

PBAT/PCL可降解气调保鲜膜对双孢菇的保鲜效果

王治洲, 道日娜, 徐畅, 张敏欢, 许兵, 董同力嘎*

内蒙古农业大学食品科学与工程学院(呼和浩特 010018)

摘 要 研究聚对苯二甲酸-己二酸-1, 4-丁二醇酯/聚己内酯(PBAT/PCL)共混薄膜对双孢菇保鲜效果的影响, 将新鲜双孢菇在采摘后经预冷, 在自发气调条件下于4℃相对湿度80%进行保藏, 以未包装的双孢菇作为对照组。贮藏期间对感官、白度值(L^*)、可溶性蛋白、多酚氧化酶、硬度等指标进行测定包装效果评估。结果表明, PBAT/PCL共混薄膜具有良好的透气性和选择透过性, 包装后可形成适宜稳定的气氛条件, 可有效抑制双孢菇褐变, 维持其良好的感官和营养价值, 有效延长贮藏期, 是空白组的2倍多。

关键词 双孢菇; 保鲜; 聚对苯二甲酸-己二酸-1, 4-丁二醇酯/聚己内酯(PBAT/PCL); 共混膜; 透过率

Preservation Effect of PBAT/PCL Gas Clingfilm for *Agaricus bisporus*

WANG Zhizhou, DAO Rina, XU Chang, ZHANG Minhuan, XU Bing, DONG Tungalag*

College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University (Hohhot 010018)

Abstract In order to study the preservation effect of poly butylenedipate-co-terephthalate/polycaprolactone (PBAT/PCL) composite membrane on the *Agaricus bisporus*, the fresh *Agaricus bisporus* was pre-cooled at 4℃ and RH 80% in equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP), with unpackaged one as control group. The sensory indexes, whiteness value (L^*), soluble protein, polyphenol oxidase and hardness were evaluated during storage. The results showed that the PBAT/PCL blend film had desired permeability and permselectivity, which could form a stable atmosphere condition in packaging. It could effectively inhibit the browning of *Agaricus bisporus* and maintain its good sensory and nutritional value, and the storage time was extended two times as much as control group.

Keywords *Agaricus bisporus*; freshness; PBAT/PCL; blend membrane; transmittance

双孢菇富含蛋白质及8种人体必需氨基酸, 具有低热量、低脂肪的优点, 已成为颇受大众喜爱的一种绿色新鲜食材。但双孢菇由于自身组织鲜嫩, 使得采

后贮藏性极低, 品质及营养价值急剧下降, 并会在短期内出现萎蔫、褐变等一系列不可逆生理现象, 使其失去商品价值及食用价值^[1-2]。适时采收、无机械损伤

酶活性明显高于复合肥和普通有机肥, 且随酒糟生物有机肥施用量的增加而增大。同时, 施用酒糟生物有机肥和微生物菌剂的最高产量高于复合肥和普通有机肥^[16]。

参考文献:

- [1] 左上春, 杨海泉, 邹伟. 白酒酒糟资源化利用研究进展[J]. 食品工业, 2016, 37(1): 246-249.
- [2] 李青. 贵州省白酒酒糟综合利用的探讨[J]. 酿酒科技, 2014(10): 92-93.
- [3] 王肇颖, 肖敏. 白酒酒糟的综合利用及其发展前景[J]. 酿酒科技, 2004(1): 65-67, 64.
- [4] 胡伟, 陈豫. 多粮型白酒酒糟成分分析研究[J]. 食品工业科技, 2015(2): 118-120, 125.
- [5] 周小兵. 白酒酒糟发酵生产丁二酸[D]. 无锡: 江南大学, 2013.
- [6] 刘琰. 糠醛的快速检测方法及其在酿造白酒中的应用[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2013.
- [7] 曹建兰, 王晓丹, 袁颖, 等. 微生物发酵预处理固态白酒糟的研究[J]. 酿酒科技, 2013(4): 88-91.
- [8] 林奕. 白酒糟、玉米和豆粕之间组合效应及其对瘤胃发酵特性影响的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009.
- [9] 赵东, 李阳华, 向双全. 气相色谱-质谱法测定酒糟、白酒中的芳香族香味成分[J]. 酿酒科技, 2006(10): 92-94.
- [10] 程劲松. 气相色谱法测定白酒中的香味组分研究进展[J]. 酿酒科技, 2006(8): 104-107.
- [11] 李相前. 生物工程酒糟的生物技术处理——固态发酵法生产菌体蛋白和纤维素酶的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2000(1): 26-27.
- [12] 胡德全, 漆英, 余国华, 等. 酒糟饲料在肉牛生产中的应用[J]. 畜禽业, 2014(8): 44-47.
- [13] 余有贵, 曾传广, 贺建华. 白酒糟开发蛋白质饲料的研究进展[J]. 中国饲料, 2007(1): 12-15.
- [14] 王晓力. 白酒糟生产高蛋白饲料研究进展及前景[J]. 中兽医医药杂志, 2013(6).
- [15] 李建, 叶翔. 酒糟综合利用多元化研究[J]. 中国酿造, 2013, 32(12): 121-124.
- [16] 吕军, 文庭池, 郭坤亮, 等. 酒糟生物有机肥和微生物菌剂对土壤微生物数量及高粱产量的影响[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(4): 502-506.

