

不同包装对采后莲藕保鲜效果的比较

肖越¹, 祝梓淳¹, 邓云¹, 刘永军², 李永军², 钟宇^{1*}

(1. 上海交通大学农业与生物学院, 上海 200240) (2. 上海绿椰农业种植专业合作社, 上海 200240)

摘要:以新鲜藕节为试验材料, 分别采用 PE 敞口包装袋 (PEO)、PE 密封包装袋 (PES)、气体调节包装袋 (MA)、气体湿度调节包装袋 (MA/MH) 进行包装处理, 在 4±0.5 °C 和 90% RH 条件下贮藏, 每隔 4 d 对莲藕的失重率、亮度、褐变度、硬度、呼吸强度、电导率、丙二醛、多酚氧化酶活性、过氧化物酶活性的变化进行测定。结果表明, 在贮藏期间 MA、MA/MH 包装能有效降低失重率, 维持莲藕硬度, 抑制相对电导率上升, 延缓呼吸强度峰值出现, PEO 次之, PES 最不理想。贮藏 16 d 时 MA、MA/MH 组的褐变度与 PEO 相比低了 31.53%、45.91%。在贮藏过程中 MA、MA/MH 包装降低多酚氧化酶、过氧化物酶活性, 延缓其峰值出现时间。贮藏期结束时, MA、MA/MH 组丙二醛含量是 PEO 组的 60.91%、45.87%。结果表明, MA、MA/MH 包装能够增强莲藕抗逆性, 保持其细胞膜结构完整, 延长保鲜期, 其中 MA/MH 最适合莲藕保鲜。

关键词: 莲藕; 贮藏; 包装; 气调; 湿度调节

文章编号: 1673-9078(2022)07-169-176

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.7.1091

Effects of Different Packaging on Preservation of Postharvest Lotus Root

XIAO Yue¹, ZHU Zichun¹, DENG Yun¹, LIU Yongjun², LI Yongjun², ZHONG Yu^{1*}

(1. School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

(2. Shanghai Lvye Agricultural Planting Cooperative, Shanghai 200240, China)

Abstract: Fresh lotus roots were used as experimental materials, PE open bag (PEO), PE sealed bag (PES), modified atmosphere bag (MA) and modified atmosphere humidity control bag (MA/MH) were used for packaging treatment, and the packaged lotus roots were stored at 4±0.5 °C and 90% RH. The weight loss, brightness, browning degree, hardness, respiration intensity, relative conductivity, malondialdehyde content (MDA), para-phenol oxidase activity and peroxidase activity of lotus root were measured every 4 days. The results showed that MA and MA/MH packaging could effectively reduce the weight loss rate, maintain hardness, inhibit the rise of relative conductivity, delay the peak of respiratory intensity of lotus roots. The preservation effect of PEO was worse than MA and MA/MH, and PES had the worst effect. The browning degree values of MA and MA/MH treated group were 31.53% and 45.91%, respectively, lower than that of PEO treated group after storage for 16 days. During storage, the para-phenol oxidase activity and peroxidase activity of MA, MA/MH treated group were decreased, and the contents of MDA in MA and MA/MH treated group were 60.91% and 45.87% of that in PEO treated group. In conclusion, MA and MA/MH packaging can enhance the stress resistance, keep the cell membrane structure intact and extend the shelf life of lotus root. Among the four different packages, the MA/MH packaging is the most suitable for the preservation of lotus root.

Key words: lotus root; storage quality; packaging; gas control; humidity control

引文格式:

肖越, 祝梓淳, 邓云, 等. 不同包装对采后莲藕保鲜效果的比较[J]. 现代食品科技, 2022, 38(7): 169-176

XIAO Yue, ZHU Zichun, DENG Yun, et al. Effects of different packaging on preservation of postharvest lotus root [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(7): 169-176

莲藕是睡莲科多年生大型水生草本植物, 以其特

收稿日期: 2021-09-29

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (32072270); 青浦区产学研合作发展资金项目 (青产学研 2020-40)

作者简介: 肖越 (1997-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 食品加工与包装, E-mail: 569285539@qq.com

通讯作者: 钟宇 (1983-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工与包装, E-mail: zhongyu@sjtu.edu.cn

有的味道和营养特点受到广大消费者青睐, 为全国产量第一的水生蔬菜, 中国农民种植面积 $4.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 以上^[1]。莲藕中含有多种多酚、多糖、维生素、矿物质以及营养素等, 有降血糖、降血脂、抗氧化、抗炎、抗癌等之重要生物作用, 可以预防慢性疾病的发生^[2]。然而在贮藏期间莲藕由于自身的代谢活动, 引发一系列生理生化反应, 导致其褐变、软化和变质, 直接降低其感官品质和食用价值^[3]。常规保藏的莲藕货架期

一般为7 d左右,给莲藕种植、销售者带来巨大损失,阻碍产业的良性发展,因此莲藕保鲜对提高莲藕的经济价值至关重要。莲藕保鲜可以采用化学、物理及生物方法,如涂膜、紫外照射、气调包装等^[4]。

