

农产品贮藏与加工

包装材料及贮藏温度对板栗贮藏性能的影响

刘爱诺¹, 严守雷^{1,2}, 李洁^{1,2}

(1. 华中农业大学 食品科学技术学院, 武汉 430070;

2. 湖北省水生蔬菜保鲜加工工程技术研究中心, 武汉 430070)

摘要: **目的** 探究5种包装材料在2种不同贮藏温度下对板栗品质的影响。**方法** 选用PE₁膜、PE₂膜、抗菌袋、PE/PA₁膜、PE/PA₂膜分别对板栗进行包装,然后置于常温(25℃)、低温(0℃)下贮藏,测定果实在贮藏期间的呼吸强度、色度、还原糖含量、淀粉含量、酶活性等指标。**结果** 在常温贮藏时,相较于PE膜,抗菌袋能够显著抑制板栗的呼吸强度,在贮藏14d时可较好地抑制板栗的菌落总数和腐烂率的变化。在低温贮藏时,采用抗菌袋和PE/PA膜在贮藏15d时均有较好的抑菌效果,抗菌袋对板栗腐烂率的抑制效果更为显著,在贮藏60d时板栗的腐烂率仅为4.44%。在2种温度下,不同的包装材料对栗仁的色泽均无显著影响。**结论** 采用抗菌袋包装结合低温贮藏能有效抑制板栗在贮藏过程中微生物的生长,延缓其腐烂速度,提高其经济价值。

关键词: 板栗; 包装材料; 贮藏温度; 贮藏性能

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2022)23-0080-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.23.010

Effect of Packaging Materials and Storage Temperature on Storage of Chestnut

LIU Ai-ruo¹, YAN Shou-lei^{1,2}, LI Jie^{1,2}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Hubei Aquatic Vegetable Preservation and Processing Engineering Technology Research Center, Wuhan 430070, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effects of five packaging materials on the quality of chestnuts at two different storage temperatures. Chestnuts packaged with PE₁ film, PE₂ film, antibacterial bags, PE/PA₁ film and PE/PA₂ film were stored at room temperature (25 °C) and low temperature (0 °C), respectively. The respiratory intensity, coloration, reducing sugar content, starch content and enzyme activity were measured during storage. The results showed that, at room temperature storage, compared with PE film, the antibacterial bags significantly inhibited the changes of respiratory intensity. The changes in the total number of chestnut colonies and decay rate could be better inhibited at the 14th day of storage. At low temperature storage, antibacterial bags and PE/PA film had better inhibition effect at the 15th day of storage. The inhibition effect of antibacterial bags on chestnut decay rate was more significant, only 4.44% at the 60th day of storage. However, there was no significant effect of different packaging materials on the coloration of chestnut at 2 temperatures. This shows that antibacterial bag packaging combined with low temperature storage can effectively inhibit the growth of microorganisms and their decay rate during storage of chestnuts and improve their economic value.

KEY WORDS: chestnut; packaging material; storage temperature; storage property

收稿日期: 2022-04-18

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1002300, 2019YFD1002301)

作者简介: 刘爱诺(1997—),女,硕士生,主攻农产品贮藏加工质量与安全。

通信作者: 李洁(1976—),女,博士,副教授,主要研究方向为农产品贮藏加工质量与安全。

板栗 (*Castanea mollissima* Blume) 富含多种营养物质, 味道香甜且口感软糯, 具有多种保健功效, 因此深受消费者的喜爱^[1]。由于采后板栗的生理代谢活动较旺盛, 在贮藏运输过程中对环境的要求较高, 温度的波动、空气水分含量的变化都会导致板栗出现发霉、发芽、腐败变质等不良品质变化^[2-3]。通过前期实验观察到, 在常温 (25 °C) 下贮藏时, 板栗的呼吸强度较高、水分的散失速度较快, 在贮藏 28 d 时就出现完全霉变的现象。在低温 (0 °C) 贮藏条件下, 板栗的性质较为稳定, 霉变现象减少, 但在未控制冰箱湿度的情况下, 贮藏 30 d 时就观察到板栗的外壳变脆, 板栗内部出现水分损失较大的现象。

针对采后板栗的虫害、霉变和发芽等不良品质变化, 目前常用的保鲜方法包括热水浸泡^[4]、保鲜剂浸泡^[5-7]等。研究表明, 经液体保鲜剂浸泡处理后反而在板栗内部营造了潮湿环境^[8], 使其更易出现腐烂变质现象, 相比之下, 采用物理处理方式 (比如辐照^[9-12]、微波^[13]、调节气压^[14]等) 就能较好地避免该现象。除此之外, 低温贮藏也是常用的保鲜方法, 0~4 °C 为板栗最适的贮藏温度, 结合冷库适宜的湿度, 板栗的贮藏期可达 1 a^[15]。当板栗出冷库后进入运输环节时, 针对由温度、湿度的波动使其腐烂变质率增大的问题, 目前无较好的解决方案。

包装材料作为外部保护层能够阻隔外部微生物及其他杂质的进入^[16-17], 从而为食品提供一定的保护作用, 同时还能较好地减缓食品水分的散失速度。目前, 多种包装薄膜被广泛应用于各类生鲜果蔬的保鲜贮藏。研究结果表明, 采用包装材料能有效抑制各种不良的品质变化, 从而延长果蔬的贮藏期^[18-24], 但关于包装材料对板栗的保鲜效果却鲜有报道。文中选用 5 种包装材料结合常温和低温 2 种不同贮藏温度, 探究包装材料对板栗贮藏性能的影响, 通过对板栗在贮藏期内生理生化指标的比较分析, 确定效果较好的包装材料, 以期减少板栗在贮藏过程中的腐烂率, 延长其贮藏期。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: 迁西板栗, 采自河北省迁西县, 采后立即快递至实验室进行低温贮藏, 挑选新鲜、无虫害、外壳无损伤的板栗用于实验; PE₁ 膜, 单层厚度为 0.06 mm, 河源市华丰塑料有限公司; PE₂ 膜, 单层厚度为 0.04 mm, 旺江南包装工厂; 抗菌袋, 单层厚度为 0.05 mm, 实验室自制^[25]; PE 膜, 抗菌成分为次氯酸镁, 泰兴市旭日包装有限公司; PE/PA₁ 膜, 单层厚度为 0.11 mm, 泰兴市旭日包装有限公司; PE/PA₂ 膜, 单层厚度为 0.10 mm, 泰兴市旭日包装有限公司。

