruits and Vegetables*[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 154-155.
- [14] LIU Cheng-hui, MA Tao, HU Wen-zhong, et al. Effects of Aqueous Ozone Treatments on Microbial Load Reduction and Shelf Life Extension of Fresh Cut Apple[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2016, 51: 1099-1109.
- [15] PEREZ-GAGO M B, SERRA M, RIO M A, et al. Color Change of Fresh Cut Apples Coated with Whey Protein Concentrate Based Edible Coatings[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2005, 39(1): 84-92.
- [16] LIU Cheng-hui, CHEN Chen, JIANG Ai-li, et al. Effects of Plasma-Activated Water on Microbial Growth and Storage Quality of Fresh Cut Apple[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2020, 59: 102256.
- [17] 刘容, 崔媛媛. UV-C 照射与壳聚糖涂膜对鲜切淮山的保鲜效果[J]. *食品科学*, 2021, 42(3): 289-295.
LIU Rong, CUI Yuan-yuan. Fresh-keeping Effect of UV-C Irradiation and Chitosan Coating on Fresh-Cut Huaishan[J]. *Food Chemistry*, 2021, 42(3): 289-295.
- [18] 梁凤兵, 朱勇, 王伯周, 等. 木质素基吸附剂的研究进展[J]. *化工新型材料*, 2015, 43(11): 1-3.
LIANG Feng-bing, ZHU Yong, WANG Bo-zhou, et al. Research Progress of Lignin Based Adsorbents[J]. *New Chemical Materials*, 2015, 43(11): 1-3.
- [19] 孙笑. 白菜木质素含量测定及 GWAS 分析[M]. 北京: 中国农业科学院, 2021: 23-25.
SUN Xiao. *Determination and GWAS Analysis of Lignin in Chinese Cabbage*[M]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2021: 23-25.
- [20] 金思渊, 谢晶. 蓝光协同茴香精油对鲜切苋菜的保鲜机理[J]. *食品科学*, 2022, 43(17): 290-296.
JIN Si-yuan, XIE Jing. Blue Light Synergistic Fennel Essential Oil on Fresh-cut Amaranth Preservation Mechanism[J]. *Food Chemistry*, 2022, 43(17): 290-296.
- [21] PAN Yan-fang, CHEN Lan, PANG Ling-ling, et al. Ultrasound Treatment Inhibits Browning and Improves Antioxidant Capacity of Fresh-Cut Sweet Potato during Cold Storage[J]. *RSC Advances*, 2020, 10(16): 9193-9202.
- [22] 江凌峰, 周淑倩, 潘靖禹, 等. 不同储藏时间及温度对新鲜甘薯淀粉特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(1): 30-36.
JIANG Ling-feng, ZHOU Shu-qian, PAN Jing-yu, et al. Effect of Different Storage Time and Temperature on Starch Properties of Fresh Sweet Potato[J]. *Chinese Journal of Cereals and Oils*, 2022, 37(1): 30-36.
- [23] 于筠. 鲜切紫甘薯褐变控制技术的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2019: 17-23.
YU Yun. *Study on Browning Control Technology of Fresh Cut Purple Sweet Potato*[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2019: 17-23.
- [24] DOVENE A K, WANG Li, BOKHARY S U F, et al. Effect of Cutting Styles on Quality and Antioxidant Activity of Stored Fresh Cut Sweet Potato (*Ipomoea Batatas L.*) Cultivars[J]. *Foods*, 2019, 8(12): 674.
- [25] 陈晓玲, 管维良, 侯东园, 等. 不同包装方式对苹果-蟠桃纸的感官品质和理化特性的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(9): 2956-2963.
CHEN Xiao-ling, GUAN Wei-liang, HOU Dong-yuan, et al. Effects of Different Packaging Methods on Sensory Quality and Physicochemical Properties of Apple-Flat Peach Paper[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(9): 2956-2963.

- [26] HARBAUM-PIAYDA B, WALTER B, BENGTTSSON G B, et al. Influence of Pre Harvest UV-B Irradiation and Normal or Controlled Atmosphere Storage on Flavonoid and Hydroxycinnamic Acid Contents of Pak Choi[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 56(3): 202-208.
- [27] BRENNAN M, LE PORT G, GORMLEY R. Post Harvest Treatment with Citric Acid or Hydrogen Peroxide to Extend the Shelf Life of Fresh Sliced Mushrooms[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2000, 33(4): 285-289.
- [28] LI Yu-xia, ZHANG Lei, ZHANG Long, et al. Exogenous Melatonin Alleviates Browning of Fresh Cut Sweet Potato by Enhancing Anti-Oxidative Process[J]. *Scientia Horticulturae*, 2022, 297: 110937.
- [29] 李静, 季悦, 李美琳, 等. 切割方式对鲜切莴苣品质及抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(3): 268-273.
LI Jing, JI Yue, LI Mei-lin, et al. Effect of Cutting Method on Quality and Antioxidant Activity of Fresh Cut Lettuce[J]. *Food Chemistry*, 2018, 39(3): 268-273.
- [30] BASTRSH S, MAKHLOUF J, FRANCOIS C, et al. Optimal Controlled Atmosphere Conditions for Storage of Broccoli Florets[J]. *Journal of Food Science*, 1993, 58: 338-341.
- [31] LOI M, LIUZZI V C, FANELLI F, et al. Effect of Different Light-Emitting Diode (LED) Irradiation on the Shelf Life and Phytonutrient Content of Broccoli[J]. *Food Chemistry*, 2019, 283: 206-214.
- [32] CZÉGÉNY G, WU Min, DÉR A, et al. Hydrogen Peroxide Contributes to the Ultraviolet-B (280-315 nm) Induced Oxidative Stress of Plant Leaves through Multiple Pathways[J]. *FEBS Letters*, 2014, 588(14): 2255-2261.
- [33] ZHANG Xin-xin, TANG Xue-xi, WANG Ming, et al. ROS and Calcium Signaling Mediated Pathways Involved in Stress Responses of the Marine Microalgae *Dunaliella Salina* to Enhanced UV-B Radiation[J]. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2017, 173: 360-367.
- [34] 薛应钰, 师桂英, 徐秉良, 等. 美洲南瓜种皮发育形态观察及其相关酶活性测定[J]. *草业学报*, 2011, 20(2): 23-30.
XUE Ying-yu, SHI Gui-ying, XU Bing-liang, et al. Observation of the Developmental Morphology of Pumpkin Seed Coat and its Related Enzyme Activity Determination[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(2): 23-30.
- [35] COCETTA G, BALDASSARRE V, SPINARDI A, et al. Effect of Cutting on Ascorbic Acid Oxidation and Recycling in Fresh Cut Baby Spinach (*Spinacia oleracea L.*) Leaves[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 88: 8-16.
- [36] 王定仙, 王春珍. 鲜切马铃薯加工中护色剂和包装方式的筛选[J]. *农业技术与装备*, 2021(11): 33-36.
WANG Ding-xian, WANG Chun-zhen. Screening of Color Protectors and Packaging Methods in Processing Fresh Cut Potato[J]. *Agricultural Technology and Equipment*, 2021(11): 33-36.

责任编辑: 曾钰婵