采摘后的新鲜果蔬仍存在呼吸作用,过程中消耗O₂放出CO₂,气调包装通过调节包装袋内的气体占比,能够有效调控果蔬呼吸速度,并且防止其受到生理伤害,延缓其品质劣变^[5]。气调包装技术分为主动气调包装和自发气调包装,前者是向包装中通过充入不同比例的理想气体以控制果蔬的呼吸,而后者是利用果蔬采后呼吸特点,通过包装对不同气体的渗透性调节包装内气体水平,达到低O₂高CO₂的环境^[6]。郭衍银等^[7]研究高O₂气调包装对鲜切莲藕的保鲜效果,指出90% O₂+10% CO₂的气调包装使多酚氧化酶(PPO)活性降低了68.67%,并且延缓丙二醛(MDA)的积累。漆欣等^[8]发现100% CO₂气调包装有利于没食子酸和没食子儿茶素的积累,且在贮藏第35 d时,气调包装的褐变度降低23.2%。林晨^[9]指出,自发气调包装在贮藏期间能够较好的维持水生蔬菜茭白的品质并抑制活性氧、细胞壁和呼吸代谢。然而,关于自发气调包装对莲藕保鲜效果的影响鲜见报道。

由此可见,气调包装在抑制莲藕褐变、延长货架期和维持其商品性上有显著效果。目前,气调保鲜包装更多的是关注对于CO₂和O₂的调控,较少关注贮藏过程中湿度的调节。而由于果蔬采后的蒸腾作用,其包装环境在短时间内水汽达到饱和,较高的相对湿度使得微生物滋生,加快变质速度,因此湿度的调节不可忽视。雷桥等^[10]研究发现采用0.3% CaCl₂护色后的双孢蘑菇,在气调包装中加入吸湿剂山梨醇后,包装袋内相对湿度降低,蘑菇色泽有所改善。然而,针对湿度调节包装对莲藕保鲜效果影响的研究鲜见报道。本文采用PE敞口包装袋(PEO)、PE密封包装袋(PES)、气体调节包装袋(MA)、气体湿度调节包装袋(MA/MH)四种不同包装研究其对于采后莲藕保鲜效果。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜莲藕,上海绿椰农业种植专业合作社提供,采摘后冷水预冷(10~15℃)2 h,选择形状大小规则、色泽正常、无病虫害的莲藕,常温2 h内运回实验室;PE敞口包装袋(PEO),上海绿椰农业种植专业合作社;PE密封包装袋(PES),上海泰坦科技股份有限公司;气体调节包装袋(MA)、气体湿度调节包装袋

(MA/MH),上海鲜锐生物科技有限公司;磷酸二氢钠、磷酸氢二钠,永华化学科技(江苏)有限公司;硫代巴比妥酸,国药集团化学试剂有限公司;邻苯二酚、愈创木酚,阿拉丁 aladdin;柠檬酸亚锡二钠、EDTA二钠、植酸、焦亚硫酸钠,河南万邦实业有限公司。

1.2 仪器与设备

LabScan XE 色度仪, HunterLab 公司; TA.XT Plus 质构仪, Stable Micro System 公司; 2875 恒温水浴锅, 赛默飞世尔科技有限公司; DDS-307A 电导率仪, 上海仪电科学仪器股份有限公司; DansensorCheckPoint 3 便携式气体分析仪, AmetekMocon 公司; UV-1800 紫外可见分光光度计, 日本岛津国际贸易(上海)有限公司; Z236K 离心机, 德国 Hermle 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 莲藕的处理与贮藏方法

将莲藕置于25×10⁻⁶的次氯酸钠浸泡30 min,随后使用护色剂进行护色(护色剂配方^[11]:300 mg/L的柠檬酸亚锡二钠、150 mg/L EDTA二钠、200 mg/L 植酸、100 mg/L 焦亚硫酸钠),沥干分段后分别置于4种包装袋中:(1)PE敞口包装袋(PEO);(2)PE密封包装袋(PES),O₂渗透系数7150 cm³/(m²·d·atm),CO₂渗透系数为23500 cm³/(m²·d·atm),水蒸气透过率为5.51 g/(m²·d);(3)气体调节包装袋(MA),O₂渗透系数为8000~12000 cm³/(m²·d·atm),CO₂渗透系数为3000~6000 cm³/(m²·d·atm),水蒸气透过率为50 g/(m²·d);(4)气体湿度调节包装袋(MA/MH),O₂渗透系数为8000~12000 cm³/(m²·d·atm),CO₂渗透系数为3000~6000 cm³/(m²·d·atm),水蒸气透过率为200~500 g/(m²·d),包装莲藕于保鲜柜(±0.5℃)存放,每组做3个平行试验。分别在0、4、8、12、16 d时取样对各项指标进行检测。

1.3.2 指标检测方法

1.3.2.1 失重率的测定

不同包装处理各取三段藕节,分别在第4、8、12、16 d进行称重,计算失重率,取平均值。计算公式为:

$$\text{失重率}/\% = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

式中:

m_0 ——保藏前质量, kg;

m_1 ——保藏后质量, kg。

1.3.2.2 亮度的测定

利用LabScan XE色度仪测定整段藕节表皮色度,每种包装中选取三段,选取L*a*b*色度空间分别记录

其L*值。L*值表示莲藕表皮的明暗,数值越小表示表皮越暗淡,褐变越严重^[12]。

1.3.2.3 硬度的测定

选取三段莲藕,使用 TA.XT Plus 质构仪,选取 TPA 模式, P/5 探头(直径为 5 mm)对莲藕中部进行测定。触发力为 5 g,测试速度为 1.0 mm/s,压缩力 30%,记录压力最大值(N)^[13]。

1.3.2.4 呼吸强度的测定

采用静置法^[14]测定莲藕的呼吸强度,从不同包装中取出藕节,分别放入密闭且已知体积的保鲜盒中,避光保存 2 h,使用便携式气体分析仪测定 CO₂ 气体含量,计算公式为:

$$Q = \frac{V \times N \times 1.894 \times 1000}{m \times t}$$

式中:

Q—呼吸强度, mg/(kg·h);

N—CO₂ 体积分数, %;

V—容器体积, L;

m—样品质量, kg;

t—放置时间, h;

1.894 g/L—常压下 CO₂ 密度。

1.3.2.5 相对电导率的测定

参考 Li^[15]的方法,选取四种包装方式的莲藕中段部分,均匀切片并打孔,其孔直径 10 mm,取 20 片用去离子水清洗并室温孵育 30 min,测定电导率即为 L₁,沸水浴 30 min,冷却至室温再次测定电导率即为 L₂。试验进行重复 3 次,计算公式如下:

$$\text{相对电导率} = \frac{L_1}{L_2} \times 100\%$$

1.3.2.6 褐变度的测定

采用消光法^[16],在 30 mL 蒸馏水中加入 3.0 g 冻样并均质,于 4 °C、1×10⁴ g 条件下离心 5 min。上清液在室温静置 5 min,在 410 nm 处测定其吸光度值, D410 nm×10 表示样品褐变指数。试验重复 3 次。

1.3.2.7 丙二醛(MDA)的测定

在 8 mL 50 mmol/L 磷酸盐缓冲液(pH 7.8)中加入 2.0 g 莲藕冻样并均质,于 4 °C、1.2×10⁴ g 条件离心 10 min。取 1 mL 上清液,加 3 mL 35 mmol/L 硫代巴比妥酸,沸水浴加热 15 min 后迅速冷却,再次与同样条件离心后,分别在 450、532 和 600 nm 处测定上清液吸光度值。试验重复 3 次。

$$m_B(\text{MDA}) = [6.45(D_{532\text{nm}} - D_{600\text{nm}}) - 0.56D_{450\text{nm}}] \times V_t V_r / (V_s m)$$

式中:

V_t—提取液体积, mL;

V_r—反应混合液体积, mL;

V_s—测定时所用提取液体积, mL;

m—样品质量, g。

1.3.2.8 多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)的测定

参照曹健康^[17]的分光光度法测定 PPO 和 POD 含量,并稍有改动。分别测定在 410 nm、470 nm 处吸光度值,每一分钟吸光度值增加 0.01 定义为一个酶活单位, U。

1.4 数据处理

结果采用平均值±标准偏差表示。采用 IBM SPSS Statistics 26 软件进行统计学分析,利用 LSD 程序进行方差分析及重复性分析, p<0.05 表示差异显著;利用 Duncantest 在每个贮藏时间点不同组之间进行显著性分析并标注各组间的显著性差异。

2 结果与分析

2.1 PE 包装与气调包装对莲藕失重率的影响

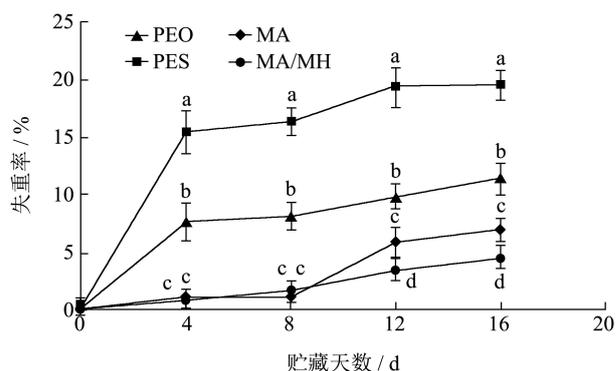


图 1 不同包装处理方式对莲藕失重率的影响

Fig.1 Effects of different packaging treatments on weight loss rate of lotus root

注:用邓肯法进行多重比较;标有不同小写字母表示组间差异显著(p<0.05)。图 2、4~10 同。

随着贮藏时间的延长,莲藕的呼吸及其蒸腾作用会使得自身水分以及营养物质损失。Rahul 等^[18]发现相较于未密闭的敞口包装袋,气调包装下的脱壳青豌豆的失重率明显下降。由图 1 可知 PES 组的莲藕失重率上升最明显,PEO 次之,MA 与 MA/MH 组失重率较低。在贮藏至第 16 d 时,PEO 组的失重率从 7.63% 升高至 11.36%,而 MA/MH 组仍然保持较低的失重率,且与 PEO、PES、MA 组有显著性差异(p<0.05)。这主要是由于 MA/MH 组在调节包装袋内气体含量的同时又将湿度维持相对的平衡状态,其水蒸气透过率较大,能够及时调控水分进出,维持莲藕贮藏环境的相对干燥,从而减少了水分的流失。而 PES 包装袋失重

率最高, 推测由于其包装袋的水蒸气透过率较低, 导致莲藕蒸腾作用产生的水分不能及时排出, 包装袋中凝结出雾滴, 导致了质量的损失。

2.2 PE 包装与气调包装对莲藕亮度的影响

新鲜采摘的莲藕表面颜色比较鲜亮, 贮藏的时间越长, 莲藕表面颜色越暗淡。因此, 莲藕表面亮度的变化是衡量莲藕货架期长短的重要指标。L*值表示亮度, 值越大表示莲藕越新鲜, 反之则说明莲藕褐变程度较严重^[19]。如图 2 所示, 四种不同包装材料的莲藕 L*值都呈现出下降趋势, 与唐月明等^[20]研究自发气调包装对花椰菜贮藏过程中的亮度变化结果一致, 说明在贮藏过程中莲藕的褐变是不可避免的。然而 MA 以及 MA/MH 两组莲藕在贮藏初期的 0~8 d 内表面 L*值下降缓慢, 8 d 后才开始有明显变暗现象, 且两组间没有显著性差异 ($p>0.05$); 而 PEO 和 PES 两组莲藕从贮藏开始 L*值就明显降低, 贮藏 16 d 后褐变情况较为严重, 甚至出现部分腐烂, 失去其商业价值, 这与图 3 呈现的莲藕表面颜色的结果相一致。说明 MA 和 MA/MH 包装材料能够明显延缓莲藕的褐变, 且与 PEO、PES 之间均存在显著性差异 ($p<0.05$)。