和尽可能降低新陈代谢并维持其正常生理是食用菌保鲜的原则。目前双孢菇的主要保鲜方法有低温保鲜、辐射保鲜、电磁处理保鲜、化学保鲜及气调保鲜^[3]。为延长其货架期并有利于流通运输,需使用合适的包装。目前,市场上常用的气调包装材料有乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)、低密度聚乙烯(LDPE)和聚丙烯(PP),具有良好的加工性能、透明度和力学性能。但是使用这些材料也有一定缺陷,一方面这些材料是不可降解的,大量使用会造成严重的环境污染;另一方面,这些材料的CO₂/O₂的选择透过性无法满足包装袋内果蔬的呼吸,容易造成无氧呼吸所导致的酒精中毒等现象。如刚采收的双孢菇在PVC包装中保持2~6 h就会在密封包装内形成厌氧环境,所以对双孢菇的保鲜只能达4~6 d^[4-6]。前期研究通过在PCL中添加PPC改性并运用于双孢菇的保鲜,试验表明,PPC的加入明显改善PCL的阻隔性能和力学性能,适宜的CO₂/O₂的选择透过性将双孢菇的贮藏期延长至21 d,并保持良好的营养价值和白度值^[7]。

自发气调包装(EMAP)指在贮藏过程中,无需任何人为操作,完全通过薄膜对气体的选择透过性和果蔬呼吸调节包装内的气体组分,最终达到动态平衡,保持包装内稳定而适宜的气氛^[8],不但可有效地抑制果蔬的生理代谢,延缓衰老,而且操作便捷且保鲜效果显著,在延长货架期的同时,较大程度地保留风味和营养物质^[9]。

当前环境污染严重,可降解材料炙手可热。聚对苯二甲酸-己二酸-1,4-丁二醇酯薄膜(PBAT)是一种新型的完全生物可降解材料,使用PBAT可对抗白色污染,且拥有较好的延展性和断裂伸长率^[10],但其成膜后有较高的韧性和黏性,易相互间粘连,对使用造成影响,有必要对其进行改性。聚己内酯(PCL)具有良好的生物相容性和生物降解性,结晶性低和低玻璃化转变温度,较好的溶剂溶解性,较好的透湿性和对二氧化碳和氧气的高透气性,较好的力学性能^[11-12],一般通过与其他材料共混改性使用。

试验基于气调保鲜的条件下对双孢菇进行保鲜研究,通过在PBAT中加入PCL,共混改性,王羽等研究表明,当PBAT与PCL在质量比7:3混合时,共混薄膜的屈服强度最大且二氧化碳透过系数/氧气透过系数(CDP/OP)=8:1^[13],说明薄膜具有良好的抗屈服能力和适当的阻隔性、气体选择透过性。试验通过改变包装袋内双孢菇质量(分别为80,120和160 g)与无任何处理的空白组进行对比,验证共混薄膜对双孢菇的保藏性能,并优选最佳保藏条件,实现延长货架期的目的。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

*通讯作者;基金项目:内蒙古自治区科技创新引导奖励基金项目(2016),国家自然科学基金项目(21564012)

双孢菇:内蒙古自治区包头市九原区阿嘎如泰生态园,当天采摘后于4℃预冷2 h后包装;PCL($M_n \approx 8 \times 10^4$):深圳光华伟业股份有限公司;PBAT($M_n \approx 1.7 \times 10^5$):杭州鑫富科技有限公司。

1.2 仪器与设备

PPT-3/SJ2-20-250型双螺杆挤出流延拉伸机组(广州市普同实验分析仪器有限公司);Permatran-w3/61透湿仪(美国MOCON公司);6600顶空气体分析仪(英国Systech Instruments公司);CR-20色差仪(美国Konica Minolta公司);SC-3610型低速离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司);UV-2450型紫外分光光度计(日本岛津公司)。

1.3 方法

1.3.1 PBAT/PCL共混薄膜的制备

将PCL与PBAT母料干燥后以一定比例进行混合,通过双螺杆挤出机挤出成膜,得到20 μm厚度的PBAT/PCL共混薄膜,简记为“20 μm”。

1.3.2 氧气透过性能测试

参考GB/T 19789—2005氧气透过性的测试。先将共混薄膜取样,取2个平行样,有效面积为5 cm²的圆形样品,并在有效面积内测其厚度取6个点,求出厚度平均值。将温度设为23℃,RH 80%,从仪器直接得到共混薄膜的氧气透过率(OTR)。氧气透过量用来评价薄膜的氧气阻隔性,由于测试样品的厚度存在差异,试验采用氧气透过系数对材料的氧气透过性进行评估^[14]。计算氧气透过系数:

$$OP = OTR \times D / \Delta P \quad (1)$$

式中:OP为氧气透过系数,cm³·m/(m²·d·Pa);OTR为氧气透过率,cm³/(m²·d);ΔP为薄膜两侧氧气压差,Pa,为101 325 Pa;D为薄膜平均厚度,m。