主要试剂: 氯化钠、3,5-二硝基水杨酸、考马斯亮蓝 (G250)、无水乙醇, 国药集团化学试剂有限公司; 平板计数琼脂, 博海生物技术有限公司; 萘酮, 源叶生物科技有限公司; 邻苯二酚, 上海麦克林公司。以上所有试剂均为分析纯。

主要仪器: FT-GX20 果蔬呼吸仪, 山东帕尔环境科技有限公司; YS3010 手持色度仪, 深圳市三恩时科技有限公司; S22pc 分光光度计, 上海凌光技术有限公司; AR5120 电子天平, 奥豪斯仪器有限公司; KW-100DC 恒温水浴锅, 江苏金坛市亿通电子有限公司。

1.2 方法

1.2.1 样品处理

将挑选后的板栗分别放入由 PE₁ 膜、PE₂ 膜、抗菌袋、PE/PA₁ 膜、PE/PA₂ 膜等 5 种包装材料制成的包装袋中, 并分别置于 0 °C 和 25 °C 下贮藏, 每袋包装的板栗质量均为 0.5 kg。在常温条件下的检测周期为 7 d, 在低温条件下的检测周期为 15 d, 在每个周期对各处理组中的样品进行各类生理生化指标的检测。

1.2.2 呼吸强度的测定

用果蔬呼吸仪测定样品的呼吸强度, 每个处理样品的质量约为 500 g, 每个样品的检测时间为 15 min, 其中每 5 min 检测 1 次。

1.2.3 色度的测定

用便携式色度仪对板栗壳外部赤道及板栗仁内部截面进行测定, 读取其 L^* 、 a^* 、 b^* 等值。其中, L^* 表示白度, a^* 表示红度, b^* 值表示黄度。每个处理组测定 4 个果实, 每个果实分别取其 5 个内部及外部点。以未处理新鲜板栗外部及内部色度为标准, 计算其总色差。总色差 (ΔE) 的计算见式 (1)。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^* + \Delta a^* + \Delta b^*} \quad (1)$$

1.2.4 还原糖的测定

采用 3,5-二硝基水杨酸法测定样品的还原糖, 前处理方式参考丛永亮^[26]的方法, 并略做修改。称取 1.0 g 板栗, 并研磨, 用 8 mL 蒸馏水冲洗, 并置入 10 mL 离心管中, 在 5 500 r/min 下离心 15 min, 将上清液置于 25 mL 容量瓶中, 然后用 5~6 mL 蒸馏水清洗沉淀, 离心后合并上清液, 沉淀并重复清洗 2 次, 最后定容至 25 mL 备用。

1.2.5 总糖及淀粉的测定

采用萘酮-硫酸比色法测定样品的总糖和淀粉含量。

1.2.6 菌落总数的测定

按照《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》(GB 4789.2—2016) 测定样品的菌落总数。

1.2.7 腐烂率的测定

每次随机挑选 50 颗板栗, 将板栗切开, 如果果

实出现软烂、霉变、石化等现象,则记为1个腐烂数。腐烂率(%)的计算见式(2)。

$$\text{腐烂率} = \frac{\text{腐烂板栗数量}}{\text{总板栗数量}} \times 100\% \quad (2)$$

1.2.8 多酚氧化酶活性的测定

采用邻苯二酚比色法测定样品的多酚氧化酶(PPO)活性^[27]。

1.2.9 统计分析

实验均做3个平行实验,实验数据用IBM SPSS version 21(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)进行差异显著性分析($P < 0.05$),使用Origin 2017(Origin Lab, USA)绘图导出。

2 结果与分析

2.1 在常温(25 °C)贮藏条件下不同包装材料对板栗贮藏性的影响

2.1.1 不同包装材料对板栗呼吸强度的影响

呼吸强度是果蔬采后新陈代谢的重要指标之一^[26],呼吸强度越大,果蔬体内营养物质的消耗越大。由图1可看出,在贮藏期内,与贮藏前相比,各包装袋处理组中板栗的呼吸强度均呈现波动上升的趋势,这与贮藏温度升高、板栗各项生理活动增强有关。其中,抗菌袋包装中板栗在贮藏期间的呼吸强度均显著小于其他处理组的呼吸强度($P < 0.05$),这说明抗菌袋在贮藏过程中能够有效抑制板栗的呼吸强度,降低板栗内部营养物质的消耗速度。

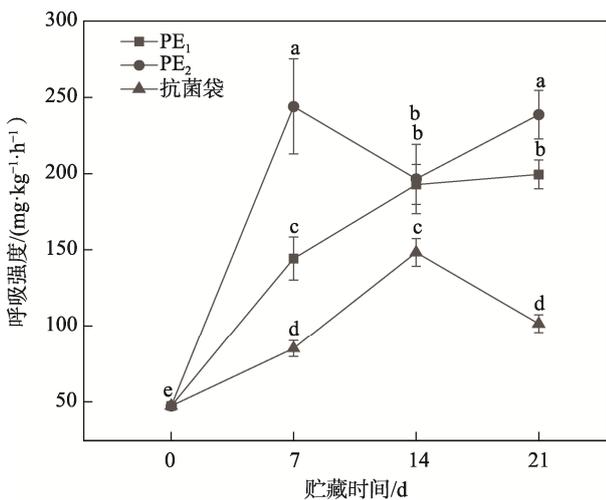


图1 常温贮藏条件下不同包装材料对板栗呼吸强度的影响
Fig.1 Effect of different packaging materials on respiratory intensity of chestnuts under room temperature storage conditions