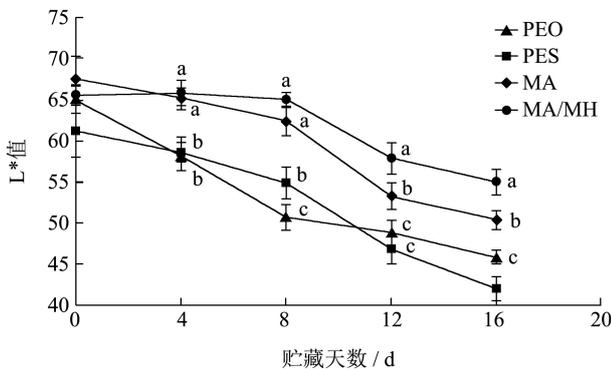


图 2 不同包装处理方式对莲藕亮度的影响

Fig.2 Effects of different packaging treatments on brightness of lotus root



图 3 贮藏 16 d 莲藕的表现图片

Fig.3 Apparent images of lotus root after storage for 16 days

注: 从左往右依次为: PEO、PES、MA、MA/MH。

2.3 PE 包装与气调包装对莲藕褐变度的影响

莲藕在贮藏过程中发生变质以及部分组织的腐烂会破坏莲藕细胞的完整性, 质膜破裂后多酚氧化酶和底物相接触, 同时贮藏环境中含有氧气, 在这几个因素导致下, 引起了酶促反应, 酚类物质被氧化为醌, 产生褐色的物质, 使莲藕发生表面褐变^[21]。由图 4 可以看出褐变度是在持续上升的, 证明莲藕的褐变是持续发生, 越来越严重的, 但 MA 和 MA/MH 组的莲藕褐变在贮藏后期褐变度及其增幅始终低于 PEO 和 PES。褐变程度按从低到高依次是 MA/MH、MA、PES、PEO。MA/MH 包装组与其他三组之间均存在显著性差异 ($p<0.05$); MA 包装与 PEO 之间存在显著性差异 ($p<0.05$), 而与 PE 包装差异不显著 ($p>0.05$)。在 16d 的时间内, PEO 组褐变度从 2.19 上升至 7.58, 而 MA、MA/MH 包装组仅上升至 5.19、4.10, 与 PEO 组褐变度相比降低了 45.91%、31.5%。与冯向阳等^[22]指出的真空包装通过调节酶活性从而延缓莲藕褐变的结果一致。

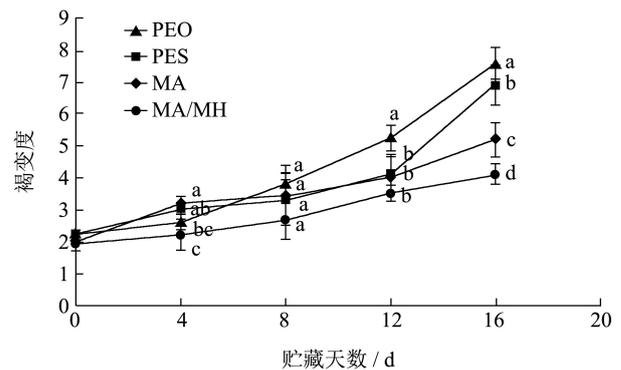


图 4 不同包装处理方式对莲藕褐变度的影响

Fig.4 Effects of different packaging treatments on browning of lotus root

2.4 PE 包装与气调包装对莲藕硬度的影响

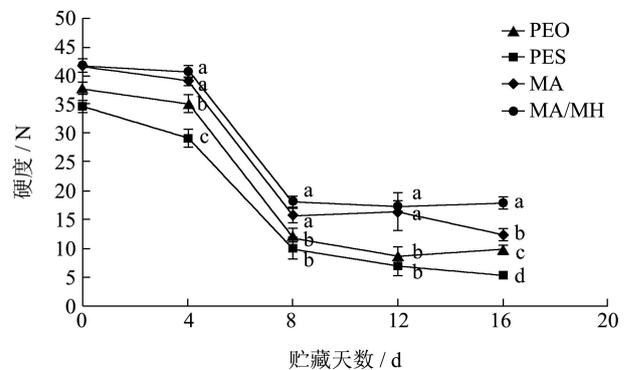


图 5 不同包装处理方式对莲藕硬度的影响

Fig.5 Effects of different packing treatments on hardness of lotus root

原果胶在莲藕细胞壁中起到支撑作用, 贮藏过程中细胞壁降解, 原果胶水解成水溶性果胶, 连带着由

纤维素、半纤维素构成的骨架结构随之解散，进而导致莲藕内部组织受到破坏，发生软化现象^[23,24]。图 5 反映了不同包装对莲藕硬度的影响，贮藏期间莲藕硬度整体呈现下降趋势，但四种包装之间均存在显著性差异 ($p<0.05$)。Manjunatha 等^[25]研究不同规格气调包装贮藏的黄瓜，发现在最初的 6 d 时间里，硬度也都呈现逐渐降低的趋势，敞口保藏黄瓜硬度损失最大，从 0.38 N 下降到 0.33 N，推测是由于从 4 °C 贮藏室中取放置在室温中软化导致。通过观察图 5 可以发现，在 4~8 d，莲藕硬度发生明显的变化，从 40 N 左右下降到 15 N 左右，8~16 d 莲藕的硬度变化逐渐缓慢，其中 MA/MH 在贮藏后期硬度维持稳定，而 PEO 处理莲藕硬度在后期有小幅升高，可能由于木质素在莲藕内部合成^[26]。