1.3.3 水蒸汽透过性能测试

参考GB/T 26253—2010水蒸气阻隔性的测试。将共混薄膜取6个平行样,在有效面积1 cm²内测其厚度取6个点,求出厚度平均值。将温度设为23℃,RH 80%,预热平衡1 h后可测得共混薄膜的水蒸汽透过率(WVTR)。水蒸汽透过量用来评估薄膜的水蒸汽阻隔性,由于测试样品的厚度存在差异,试验采用水蒸汽透过系数对材料的水蒸汽透过性进行评估^[14]。计算水蒸汽透过系数:

$$WVP = WVTR \times D / \Delta P \quad (2)$$

式中:WVP为水蒸汽透过系数,g·m/(m²·s·Pa);WVTR为水蒸汽透过率,g/m²·d;D为薄膜的厚度(平均厚度),m;ΔP为薄膜两侧的水蒸汽蒸气压差,Pa。

1.3.4 双孢菇的预处理及气调包装的制备

将成熟期的双孢菇带根采摘,放入冰箱预冷2 h后,去根包装。包装袋制成长25 cm×20 cm。在袋中分别放入80,120和160 g的双孢菇(当袋中为

160 g时, 包装袋装满双孢菇), 分别简记为PBAT/PCL80, PBAT/PCL120和PBAT/PCL160。袋中为自然空气, 包装袋不膨胀, 不塌陷。将包装置于4 ℃, RH 80%的冷藏柜中进行保藏, 分别在规定时间内进行取样测试, 以双孢菇腐败作为贮藏终点。

1.3.5 包装内气体组分的测定

利用顶空气体分析仪测定包装内的CO₂和O₂浓度, 每组分别做2个平行样。

1.3.6 感官评价

参照石启龙等^[15]的研究, 由10名经过培训的评价员对贮藏期间的冷鲜肉进行感官评分, 具体评分标准见表1。取10人的综合评分的平均值作为最终结果。

表1 感官评分标准

颜色	开伞程度	异味	质地	评分/分
洁白	无开伞	无	饱满富有弹性	8.1~10
轻微颜色改变	柄部开始开伞	稍有异味	稍软, 略有弹性	6.1~8
稍有褐变	10%~25%开伞	异味略重	开始腐烂, 无弹性, 表面微黏	4.1~6
褐变明显	25%~50%开伞	异味明显	变软, 未烂, 表面略黏	2.1~4
褐变严重	50%以上开伞	异味严重	严重软烂, 表面很黏	0~2

注: 评分小于6分, 即为失去商业价值

1.3.7 失重率的测定

样品的失重率测定采用称重法。使用精密电子天平称重, 计算公式为:

$$\text{失重率} = \frac{(\text{初始质量 (g)} - \text{测试当天质量 (g)})}{\text{初始质量 (g)}} \times 100\% \quad (3)$$

1.3.8 果实硬度测定

使用GY-2型果实硬度计对双孢菇进行硬度测试。每次随机在包装袋内抽取平行样3个, 每颗果实不同部位取3个点测定硬度, 取平均值。

1.3.9 白度值(L*)测定

使用色差仪对双孢菇进行白度值的测定。L*表示亮(+)暗(-)轴色度。每次随机抽取3个双孢菇样品, 分别测定表面及切面白度值, 重复测定取平均值。

1.3.10 呼吸强度的测定

将0.1 mol/L NaOH 20 mL于培养皿内, 将培养皿放入呼吸塔底层, 将果实放入呼吸塔内, 盖子封口, 果实呼吸的CO₂自然下沉, 与NaOH接触生成Na₂CO₃, 放入4 ℃冷藏柜30 min后, 将培养皿内溶液转移到三角瓶内, 分别加入0.5 mL饱和BaCl₂和2滴酚酞指示剂, 用0.2 mol/L的草酸滴定, 直至粉红色消失且30 s内不变色为终点。计算公式为:

$$\text{呼吸强度} = (V_1 - V_2) \times C \times 22 / (m \times t) \quad (4)$$

式中: C为草酸溶液物质的量浓度, mol/L; V₁为空白滴定中草酸溶液用量, mL; V₂为测定中草酸溶液用量, mL; m为果蔬质量, kg; t为测定时间, h; 22为测定中NaOH与CO₂的质量转化数。

1.3.11 可溶性蛋白含量的测定

采用考马斯亮蓝G-250染色法。随机在不同部位称取2.5 g新鲜双孢菇, 用适量蒸馏水研成匀浆, 定容到50 mL, 3 000 r/min离心10 min, 记录上清液体积, 低温保存。在试管内加入1 mL上清液和5 mL考马斯亮蓝溶液, 摇匀后静置2 min, 提取3 mL于595 nm波长处比色。根据吸光度, 在标曲上计算蛋白质含量。