注:小写字母表示不同数据之间的差异显著性($P < 0.05$),图2—5同。

在5种包装材料中,PE/PA膜相较于PE膜,其透气性较小,在板栗的呼吸强度作用下,CO₂在袋内积累,内部气压增大,导致包装袋在贮藏第7d即出

现了胀袋(甚至胀破)现象,故在常温贮藏条件下板栗的包装材料应排除PE/PA膜。

2.1.2 不同包装材料对板栗色泽的影响

由图2可以看出,在常温贮藏条件下,除PE₁处理组外,其他处理组的色泽均呈现上下波动变化,没有明显的升降趋势。PE₁膜处理组板栗壳的色泽出现了小幅度下降趋势,但在不同贮藏时间内其色差无显著差异($P > 0.05$)。这可能是由于板栗壳表面的颜色较为丰富且不均匀,在检测时出现了小幅度变化。板栗仁的色差随着贮藏时间的延长而有所上升,这可能是由于PE₁膜相对较厚,透气性较差,袋内CO₂大量积累,导致板栗发生了无氧呼吸,产生了较多不利于板栗仁色泽保持的乙醇、乙酸等物质,使得板栗仁表面与贮藏前新鲜板栗仁相比,其亮度(即L*值)下降,从而导致总色差上升。在贮藏后期,不同处理组间无显著差异($P > 0.05$),这说明在常温贮藏条件下不同包装材料对板栗的色泽无显著影响,这与Siddiq等^[20]针对不同包装材料对鲜切苹果片的研究结果一致。

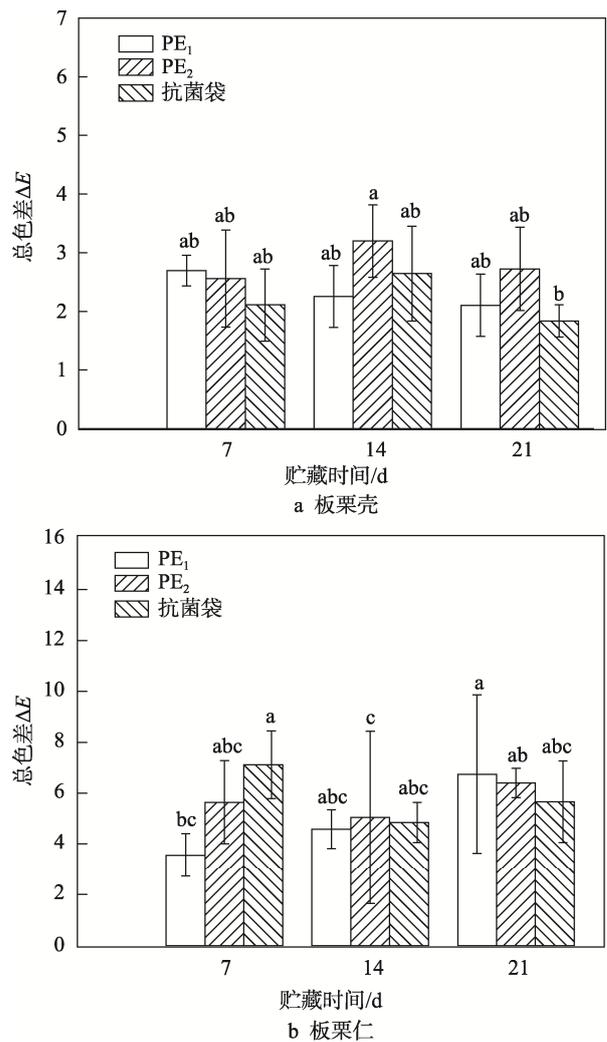


图2 在常温贮藏条件下不同包装材料对板栗色泽的影响
Fig.2 Effect of different packaging materials on coloration of chestnut under room temperature storage conditions

2.1.3 不同包装材料对板栗还原糖含量的影响

含糖量是果蔬品质优劣的指标之一, 还原糖含量的变化既与体内淀粉的分解有关, 也与果蔬自身的生理活动相关。由图 3 可以看出, 在贮藏期间各包装材料处理组板栗的还原糖含量均呈现先上升后下降的趋势, 这与段振军^[28]对板栗失水梯度的研究中板栗还原糖含量前期的变化情况相似。在贮藏前期, 由于板栗从低温环境突然进入较高温度贮藏, 其各项生理活动均增加, 这会大量消耗糖类物质, 此时淀粉会水解成糖类物质, 以补充消耗缺口, 使糖类物质有所积累。在贮藏后期, 板栗的各项生理代谢活动趋于平稳, 淀粉的水解速度降低, 糖类物质的消耗导致还原糖含量下降。其中, PE₁ 和 PE₂ 膜处理组板栗的还原糖含量在贮藏第 7 天时达到峰值, 然后下降, 抗菌袋处理组样品的还原糖含量较为稳定, 一直处于较低的水平, 且未出现明显的峰值。这与呼吸强度的变化趋势相符, 进一步说明抗菌袋能够有效抑制板栗自身的生理活动, 减小糖类营养物质的波动。

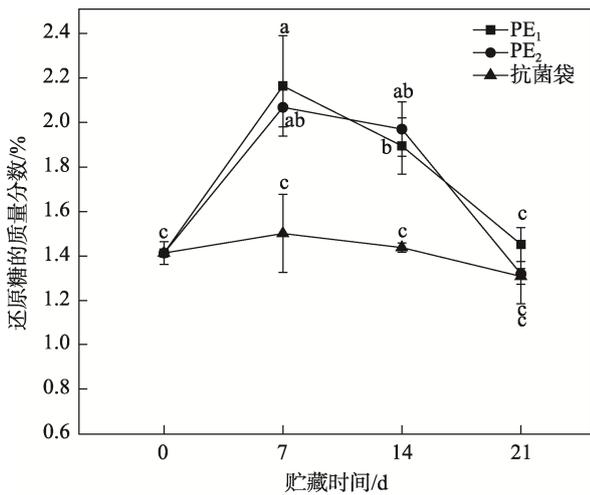


图 3 常温贮藏条件下不同包装材料对板栗还原糖含量的影响

Fig.3 Effect of different packaging materials on reducing sugar content of chestnut under room temperature storage conditions