2.5 PE 包装与气调包装对莲藕呼吸强度的影响

莲藕采后仍存在旺盛的呼吸作用，其与外界物质交换也较多，组织内的营养物质加速消耗，货架期也随之变短。图 6 表示不同包装的莲藕呼吸强度变化，可以看出在贮藏期间，莲藕呼吸强度变化趋势大致相同，首先显著下降，随后经历小幅度上升，然后再缓慢下降。PEO 与 PES 组在 8 d 达到高峰，而 MA 的莲藕呼吸强度最高出现在 12 d、16 d MA/MH 组莲藕呼吸强度才出现小幅度升高，莲藕呼吸强度的变化趋势与郭衍银等^[7]研究结果相似。最高值出现的时间表明 MA 与 MA/MH 包装能够有效的抑制莲藕的新陈代谢强度，延缓呼吸强度的峰值出现，减少呼吸对于莲藕品质的消耗。推测由于莲藕在包装袋内的呼吸作用消耗 O₂ 产生 CO₂，包装内存在大量 CO₂，而 MA、MA/MH 包装 O₂ 透过率较高，能够及时调控氧气含量，防止莲藕进行无氧呼吸。

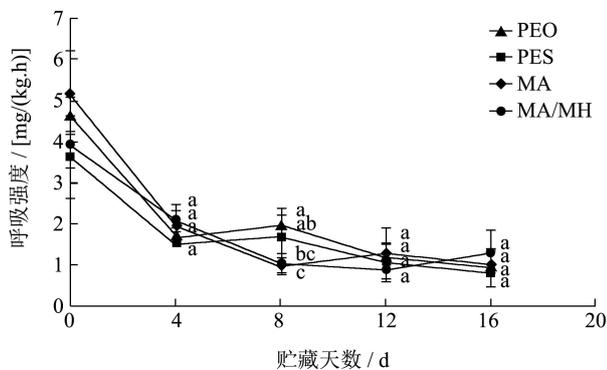


图 6 不同包装处理方式对莲藕呼吸强度的影响

Fig.6 Effects of different packaging treatments on respiration intensity of Lotus root

2.6 PE 包装与气调包装对莲藕相对电导率的影响

影响

莲藕的相对电导率是反应其在贮藏过程中细胞膜透性的基本指标，健康、没有机械损害的莲藕细胞膜对外界物质具有选择透性的能力，能够保护莲藕内部组织不受外界伤害^[27]。而莲藕在贮藏过程中细胞膜遭受破坏，膜透性变大，导致莲藕细胞内的水分、营养物质、电解质等物质外渗，影响莲藕的品质。如图 7 可知，在 16 d 的贮藏期间，莲藕的相对电导率逐渐上升，各组之间存在显著性差异 ($p<0.05$)。其中，PEO 和 PES 在 4~12 d 内上升幅度最大，其中 PEO 组的莲藕相对电导率从第 0 d 的 18.59% 上升到 16 d 的 76.26%，升高了 4.2 倍，说明在贮藏过程中莲藕品质迅速降低。而 MA 和 MA/MH 组的莲藕上升幅度较少，第 16 d 的相对电导率分别为 36.15% 和 30.61%，并且在 12 d 到 16 d 贮藏期间相对电导率变化较缓慢，由此反应出 MA 和 MA/MH 包装材料能够有效抑制整段莲藕在贮藏期间相对电导率的上升。相类似的，巴良杰等^[28]研究发现自发气调包装能够显著抑制贮藏期间火龙果的相对电导率上升，说明气调包装能够有效维持蔬果组织的膜结构完整。

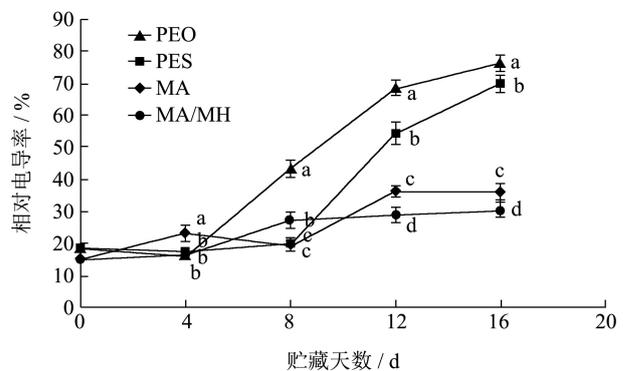


图 7 不同包装处理方式对莲藕相对电导率的影响

Fig.7 Effects of different packing treatments on relative conductivity of lotus root