$$\text{可溶性蛋白质含量} = M_1 \times V / (V_s \times M \times 1\,000) \quad (5)$$

式中: M₁为从标准曲线中查得的蛋白质质量, μg; V为样品提取液总体积, mL; V_s为测定时样品提取液体积, mL; M为样品质量, g。

1.3.12 多酚氧化酶活性测定

依据周向军的方法并稍作修改^[16]。随机在不同部位称取10 g果肉, 加入提前预冷的0.1 mol/L的磷酸盐缓冲液(pH 6.8), 匀浆过滤, 在5 000 r/min离心10 min, 记录上清液体积。2 mL 0.1 mol/L的磷酸盐缓冲液(pH 6.8), 0.5 mL 0.1 mol/L的邻苯二酚和0.5 mL酶液于410 nm处测定吸光度变化。以60 s内吸光度变化0.001为1个酶活力单位(U), 以曲线的直线部分作为时间函数来计算酶活(U/g)。

$$\text{PPO活性} = V_1 \times K / (0.001 V_2 \times W) \quad (6)$$

式中: V₁为提取酶液总体积, mL; K为直线部分的斜率; V₂为测定时酶液体积, mL; W为样品鲜重, g。

1.4 数据分析

采用SPSS软件对试验数据进行统计和分析。p < 0.05代表数据之间差异性显著。

2 结果与分析

2.1 PBAT/PCL共混薄膜的阻隔性

表2 PBAT/PCL共混薄膜的阻隔性

指标	测定值
厚度/μm	20 ± 0.63
OTR/g · (m ² · d) ⁻¹	874.50 ± 27
OP/10 ⁻⁷ cm ³ · m · (m ² · d · Pa) ⁻¹	1.69 ± 0.10
CDTR/cm ³ · (m ² · d) ⁻¹	70 518 ± 318
CDP/10 ⁻⁷ cm ³ · m · (m ² · d · Pa) ⁻¹	13.69 ± 0.64
CDP/OP	8.10
WVTR/g · (m ² · d) ⁻¹	2 477.60 ± 318.80
WVP/10 ⁻⁷ g · m · (m ² · d · Pa) ⁻¹	162.20 ± 1.89

保鲜膜适宜的阻隔性不但可以抑制果蔬呼吸, 控制水分不散失, 还可与果蔬呼吸共同调节包装袋内适宜的气体组分。表2是PBAT/PCL共混薄膜的阻隔性能, 从表中可以看出, 薄膜厚度均匀, 总体在20 μm浮动, 相较于厚膜起到节约成本的作用。此膜具有较大的OTR值, 由于双孢菇呼吸旺盛, 包装袋内氧气消耗快, 较大的氧气透过率, 可以有效地调节包装内的氧气浓度, 防止果蔬进行无氧呼吸, 酒精中毒等危害

自身组织及细胞。王羽等研究表明,当PBAT与PCL在质量比7:3混合时,共混薄膜的屈服强度最大且CDP/OP=8.1,较多文献表明CDP/OP在8~10,适合双孢菇包装^[13, 17-18]。果蔬呼吸和蒸腾作用释放大量的水蒸汽,较好的透湿性可有效散发不必要的水分,防止结露现象导致果蔬腐烂和微生物滋生等现象^[17, 19]。

2.2 包装内气体组分的变化

自发气调包装是一种不经任何人工操作而达到稳定状态的气调包装形式,依靠果蔬的呼吸作用、薄膜的透气性和贮藏环境之间的动态平衡关系,可迅速建立起维持果蔬微弱有氧呼吸所要求的气调环境^[20],与其他贮藏技术相比具有投资少、操作简便、效果好的特点。图1和图2是果蔬包装内气体组分变化,从图1中可以看出,空气中的氧气含量是20.9%,二氧化碳含量是0.03%,在包装条件下,由于果蔬呼吸,会形成一个高CO₂低O₂的气氛条件。在包装后的第1天,由于双孢菇呼吸旺盛,包装组的CO₂浓度迅速增高,最高达7%,而在第3天, PBAT/PCL80与其他2组比较有一个快速降低过程,而PBAT/PCL120与PBAT/PCL160在第7天降至4%左右,随着贮藏的推移并维持在3%的浓度范围内,相较于PBAT/PCL80,其余2组的CO₂含量高是由于包装袋内双孢菇的质量多,放出更多的CO₂。LOPE-BRIONES等研究表明,二氧化碳浓度达2.5%有益于保持双孢菇的白度,而当二氧化碳浓度高于5%时可促进保藏期间双孢菇的变色^[21]。而试验中,二氧化碳浓度在3%左右,符合LOPE-BRIONES的结论,从而保持双孢菇良好的色泽和感官。从图2中看出, PBAT/PCL80的氧气平稳保持在0.6%左右,而PBAT/PCL120与PBAT/PCL160的氧气在包装后的第1天,迅速下降到0.5%,并在之后的保藏期内稳定在0.4%,避免无氧呼吸而引起的酒精中毒等逆境现象。这是由于双孢菇呼吸旺盛,包装后呼吸抑制且较稳定,而外界大气压与袋内的分压差不断地将O₂渗入包装袋内,进入的O₂又再次利用直至腐败,而质量少的消耗O₂的速度慢,所以O₂含量高。