2.1.4 不同包装材料对板栗总糖含量的影响

由图 4 可以看出, 在贮藏期间各处理组板栗中的总糖含量均呈现先上升后下降的趋势。在贮藏前期, 板栗的呼吸作用旺盛, 总糖含量有所上升, 但变化不大。在贮藏 7~14 d 时, 由于淀粉的分解使得总糖含量快速升高, 之后随着呼吸作用的消耗又逐渐降低, 但不同包装袋处理对板栗的总糖含量无显著影响 ($P>0.05$), 这与李艳^[14]研究中使用臭氧对板栗处理后在低温贮藏条件下总糖前期的变化趋势相似。在同一贮藏时间内, 不同包装材料处理组板栗的总糖含量无显著差异, 这说明在常温贮藏条件下不同包装材料对板栗的总糖含量无显著影响 ($P>0.05$)。

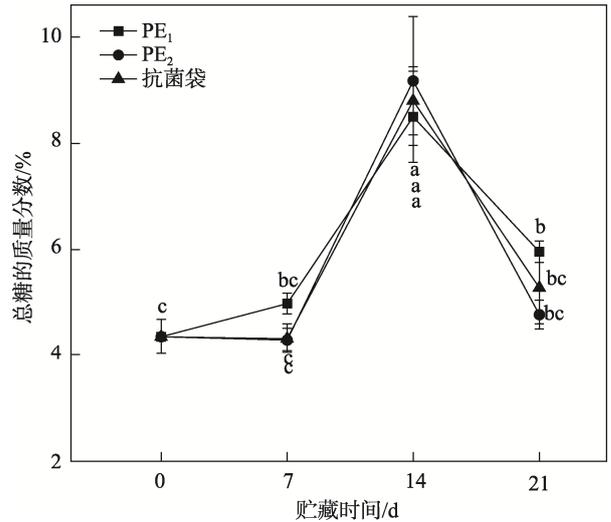


图 4 常温贮藏条件下不同包装材料对板栗总糖含量的影响

Fig.4 Effect of different packaging materials on total sugar content of chestnuts under room temperature storage conditions

2.1.5 不同包装材料对板栗菌落总数的影响

菌落总数是判定食品被污染程度的指标^[11], 其数量越少, 说明越符合相应产品的卫生标准。由图 5 可以看出, 在贮藏前期, 不同包装材料对板栗表面微生物的抑制作用无显著差异 ($P>0.05$); 当贮藏时间达到 14 d 时, 抗菌袋中微生物的残留量显著小于其他 2 种包装材料 ($P<0.05$); 在贮藏 21 d 时, 抗菌袋中微生物的残留量依然保持最低, 与 14 d 相比显著下降 ($P<0.05$)。这与抗菌袋中的抗菌成分作用于板栗表面, 抑制了各类微生物的生长有关。

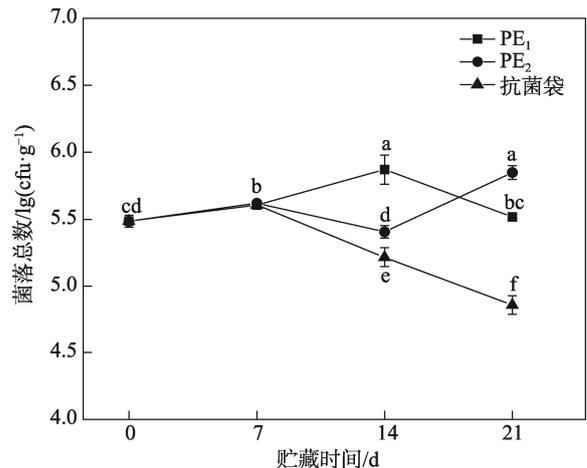


图 5 常温贮藏条件下不同包装材料对板栗微生物残留量的影响

Fig.5 Effect of different packaging materials on microbial residues of chestnut under room temperature storage conditions

2.1.6 不同包装材料对板栗腐烂率的影响

由于 25 °C 作为贮藏温度对于板栗而言较高, 在

此温度下板栗的生理代谢活动一直维持在较高水平。由于板栗含有较多的直链淀粉，其内部结构较为紧密，导致氧气在贮藏过程中难以浸入板栗内部组织，高 CO₂、低 O₂ 环境使其进行无氧呼吸，产生了乙醇等有害物质，当有害物质积累到一定程度时会导致果实中毒，造成生理伤害而易腐烂。如表 1 所示，随着贮藏时间的延长，3 种包装处理组板栗的腐烂率均显著上升，在贮藏前期不同包装材料之间无显著差异，在贮藏 14 d 时抗菌袋中果实的腐烂率显著低于 PE 组 ($P<0.05$)。结合其他指标分析可知，抗菌袋对板栗腐烂率的抑制作用与其对板栗呼吸强度、表面微生物生长的抑制作用密不可分。

2.2 低温 (0 °C) 贮藏条件下不同包装材料对板栗贮藏性能的影响

2.2.1 不同包装材料对板栗色泽的影响

由图 6 可以看出，在低温贮藏期内，板栗壳的总色差 ΔE 无明显的变化规律。这可能是因为板栗壳的外部颜色较为复杂，且板栗间的个体差异较大，没有较强的规律性。板栗仁的 ΔE 呈现缓慢上升的趋势，这可能与贮藏过程中与褐变相关的 PPO 酶活

性增强有关，且色差的变化趋势与 PPO 酶活性的变化趋势相对应，不同包装材料处理组间无显著性差异 ($P>0.05$)。结合常温贮藏条件下不同包装材料对板栗总色差的影响可知，不同包装材料无论在低温还是常温条件下均对板栗外部及内部的色泽无显著影响。