2.7 PE 包装与气调包装对莲藕 MDA 的影响

莲藕在贮藏过程中受到损伤，导致细胞破损，加之贮藏环境的活性氧积累，诱导膜脂过氧化从而产生了 MDA^[29]。MDA 逐渐增加说明莲藕由于膜脂过氧化不断加强，导致细胞膜结构受伤，致使细胞按室分工功能丧失，更容易发生褐变等变化^[30]。图 8 可见 MA 和 MA/MH 包装下的莲藕 MDA 含升高比较缓慢，而 PEO 以及 PES 莲藕分别在第 4 d 和第 8 d MDA 含量明显升高，且始终显著大于 MA 和 MA/MH 包装莲藕的 MDA 含量 ($p<0.05$)。贮藏至 16 d 时，MA、MA/MH 包装组的 MDA 含量分别是 PEO 组的 60.91%、

45.87%，说明 MA、MA/MH 包装有效延缓了莲藕膜脂过氧化速度。

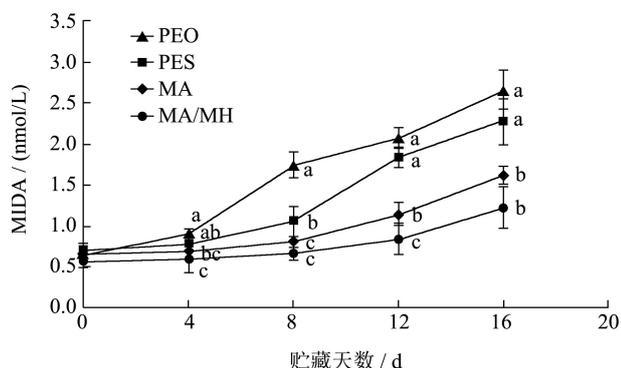


图 8 不同包装处理方式对莲藕 MDA 的影响

Fig.8 Effects of different packing treatments on MDA in lotus root

2.8 PE 包装与气调包装对莲藕 PPO 活性的影响

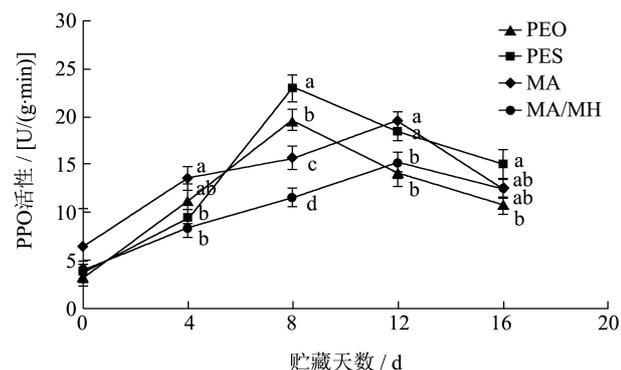


图 9 不同包装处理方式对莲藕 PPO 的影响

Fig.9 Effects of different packing treatments on PPO of lotus root

当莲藕组织的完整性受到破坏后，存在于莲藕体内的末端氧化酶 PPO 被激活，进而催化莲藕体内的酚类物质。PPO 活性越高，莲藕越容易发生褐变^[31]。如图 9，莲藕在贮藏期间 PPO 活性变化趋势大致相同，皆是先上升后下降。莲藕在分段后，发生酶促反应，因此 PPO 活性增强，但当醌类物质在莲藕表层聚合后，使得氧气浓度降低，PPO 活性也随之降低，这与张心怡^[32]研究的真空包装对于鲜切莲藕 PPO 活性变化一致。另外，María 等^[33]研究发现气调包装可以降低新鲜生菜的 PPO 活性，从而控制褐变。贮藏到 8 d PEO 包装和 PES 包装的 PPO 活性都达到了最高值，其中 PES 包装达到了 18.53 U/g·FW，超过 PEO 的 14.11 U/g·FW。而 MA 和 MA/MH 包装的莲藕，其最高值在贮藏期 12 d，其中 MA/MH 组的 PPO 活性始终低于其他三种包装袋，证明了 MA/MH 包装能够有效降低

PPO 活性，延缓酶促反应的进行。

2.9 PE 包装与气调包装对莲藕 POD 活性的影响

莲藕过氧化物酶活性与其衰老变质有关，会导致谷胱甘肽和抗坏血酸氧化，乙烯加速生成，最终使得莲藕较快的衰老变质^[34,35]。图 10 显示，在 16 d 的时间内，POD 活性先上升到最高值，又逐渐降低。MA 和 MA/MH 包装能够有效的降低 POD 活性，延后峰值出现的时间，PEO 和 PES 包装最高值都出现在 8 d，而 MA 和 MA/MH 包装的最高值出现在 12 d，这与 PPO 的趋势类似。说明气调以及湿度调节可以增强莲藕的抗逆能力，延缓其氧化过程。