2.3 感官评分的变化

表3和图3是双孢菇贮藏过程中感官评分的变化。可以看出,空白组在贮藏的第1天,可能由于轻度失水导致感官相较于包装组略有下降,但是保持在8.5左右,到了第3天,感官品质较包装组而言有了较明显的变化,主要是由于失水导致的表面萎蔫和开伞,及与空气直接接触的氧化褐变,到了第5天,则腐败加重,失去商业价值和食用价值。反观包装组, PBAT/PCL120在包装的第5~第7天,差异不显著($p>0.05$),直到第14天,由于自身代谢程度快慢而导致其品质下降快慢而腐败,这因为包装材料合理的气体选择透过性和包装袋内双孢菇呼吸强弱程度不同,在抑制其呼吸代谢的前提下,形成不同的气氛范围,从

而维持良好的感官和营养价值。

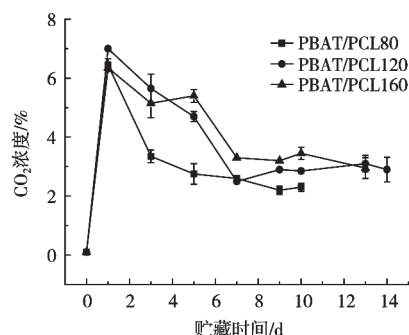


图1 贮藏过程中CO₂浓度的变化

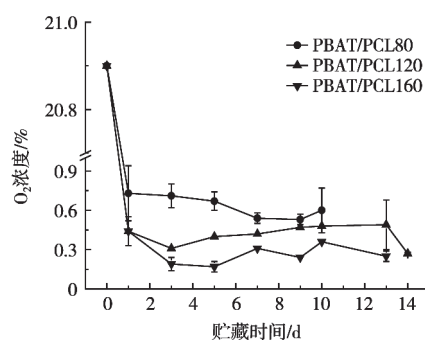


图2 贮藏过程中O₂浓度的变化

表3 感官评分的变化

贮藏时间/d	CK	PBAT/PCL80	PBAT/PCL120	PBAT/PCL160
0	10 ^{Aa}	10 ^{Aa}	10 ^{Aa}	10 ^{Aa}
1	8.57 ± 0.23 ^{Bb}	9.46 ± 0.29 ^{Ab}	9.38 ± 0.23 ^{Ab}	9.41 ± 0.26 ^{Ab}
3	7.06 ± 0.43 ^{Cc}	8.76 ± 0.21 ^{Bc}	9.02 ± 0.3 ^{Ac}	9.12 ± 0.16 ^{Ac}
5	6.06 ± 0.31 ^{Cd}	8.19 ± 0.19 ^{Bd}	8.73 ± 0.17 ^{Ac}	8.6 ± 0.28 ^{Ad}
7		7.58 ± 0.27 ^{Cc}	8.52 ± 0.19 ^{Ad}	8.07 ± 0.22 ^{Bc}
9		7.25 ± 0.25 ^{Bf}	7.84 ± 0.45 ^{Af}	7.4 ± 0.41 ^{Bf}
10		6.33 ± 0.33 ^{Bg}	7.5 ± 0.43 ^{Ag}	7.2 ± 0.59 ^{Af}
13			7.24 ± 0.41 ^{Ah}	6.09 ± 0.39 ^{Bg}
14			5.86 ± 0.59 ^{Ai}	

注: 不同大写字母代表同行的均值差异性显著 ($p<0.05$); 不同小写字母代表同列的均值差异性显著 ($p<0.05$)

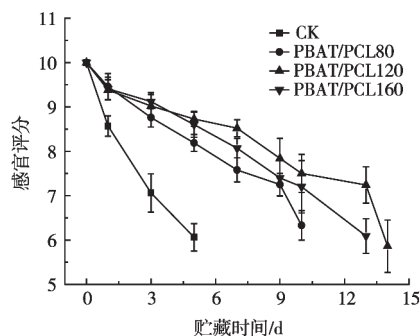


图3 贮藏过程中感官评分变化

2.4 失重率的变化

贮藏过程中的失重主要由失水和代谢引起,双孢菇组织细嫩且含水量高,达90%,水分的散失会使子实体质量减轻,鲜度下降、代谢紊乱,导致腐败变质^[22]。图4是双孢菇贮藏过程中失重率的变化,从图中可以看出,空白组在包装后的第1天与包装组差别不大,失重在2%~4%。而在第3天,空白组的失重有了较大增加,达8%以上,而反观包装组则与之前没有太大变化;空白组在第5天失重已超出10%,由于失水较多而代谢失调,导致腐败变质,而包装组失水在4%左右;PBAT/PCL80、PBAT/PCL120和PBAT/PCL160分别在第10,13和14天达10%以上,相较于空白组,将持水能力提高2倍以上,其中PBAT/PCL80由于袋中质量相对较少呼吸释放更多的水蒸气而失重较快。这说明薄膜的应用可有效抑制果蔬呼吸和蒸腾作用,从而减少由于呼吸引起的失水及代谢问题,保持果蔬在一定时间内的持水性及新鲜度^[23],从而保持良好的商业价值。