2.2.2 不同包装材料对板栗还原糖含量的影响

由图 7 可看出，在贮藏期内，由于贮藏温度较低，板栗自身的生理活动保持在较低水平，其还原糖含量呈现小范围的波动变化，总体呈现先上升后下降的趋势，这与常温贮藏条件下的变化趋势类似，变化趋势同样与板栗的生理活动相关。除抗菌袋外，其他各种包装材料均在 30 d 或 45 d 时达到峰值，且各包装材料处理组间无显著差异 ($P>0.05$)。抗菌袋在贮藏后期呈现持续上升趋势，这说明在低温贮藏条件下抗菌袋能够有效延长板栗内部还原糖含量的峰值期，与常温贮藏条件下抗菌袋对还原糖波动的抑制作用类似。即抗菌袋无论是在常温还是在低温条件下均能够在一定程度上抑制板栗的生理活动，延缓板栗糖类物质的积累速度，进而延缓板栗的衰老速度。

表 1 不同包装材料处理组板栗在贮藏过程中腐烂率的变化情况

Tab.1 Changes in decay rate of chestnut during storage in different packaging material treatment groups

包装材料	贮藏时间/d		
	7	14	21
PE ₁	5.33±1.16 ^c	24.00±2.00 ^b	32.00±2.00 ^a
PE ₂	6.13±3.48 ^e	20.00±2.00 ^c	23.33±1.16 ^{bc}
抗菌袋	7.33±1.16 ^c	14.67±1.16 ^d	20.00±2.00 ^c

注：小写字母表示不同数据间存在显著差异 ($P<0.05$)。

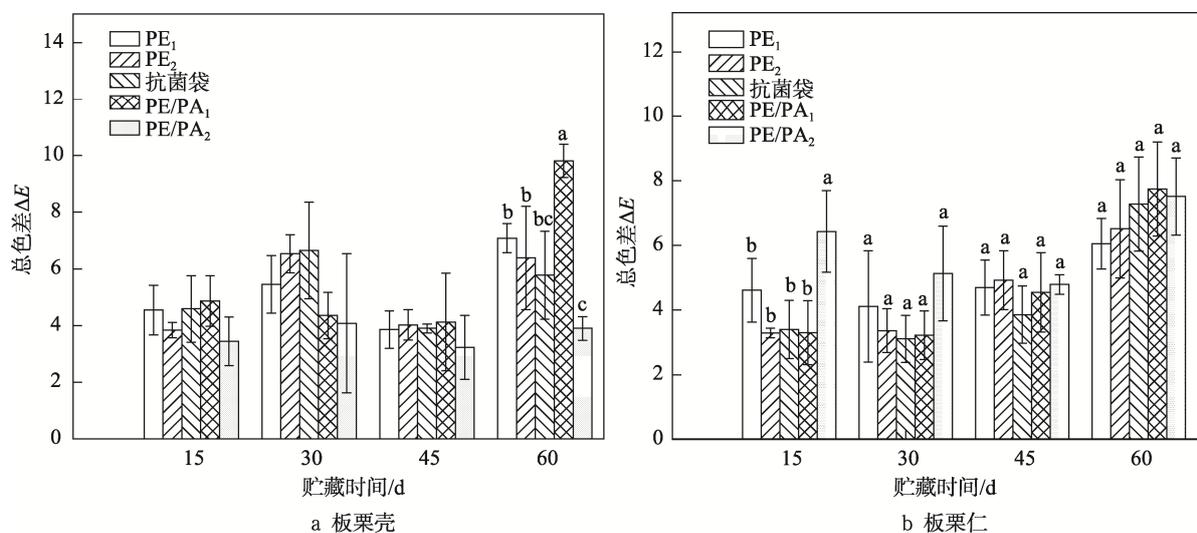


图 6 低温贮藏条件下不同包装材料对板栗色泽的影响

Fig.6 Effect of different packaging materials on coloration of chestnut under low temperature storage conditions

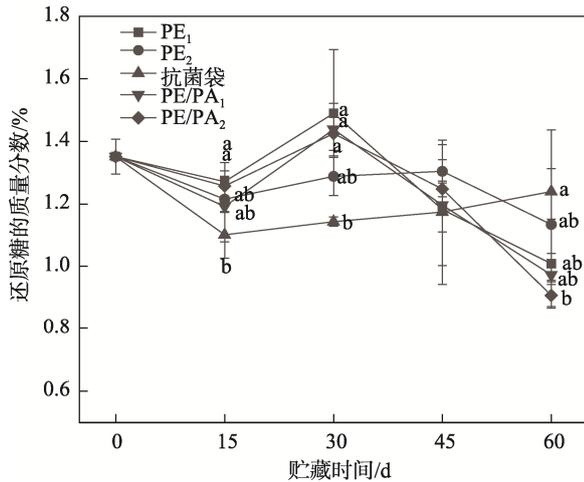


图 7 低温贮藏条件下不同包装材料对板栗还原糖含量的影响

Fig.7 Effect of different packaging materials on reducing sugar content of chestnut under low temperature storage conditions

注: 小写字母表示同一贮藏时间内不同包装材料之间的差异显著性 ($P < 0.05$), 下同。

2.2.3 不同包装材料对板栗淀粉含量的影响

板栗中的淀粉含量(质量分数为 62%~70.1%)丰富^[29], 其含量能够反应板栗体内生理活动的变化情况。由图 8 可以看出, 在低温贮藏条件下, 板栗的淀粉含量呈现缓慢下降的趋势, 在贮藏前期板栗的内部生理活动较为活跃, 淀粉消耗量增大, 故前期其淀粉含量下降得较快, 后期趋于平稳。在常温贮藏条件下, 由于板栗内部的生理生化活动较为剧烈, 其淀粉含量的下降速度更快, 这与还原糖的变化趋势相吻合, 不同包装处理间无差异。在低温下贮藏 60 d 时, 相较于 2 种不同厚度的复合材料, 抗菌袋中板栗的淀粉含量较高, 这说明抗菌袋能够在一定程度上延缓板栗内营养物质的消耗。