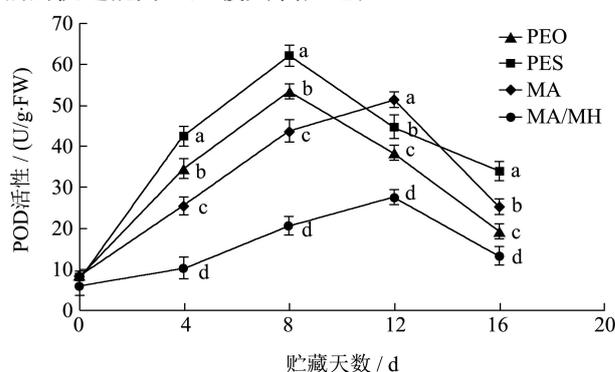


图 10 不同包装处理方式对莲藕 POD 的影响

Fig.10 Effects of different packaging treatments on POD of lotus root

3 结论

莲藕在贮藏期间失重率、电导率、褐变度、MDA 逐渐升高；呼吸强度、硬度、亮度缓慢下降；PPO、POD 先升高后降低。一般莲藕贮藏期为 7 d 左右。而通过 MA、MA/MH 包装的可延长至 16 d。通过分析四种不同包装的结果可知，PES 包装袋由于其中积累的由呼吸作用产生的水汽无法排出，因此会加速莲藕的变质；PEO 包装因其敞口透气较优与 PES，而 MA、MA/MH 包装能够维持莲藕的硬度、调节莲藕的新陈代谢，使莲藕具有较好的表观颜色，且能够有效降低 PPO、POD 活性并延后峰值的出现时间。贮藏 16 d 时，MA 包装褐变度较 MA/MH 低了 25.43%，且 MA/MH 的 PPO、POD 峰值较 MA 相比低了 22.32%、46.27%，整体来说，MA/MH 包装表现得更加优异，说明兼具气体、湿度调节的包装袋在保鲜中的应用具有更为广阔的前景。

参考文献

[1] 李峰,周雄祥,柯卫东,等.湖北省莲产业发展调研报[J].湖北农业科学,2020,59(23):101-106,109

- LI Feng, ZHOU Xiongxiang, KE Weidong, et al. Study on development of lotus industry in Hubei province [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2020, 59(23): 101-106, 109
- [2] 朱志坤. 莲藕腐败病的发生及防治[J]. 现代农业科技, 2021, 13:104-105
- ZHU Zhikun. Occurrence and control of rot of lotus root [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021, 13: 104-105
- [3] 汤钦林. 莲藕采后生理及保鲜技术研究进展[J]. 食品安全导刊, 2020, 32:65-66
- TANG Qinlin. Research progress of postharvest physiology and preservation technology of lotus root [J]. Food Safety Guide, 2020, 32: 65-66
- [4] 张兴旺, 涂贻轩, 严守雷, 等. 复合乳液涂膜保鲜整支莲藕效果研究[J]. 长江蔬菜, 2021, 16:70-75
- ZHANG Xingwang, TU Yixuan, YAN Shoulei, et al. Effects of compound emulsion coating on preservation of whole lotus root [J]. Yangtze Vegetables, 2021, 16: 70-75
- [5] Jeong Eun Hyun, SUN Younglee. Effect of modified atmosphere packaging on preserving various types of fresh produce [J]. Journal of Food Safety, 2018, 38(1): e12376
- [6] 刘晓燕, 何靖柳, 胡可, 等. 气调包装对鲜切果蔬安全控制研究进展[J]. 分子植物育种, 2018, 16(2):607-613
- LIU Xiaoyan, HE Jingliu, HU Ke, et al. Research progress on safety control of fresh cut fruits and vegetables by air-controlled packaging [J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 16(2): 607-613
- [7] 郭衍银, 李玲, 高 O₂ 薄膜气调包装对鲜切莲藕保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(10):2447-2452
- GUO Yanyin, LI Ling. Effects of high O₂ film air conditioning packaging on fresh-cut lotus root preservation [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(10): 2447-2452
- [8] 漆欣, 周白雪, 易阳, 等. 莲藕酚类物质的变化及采后贮藏对鲜切莲藕酚类物质的影响[J]. 食品科技, 2021, 46(2):25-32
- QI Xin, ZHOU Baixue, YI Yang, et al. Effects of postharvest storage on phenolic compounds in fresh cut lotus root [J]. Food Science and Technology, 2021, 46(2): 25-32
- [9] 林晨. 一氧化氮和自发气调对冷藏茭白品质和生理代谢的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2017
- LIN Cheng. Effects of nitric oxide and spontaneous air conditioning on quality and physiological metabolism of chilled water bamboo shoot [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2017
- [10] 雷桥, 周颖越, 徐文达. 气调包装中双孢蘑菇的护色及湿度调节研究[J]. 食品工业, 2004, 4:31-33
- LEI Qiao, ZHOU Yingyue, XU Wenda. Study on color protection and humidity regulation of *Agaricus bisporus* in air-conditioned packaging [J]. Food Industry, 2004, 4: 31-33
- [11] 杨松, 伍玉菡, 陈敏, 等. 正交试验法优化软包装莲藕片护色工艺[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(3):134-136, 144
- YANG Song, WU Yuhuan, CHEN Min, et al. Optimization of color protection technology of flexible packaging lotus root slices by orthogonal test [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(3): 134-136, 144
- [12] 白金. 蜡处理耦合技术对莲藕采后保鲜品质的影响[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2020
- BAI Jin. Effects of wax treatment coupling technology on post-harvest preservation quality of lotus root [D]. Wuhan: Wuhan University of Light Industry, 2020
- [13] 刘晓燕. 鲜切莲藕保鲜技术及货架期预测模型的建立[D]. 雅安: 四川农业大学, 2018
- LIU Xiaoyan. Preservation technology and shelf life prediction model of fresh-cut lotus root [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2018
- [14] 梁芸志, 陈存坤, 吴昊, 等. 不同预冷温度对采后番茄贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 13:188-193
- LIANG Yunzhi, CHEN Cunkun, WU Hao, et al. Effects of precooling temperature on storage quality of postharvest tomato [J]. Food Research and Development, 2018, 13: 188-193
- [15] LI Dong, Limwachiranon Jarukitt, LI Li, et al. Involvement of energy metabolism to chilling tolerance induced by hydrogen sulfide in cold-stored banana fruit [J]. Food Chemistry, 2016, 208: 272-278
- [16] 李翠红, 冯毓琴, 魏丽娟, 等. 保鲜剂对百合鳞片常温贮藏期间品质及抗氧化活性的影响[J]. 农产品质量与安全, 2018, 3: 87-91
- LI Cuihong, FENG Yuqin, WEI Lijuan, et al. Effects of preservatives on quality and antioxidant activity of lily scales during normal temperature storage [J]. Quality and Safety of Agricultural Products, 2018, 3: 87-91
- [17] 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
- CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Guidance of Postharvest Physiological and Biochemical Experiment of Fruits and Vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [18] Rahul K Anurag, M Manjunatha, Shyam Narayan Jha, et al. Storage quality of shelled green peas under modified