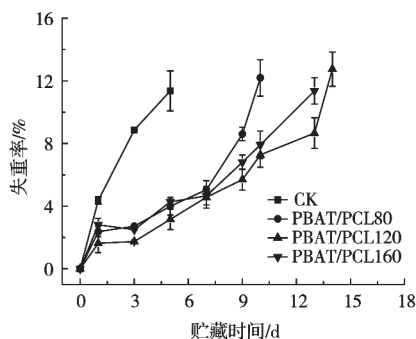


图4 贮藏过程中失重率变化

2.5 硬度的变化

果蔬硬度的变化是成熟转向衰老的特征之一。图5是贮藏中硬度的变化,从图中可以看出,包装后的第1天,由于有一定程度的失水,整体硬度有一个增高的趋势,这是由于失水导致组织紧致,表面变硬,且采摘后的后熟过程也是硬度增大的原因之一。而在第3天空白组的硬度达到最高,约13 MPa,而包装组保持在9~11 MPa范围内;空白组在第5天硬度下降,说明内部软腐,组织软化,而PBAT/PCL80、PBAT/PCL120和PBAT/PCL160分别在第5~第9天达硬度最大值,而PBAT/PCL120由于适宜的气体组分而延缓硬度突变,保证双孢菇的质量,说明包装可有效延缓果实老化,保持其硬度。因为随着贮藏时间的延长,果实衰老导致硬度下降,一方面,其内部可产生大量的果胶酶和纤维素酶,当这类酶的活性增强时,硬度降低,果实软化,从而导致腐败变质^[24-25];另一方面,植物衰老时,由于自由基代谢失调,组织内生成大量丙二醛,对植物细胞造成伤害,导致组织软化,硬度

下降^[26]。说明共混薄膜可有效地保持双孢菇的硬度,延缓其组织衰老导致的软化。

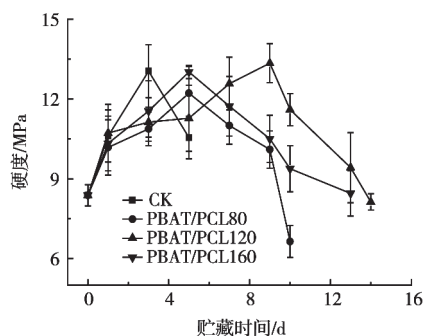


图5 贮藏过程中硬度变化

2.6 白度值 (L^*) 的变化

双孢菇在贮藏过程中会由白色转变为褐色或黑色,这种变化是因为其子实体会发生酶促褐变,会造成其感官下降,降低消费者购买欲望,进而失去商业价值^[27]。图6是双孢菇在贮藏过程中的白度值变化,从图中可以看出,保鲜的前3 d,空白组与包装组的白度值均保持在较高水平(87以上),说明双孢菇具有良好的色泽。在包装的第5天,空白组的白度值迅速降低,褐变严重,而包装组的白度值保持在85以上,具有良好的色泽,可将色泽保持10 d,包装组在整个过程中白度值下降均匀缓慢,直到包装后期细胞膜破损,多酚氧化酶的急剧增多而导致白度值下降,其中PBAT/PCL120和PBAT/PCL160由于接近适宜的气体组分(3% CO_2 和1% O_2),而有效延迟褐变。这与多酚氧化酶活性的变化规律一致,说明共混薄膜可以有效地抑制褐变的发生,保持果蔬良好的色泽。

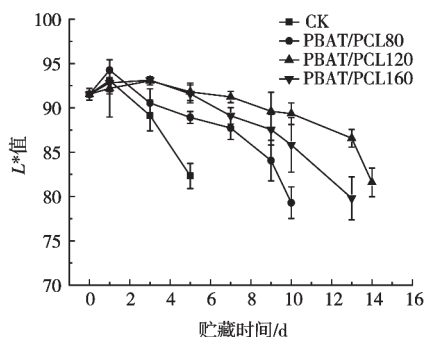


图6 贮藏过程中白度值 (L^*) 变化

2.7 呼吸强度的变化

影响果蔬呼吸强度的内在因素有,果蔬的类型、品种及成熟度。外在因素包括,温度、包装材料和包装气体成分等。其中,李霞等研究低温和高 CO_2 低 O_2 的气氛条件,可有效抑制呼吸,延缓呼吸高峰的出现^[28]。图7是呼吸强度随贮藏时间的变化,从图中可

以看出,空白组的呼吸强度一直增大,在第3天达到顶峰,随后呼吸减弱,这是由于空白组的双孢菇裸露在外部环境,并没有受到抑制,而随着机体衰老后,呼吸减弱。包装组整体有一个呼吸强度下降的趋势,并在保持一个稳定期后出现呼吸高峰,且呼吸高峰相对于空白组有明显的滞后现象,随着贮藏时间的延长,呼吸强度又会减弱^[29]。说明在包装后,袋子内形成一个高CO₂低O₂的气氛条件,而袋中质量越多,产生更多的CO₂,包装内分气压改变,进而O₂减少,从而抑制呼吸,所以PBAT/PCL160呼吸强度弱,呼吸高峰延迟出现,之后双孢菇机体衰老,呼吸强度减弱^[30]。综上证明,共混薄膜可以有效抑制呼吸,延迟呼吸高峰,达到延缓衰老,延长货架期的目的。