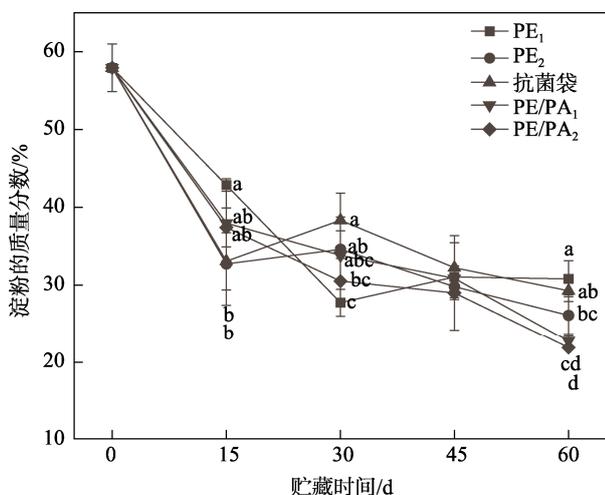


图 8 低温贮藏条件下不同包装材料对板栗淀粉含量的影响

Fig.8 Effect of different packaging materials on starch content of chestnut under low temperature storage conditions

2.2.4 不同包装材料对板栗 PPO 酶活性的影响

多酚氧化酶(PPO)是一类与植物呼吸作用相关的酶, 主要作用是催化酚类物质的氧化, 需要氧的参与^[30]。在正常情况下, PPO 酶与酚类底物不发生反应, 但当植物细胞受到损伤或衰老时, 其活性会显著升高^[28]。由图 9 可以看出, 在低温贮藏条件下, 板栗的 PPO 酶活性在贮藏期内呈现上升趋势, 前期不同包装材料处理组间无显著差异 ($P > 0.05$)。在贮藏 60 d 时, 抗菌袋中板栗的 PPO 酶活性显著低于其他处理组 ($P < 0.05$), 这可能与包装材料的透气性相关。PE 膜的透气性相对最高, 其袋中氧气的含量相对最高, PPO 酶活性相对最大。PE/PA 膜的透气性次之, PPO 酶活性也较小。抗菌袋中抗菌成分的作用需要袋中 CO_2 的参与, 在贮藏过程中会消耗袋中的 CO_2 , 且袋子的体积不变, 氧气浓度降低, PPO 酶活性也随之降低。这说明贮藏时间较长时, 抗菌袋能够显著抑制 PPO 酶活性, 延缓板栗自身的衰老进程, 进而延长板栗的贮藏期。

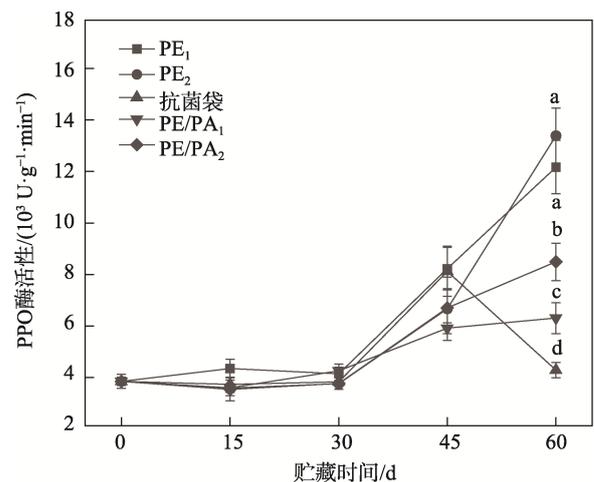


图 9 低温贮藏条件下不同包装材料对板栗 PPO 酶活性的影响

Fig.9 Effect of different packaging materials on PPO enzyme activity of chestnut under low temperature storage conditions

2.2.5 不同包装材料对板栗菌落总数的影响

由图 10 可知, 在低温贮藏条件下, 与未包装板栗表面的微生物残留量相比, 抗菌袋和 PE/PA 膜在贮藏 15~45 d 时均有一定的抑菌效果, 且显著小于 PE 膜处理组 ($P < 0.05$)。在贮藏后期, 由于 PE/PA 膜处理组均出现了胀袋现象, 且 PE/PA₂ 膜处理组在贮藏后期出现了包装袋胀破现象, 所以在贮藏 60 d 时其表面菌落总数急剧上升。这可能是由于 PE/PA₂ 相对其他几种包装材料膜, 其透气性最低, 在贮藏前期氧气含量相对较少, 故有较好的抑菌作用, 随着贮藏时间的延长, 包装袋中 CO_2 逐渐积累, 导致贮藏后期出现了胀破现象。抗菌袋在贮藏期内一直维持着较低的菌落总数水平, 且较为稳定, 未出现

大幅度波动。这说明抗菌袋与其他4种包装材料相比,能够有效且稳定地维持板栗表面的菌落总数值,确保板栗的质量。

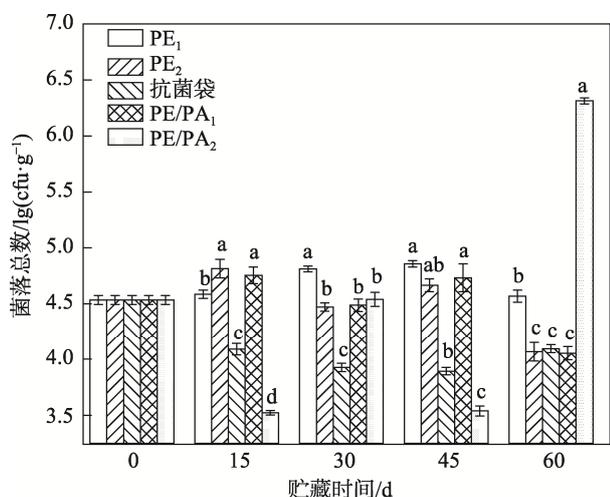


图10 低温贮藏条件下不同包装材料对板栗微生物残留量的影响

Fig.10 Effect of different packaging materials on microbial residues of chestnut under low temperature storage conditions