- atmosphere packaging at different storage conditions [J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(3): 1640-1648
- [19] ZHANG Shaoying, YU Youwei, XIAO Chunling, et al. Effect of carbon monoxide on browning of fresh-cut lotus root slice in relation to phenolic metabolism [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 53(2): 555-559
- [20] 唐月明,高佳,朱永清,等.自发气调包装薄膜透气性对花椰菜低温贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(15): 169-174
TANG Yueming, GAO Jia, ZHU Yongqing, et al. Effect of air permeability of spontaneous modified atmosphere packaging film on low temperature storage quality of cauliflower [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46(15): 169-174
- [21] WANG Dan, CHEN Likun, MA Yue, et al. Effect of UV-C treatment on the quality of fresh-cut lotus (*Nelumbo nucifera* Gaertn.) root [J]. Food Chemistry, 2019, 278: 659-664
- [22] 冯向阳,谢君,王宏勋,等.真空包装通过调节酶活性抑制鲜切莲藕酶促褐变[J].江苏农业科学,2019,47(7):210-214
FENG Xiangyang, XIE Jun, WANG Hongxun, et al. Vacuum packaging inhibits enzymatic browning of fresh-cut lotus root by regulating enzyme activity [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2019, 47(7): 210-214
- [23] 郑秋萍,林育钊,李美玲,等.果实采后软化的影响因素及抑制技术研究进展[J].亚热带农业研究,2019,15(4):262-270
ZHENG Qiuping, LIN Yuzhao, LI Meiling, et al. Research progress in influencing factors and inhibiting technology of fruit softening after harvest [J]. Subtropical Agricultural Research, 2019, 15(4): 262-270
- [24] CHEN Yihui, HUNG YenCon, CHEN Mengyin, et al. Effects of acidic electrolyzed oxidizing water on retarding cell wall degradation and delaying softening of blueberries during postharvest storage [J]. LWT, 2017, 84: 650-657
- [25] M Manjunatha, Rahul K Anurag. Effect of modified atmosphere packaging and storage conditions on quality characteristics of cucumber [J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(11): 3470-3475
- [26] 车东,卢立新.鲜切莲藕气调包装及其质量评价[J].食品与生物技术学报,2008,27(1):44-48
CHE Dong, LU Lixin. Air conditioning packaging of fresh-cut lotus root and its quality evaluation [J]. Journal of Food and Biotechnology, 2008, 27(1): 44-48
- [27] 寇文丽.磨盘柿软化调控机制及应用技术研究[D].大连:大连工业大学,2012
KOU Wenli. Study on regulation mechanism and application technology of Morpan persimmon softening [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2012
- [28] 巴良杰,曹森,马超,等.自发气调包装对火龙果采后贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(23):32-37
BA Liangjie, CAO Sen, MA Chao, et al. Effect of spontaneous modified atmosphere packaging on postharvest storage quality of pitaya [J]. Food Research and Development, 2019, 40(23): 32-37
- [29] 王迪.高二氧化碳处理调控鲜切梨果实品质机制的研究[D].杭州:浙江大学,2020
WANG Di. Study on the mechanism of high carbon dioxide treatment on the regulation of fresh cut pear fruit quality [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2020
- [30] 蒋娟.鲜切莲藕褐变的生理生化机制及蛋白表达差异研究[D].南京:南京农业大学,2011
JIANG Juan. Study on physiological and biochemical mechanism and protein expression difference of fresh-cut lotus root browning [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011
- [31] 张兴旺,涂贻轩,严守雷,等.复合乳液涂膜保鲜整支莲藕效果研究[J].长江蔬菜,2021,16:70-75
ZHANG Xingwang, TU Yixuan, YAN Shoulei, et al. Effects of compound emulsion coating on preservation of whole lotus root [J]. Yangtze Vegetables, 2021, 16: 70-75
- [32] 张心怡.真空对鲜切莲藕褐变抑制的效果及即食藕片产品的开发研究[D].南京:南京农业大学,2016
ZHANG Xinyi. Effect of vacuum on browning of fresh cut lotus root and development of instant lotus root [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2016
- [33] María C Luna, Juan A Tudela, Francisco A Tomás-Barberán, et al. Modified atmosphere (MA) prevents browning of fresh-cut romaine lettuce through multi-target effects related to phenolic metabolism [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 119: 84-93
- [34] 韩春然,吕海秀,俞晓芸.酶促褐变对贮藏期间蓝莓汁品质的影响[J].农产品加工,2014,10:5-8
HAN Chunran, LYU Haixiu, YU Xiaoyun. Effects of enzymatic browning on quality of blueberry juice during storage [J]. Agricultural Products Processing, 2014, 10: 5-8
- [35] Karthikeyan Venkatachalam, MutitaMeenune. Changes in physiochemical quality and browning related enzyme activity of longkong fruit during four different weeks of on-tree maturation [J]. Food Chemistry, 2012, 131(4): 1437-1442