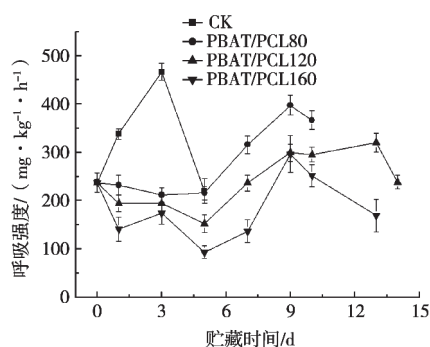


图7 贮藏过程中呼吸强度变化

2.8 可溶性蛋白含量的变化

可溶性蛋白是重要的渗透调节物质和营养物质,它们的增加和积累能提高细胞的保水能力,对细胞的生命物质及生物膜起到保护作用^[31]。图8是可溶性蛋白随贮藏时间的变化,从图中可以看出,空白组在采摘后的第1天,其可溶性蛋白含量与包装组并无差异。而在第3天,空白组可溶性蛋白含量有一个较大的飞跃,这是由于可溶性蛋白是水溶性蛋白,一方面,随着贮藏时间的增加,失水导致其相对浓度增高;另一方面,为了维持细胞渗透压,提高细胞持水能力,植物本身也会产生一定量的可溶性蛋白,从而起到保护作用^[32]。而包装组在前5 d,可溶性蛋白含量保持在一个稳定状态,而在第7天有一个较大的提升,PBAT/PCL120和PBAT/PCL160由于包装有较好的持水性,可保持并延缓其含量的变化,在第7~10天含量保持平稳,并在其后的贮藏中缓慢下降,这说明薄膜在贮藏前期可以有效保持果蔬的含水量,还可使果蔬的渗透压保持较长时间,维持其正常的新陈代谢和各项功能正常运作,并保持较高的营养价值。

2.9 多酚氧化酶活性的变化

多酚氧化酶是催化酚类物质褐变的主要因素,由多酚氧化酶催化氧化酚类物质变为醌类物质,再进一步生产褐色素,使双孢菇菌褶及表面呈现褐色或黑

色,引起腐败变质,使感官品质下降,失去商品价值^[33]。图9是贮藏期间多酚氧化酶活性的变化,从图中可以看出,空白组在采摘后的第2天,其多酚氧化酶活性较采摘当天翻了1倍,而在第5天多酚氧化酶活性急剧上升,是之前的3倍;反观包装组,在包装后的7 d,多酚氧化酶活性和采摘当天并无太大波动,在之后的贮藏过程中,有一个较为快速的上升趋势,在第10天达活性高峰,其活性在3 500 U/g以上,这与杨春敏^[34]的研究结果一致,其中PBAT/PCL120和PBAT/PCL160由于CO₂在3%左右^[21],起到抑制酶活保证色泽的作用,同时试验多酚氧化酶活性正好与白度值呈负相关关系。空白组由于没有任何处理,直接接触空气中的氧气,导致其活性增高,加快了酶促反应的进行,致使双孢菇快速褐变,而包装组不仅可营造一个高CO₂低O₂的气氛条件,还可抑制其新陈代谢,产生少量的多酚氧化酶并抑制其活性,在保证商品价值的同时,达到良好的护色效果。

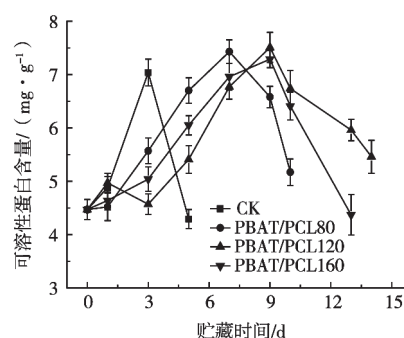


图8 贮藏过程中可溶性蛋白含量变化

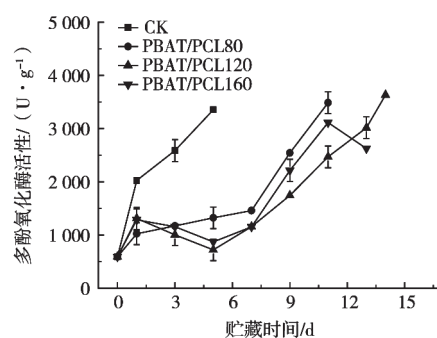


图9 贮藏过程中多酚氧化酶活性变化

3 结论

可降解材料经共混改性后制成的薄膜,不仅可有效抑制双孢菇呼吸,还具有良好的透气性。在PBAT/PCL薄膜包装条件下,良好的透湿性可防止包装发生结露现象,并稳定处于高CO₂低O₂的气氛条件(3% CO₂和0.6% O₂),有效防止褐变的发生,保证双孢菇的食用价值和商品价值,贮藏期相较空白可延长2倍

多,达到延长货架期的目的。证明可降解自发气调包装对双孢菇的保鲜是一种绿色高效的手段。

参考文献:

- [1] 张明春,郭丽娟.双孢菇保鲜研究[J].食品科学,1997,18(12):56-58.
- [2] BRENNAN M, LE P 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.
- [3] 常明昌.食用菌栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [4] 王步江.包装方式对双孢菇货架期品质和生理的影响[J].食品科技,2012(8):57-61.
- [5] 张洪军,潘艳娟,王建清.大蒜/肉桂精油复配PE膜对双孢菇的保鲜研究[J].包装与食品机械,2015,33(4):21-25.
- [6] 潘艳娟,王建清,王猛.气调与精油等包装技术联合应用对双孢菇品质的影响[J].包装工程,2015(9):33-37.
- [7] 梁敏.改性PCL自发气调保鲜膜对双孢菇的保鲜效果[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [8] 李家政.果蔬自发气调包装原理与应用[J].包装工程,2011(15):33-38.
- [9] 曹菲.果蔬自发气调包装薄膜透气性能的研究与应用[J].湖南工业大学学报,2009,23(4):99-101.
- [10] 王勋林,吴胜先.PPC/PBAT共混复合材料性能的研究[J].塑料科技,2012,40(10):70-73.
- [11] 宋晓骥.PBT/ ϵ -CL共混物的性能[J].塑料,2010,39(5):34-37.
- [12] 肖森,杨其,蔡盛梅,等.PCL增韧PLA共混材料的制备与性能研究[J].塑料工业,2010,38(6):15-18.
- [13] 王羽.适用于圣女果的自发气调保鲜膜制备及保鲜效果的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [14] 董同力嘎,王爽爽,孙文秀,等.多层复合聚乳酸薄膜的阻隔性和力学性能[J].高分子材料科学与工程,2015,31(8):177-181.
- [15] 石启龙,王相友,王娟,等.包装材料对双孢蘑菇贮藏保鲜效果的影响[J].食品科学,2005,26(6):253-256.
- [16] 周向军,高义霞,刘龙娟.双孢菇多酚氧化酶的特性和抑制研究[J].中国酿造,2010,29(10):120-123.
- [17] 章建浩.生鲜食品贮藏保鲜包装技术[M].北京:化学工业出版社,2009.
- [18] MANGARAJ S, GOSWAMI T K, MAHAJAN P V. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: A review[J]. Food Engineering Reviews, 2009, 1(2): 133-158.
- [19] ACOSTA M N, ERCOLI D R, GOIZUETA G S, et al. Blends of PP/PE co-octene for modified atmosphere packaging applications[J]. Packaging Technology & Science, 2011, 24(24): 223-235.
- [20] 李霞,王相友,王娟.双孢蘑菇主动气调包装试验[J].农业机械学报,2009,40(9):131-137.
- [21] LOPEZ-BRIONES G, VAROQUAUX P, BUREAU G, et al. Modified atmosphere packaging of common mushroom[J]. International Journal of Food Science & Technology, 1993, 28(1): 57-68.
- [22] 许英超.双孢蘑菇气调保鲜机理的研究[D].淄博:山东理工大学,2006.
- [23] MASOUD T, AOIFE G, PATRICK W, et al. Use of hyperspectral imaging for evaluation of the shelf-life of fresh white button mushrooms (*Agaricus bisporus*) stored in different packaging films[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(3): 423-431.
- [24] 倪焱,马紫英,夏斌,等.巨大口蘑和双孢蘑菇采后生理特性的比较研究[J].食品工业科技,2014,35(24):317-321.
- [25] GUILLAUME C, SCHWAB I, GASTALDI E, et al. Biobased packaging for improving preservation of fresh common mushrooms (*Agaricus bisporus* L)[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 690-696.
- [26] 朱利君,苏智先,胡进耀,等.珍稀濒危植物珙桐过氧化物酶活性和丙二醛含量[J].生态学杂志,2009,28(3):451-455.
- [27] ÂNGELA FERNANDES, ANTONIO A L, BARREIRA J C M, et al. Effects of gamma irradiation on physical parameters of *Lactarius deliciosus*, wild edible mushrooms[J]. Postharvest Biology & Technology, 2012, 74(3): 79-84.
- [28] 李霞.双孢蘑菇气调包装呼吸速率模型与品质变化试验研究[D].淄博:山东理工大学,2009.
- [29] ANTMANN G, ARES G, LEMA P, et al. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms[J]. Postharvest Biology & Technology, 2008, 49(1): 164-170.
- [30] BEIT H I, MANNHEIM C H. Modified atmosphere packaging of fresh mushrooms[J]. Packaging Technology & Science, 2006, 4(5): 279-286.
- [31] KIM Y I, CHO W M, HONG S K, et al. Yield, nutrient characteristics, ruminal solubility and degradability of spent mushroom (*Agaricus bisporus*) substrates for ruminants[J]. Asian Australasian Journal of Animal Sciences, 2011, 24(11): 33-51.
- [32] 李静媛,焦自高,于贤昌,等.低温锻炼对胡杨愈伤组织抗寒性、可溶性蛋白、脯氨酸含量及抗氧化酶活性的影响[J].山东农业科学,2007(3):50-52.
- [33] MONTERO P, MARTÍNEZ-ÁLVAREZ O, ZAMORANO J P, et al. Melanosis inhibition and 4-hexylresorcinol residual levels in deepwater pink shrimp (*Parapenaeus longirostris*) following various treatments[J]. European Food Research and Technology, 2006, 223(1): 16-21.
- [34] 杨春敏.巨大口蘑和双孢蘑菇贮藏期间多酚氧化酶与褐变度的研究[J].才智,2012(27):360-361.