2.2.6 不同包装材料对板栗腐烂率的影响

由图11可以看出,在低温贮藏条件下,随着贮藏时间的延长,各处理组板栗样品的腐烂率在小范围内波动,各处理组在贮藏后期无显著差异($P>0.05$)。这说明在低温条件下,温度对板栗腐烂率的抑制作用远大于包装材料,即在低温条件下包装材料对板栗腐烂率无显著影响($P>0.05$),但抗菌袋对板栗的腐烂率有一定的抑制作用。

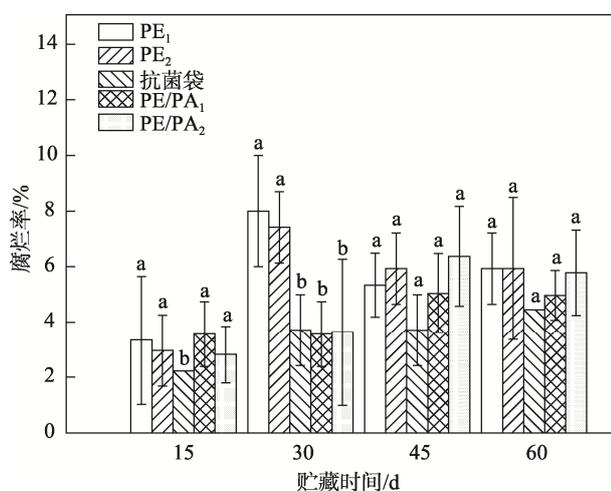


图11 低温贮藏条件下不同包装材料对板栗腐烂率的影响

Fig.11 Effect of different packaging materials on tdecay rate of chestnut under low temperature storage conditions

3 结语

选用PE₁膜、PE₂膜、抗菌袋、PE/PA₁膜、PE/PA₂膜等5种包装材料对新鲜板栗进行包装处理,分别置于0℃下贮藏60d,25℃下贮藏21d。通过比较分析贮藏过程中板栗的各项生理生化指标发现,在2种不同贮藏温度下,抗菌袋在贮藏15d时对板栗表面菌落总数有显著的抑制作用,同时,抗菌袋在2种温度下对其还原糖含量、腐烂率也有显著的抑制作用。与常温贮藏相比,在低温贮藏条件下板栗的各项生理代谢活动更为缓慢,腐烂率也更低,经抗菌袋包装后低温贮藏60d时其腐烂率仅为4.44%。综上所述,采用抗菌袋包装后在低温下贮藏的方式能够有效降低板栗的腐烂率,减小其贮藏期的损耗。

抗菌袋是在包装袋制作时将抗菌成分融入其中,使其在贮藏过程中逐渐释放出来,达到杀菌、消毒的作用。文中选用的抗菌袋能够有效地抑制板栗的呼吸强度,但在贮藏期间却不能有效抑制板栗的呼吸作用,在包装袋内出现了水汽现象,这反而使包装内形成潮湿环境,这会促进各类有害菌的生长繁殖,从而导致板栗出现虽然外壳完好,但切开后内部已腐坏变质的现象。

板栗为呼吸跃变型果实,如果选用防雾薄膜作为包装材料,将抗菌成分融入其中,能够在杀灭微生物的同时有效防止包装袋内水汽的产生,从而降低板栗的腐烂变质率,提高其贮藏性。

参考文献:

- [1] 房贵磊. 板栗贮藏过程中主要营养物质的变化[J]. 现代食品, 2019(24): 141-143.
FANG Gui-lei. Changes of Main Nutrients during Chestnut Storage[J]. Modern Food, 2019(24): 141-143.
- [2] ANTONIO A L, CAROCHO M, BENTO A, et al. Effects of Gamma Radiation on the Biological, Physico-Chemical, Nutritional and Antioxidant Parameters of Chestnuts - A Review[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(9): 3234-3242.
- [3] 尹颖, 李再良. 板栗采后生理及贮藏保鲜技术研究[J]. 农业网络信息, 2006(8): 130-131.
YIN Ying, LI Zai-liang. Study on Postharvest Physiology and Storage Technology of Chestnut[J]. Agriculture Network Information, 2006(8): 130-131.
- [4] 杨小胡. 采后水浴处理对板栗的生理生化变化及其贮藏效应的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2004: 34-37.
YANG Xiao-hu. Influence of Postharvest Water-Curing Treatment on the Physiological and Biochemical Changes and the Storage Effect of Chestnut[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2004: 34-37.

- [5] 王继芝. 迁西板栗天然复合保鲜剂保鲜技术研究[J]. 河北工业科技, 2014, 31(6): 494-497.
WANG Ji-zhi. Research of Compound Fesh-Keeping Agent Technology for Qianxi Chestnut[J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2014, 31(6): 494-497.
- [6] 池明. 水杨酸处理对板栗采后生理生化的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009: 46-47.
CHI Ming. The Effects of SA Treatment on the Post-harvest Physiology and Biochemistry of Chestnut[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2009: 46-47.
- [7] 顾仁勇, 杨万根. 稳定态二氧化氯结合热处理贮藏板栗[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(12): 144-149.
GU Ren-yong, YANG Wan-gen. Optimization of Treatment of Stable Chlorine Dioxide Combined with Heat on Chestnut Preservation[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(12): 144-149.
- [8] JERMINI M, CONEDERA M, SIEBER T N, et al. Influence of Fruit Treatments on Perishability during Cold Storage of Sweet Chestnuts[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(6): 877-885.
- [9] 路明, 张立新, 陈海涛. 板栗辐照冷藏保鲜技术研究[J]. 河北果树, 2010(5): 5-6.
LU Ming, ZHANG Li-xin, CHEN Hai-tao. Study on Irradiation Refrigeration Preservation Technology of Chestnut[J]. Hebei Fruits, 2010(5): 5-6.
- [10] 陶怡. 辐照处理对板栗果实的保鲜作用及其病原菌种类组成的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2011: 32-36.
TAO Yi. Effect of Irradiation on Keeping Chestnuts Fresh and Composition of Pathogenic Fungi of Chestnuts[D]. Nanning: Guangxi University, 2011: 32-36.
- [11] 郭豪宁, 赵玉华, 常学东. 辐照对峰甘板栗货架品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 262-267.
GUO Hao-ning, ZHAO Yu-hua, CHANG Xue-dong. Effect of ^{60}Co - γ Irradiation on Sterilization and Sensory Quality of 'Fenggan' Chestnut Namely Raw Ready-to-Eat Chestnut[J]. Food Science, 2016, 37(18): 262-267.
- [12] 王彦祥. γ 射线辐照对板栗贮藏及生理生化特性的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2011: 34-37.
WANG Yan-xiang. Influence of Γ -Irradiation Treatment on Storage and the Physiological and Biochemical Characteristics of Chinese Chestnut (*Castanea Mollissima* Blume)[D]. Nanning: Guangxi University, 2011: 34-37.
- [13] 张淑媛. 低功率微波结合保鲜剂处理对板栗贮藏生理和品质调控研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017: 23-27.
ZHANG Shu-yuan. Research on the Regulation of Storage Physiology and Quality of Chestnut by Low Power Microwave Combined with Preservatives[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2017: 23-27.
- [14] 李艳. 臭氧和减压处理对板栗采后生理变化及其贮藏效应研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006: 43-46.
LI Yan. Influences of Ozone Treatment and Decompression Treatment on the Postharvest Physiological Change and Storage Effects of Chestnut[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2006: 43-46.
- [15] 李保平, 王世昌. 板栗的贮藏特性与保鲜技术[J]. 农产品加工, 2003(12): 21-22.
LI Bao-ping, WANG Shi-chang. Storage Characteristics and Fresh-Keeping Technology of Chestnut[J]. Farm Products Processing, 2003(12): 21-22.
- [16] MEI Lei, WANG Qin. Advances in Using Nanotechnology Structuring Approaches for Improving Food Packaging[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2020, 11: 339-364.
- [17] KALPANA S, PRIYADARSHINI S R, MARIA LEENA M, et al. Intelligent Packaging: Trends and Applications in Food Systems[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 93: 145-157.
- [18] SAHARIKA S, JOSHI V, PRASANTH P, et al. Effect of the Different Surface Coatings and Packaging Materials for Shelf Life and Quality of Guava (*Psidium Guajava* L) CV. Allahabad Safeda[J]. International Journal of Environment and Climate Change, 2021: 44-54.
- [19] 初丽君, 王琼, 王敏, 等. 不同厚度 PE 膜包装对鲜食石榴籽粒保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2017, 17(6): 20-26.
CHU Li-jun, WANG Qiong, WANG Min, et al. Effect of PE Film Thickness on Preservative Effect of Ready-to-Eat Pomegranate Seeds[J]. Storage and Process, 2017, 17(6): 20-26.
- [20] SIDDIQ M, HARTE J B, SINGH S P, et al. Effect of Processing, Packaging and Vibration Treatment on the Sensory Quality of Fresh-Cut Apple Slices[J]. Packaging Technology and Science, 2011, 24(5): 309-315.
- [21] 钱井, 满杰, 郑丽静, 等. 不同包装材料对鲜切芹菜保鲜效果的影响[J]. 现代农业科技, 2020(21): 224-227.
QIAN Jing, MAN Jie, ZHENG Li-jing, et al. Effects of Different Packaging Materials on Preservation of Fresh-Cut Celery[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(21): 224-227.
- [22] 汤莹, 慕钰文, 朱少聪. 不同薄膜包装对贮藏中萨米脱甜樱桃的保鲜效果[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 235-238.
TANG Ying, MU Yu-wen, ZHU Shao-cong. Preservative Effect of Freshly-Harvested Summit Cherry with Dif-

- ferent Films Packing during Storage[J]. The Food Industry, 2021, 42(5): 235-238.
- [23] 贾茹羽. 氯化钠结合包装材料对鲜切生姜保鲜效果的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2019: 42-45.
JIA Ru-yu. Study on the Fresh-Keeping Effect of Sodium Chloride Combined with Packaging Material in Fresh-Cut Ginger[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2019: 42-45.
- [24] 陈学玲, 张莉会, 严守雷, 等. 包装材料对鲜切西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(13): 246-250.
CHEN Xue-ling, ZHANG Li-hui, YAN Shou-lei, et al. Effects of Packaging Materials on Storage Quality of Fresh-Cut Broccoli[J]. Food Science, 2018, 39(13): 246-250.
- [25] 王文. 新型抗菌包装材料的研制及对茭白、莲子和菜薹保鲜实验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020: 19-20.
WANG Wen. Development of New Antibacterial Packaging Materials and Experimental Research on the Preservation of Wild Rice, Lotus Seeds and Vegetable Shoots[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020: 19-20.
- [26] 丛永亮. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ 处理对板栗采后生理生化及贮藏效果的影响研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2008: 56-59.
CONG Yong-liang. Study on the Effects of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ Treatment on the Postharvest Physiological and Biochemical Changes and Storage of Chestnut[D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2008: 56-59.
- [27] 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: 245-279.
CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Experimental Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 245-279.
- [28] 段振军. 失水梯度对板栗贮藏过程中生理生化变化规律的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2008: 46-48.
DUAN Zhen-jun. Effect of Dehydration Degree on Physiological and Biochemical Indicators of Chestnut during Storage[D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2008: 46-48.
- [29] 刘静. 板栗淀粉老化特性及抗性淀粉的制备[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2020: 23-25.
LIU Jing. Aging Characteristics of Chestnut Starch and Preparation of Resistant Starch[D]. Qinhuangdao: Hebei Normal University of Science & Technology, 2020: 23-25.
- [30] 方中明, 白根祥, 殷家俊, 等. 3种化学保鲜剂对板栗储藏和营养品质的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(10): 89-93.
FANG Zhong-ming, BAI Gen-xiang, YIN Jia-jun, et al. Effects of Three Preservative Chemical Agents on Storage and Nutrition Keeping of Chestnut[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2015, 42(10): 89-93.

责任编辑: 彭颖