DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2019.07.031

PBAT/EVOH 气调薄膜对香菇的保鲜效果评价

Evaluation on preservation of *Lentinus edodes* by PBAT/EVOH modified atmosphere film

王莉梅[1,2] 扈宁轩[1] 张 靳[1] 刘孟禹[1]

WANG Li-mei[1,2] *HU Ning-xuan*[1] *ZHANG Jin*[1] *LIU Meng-yu*[1]

陆 浩[1] 胡 健[1] 董同力嘎[1]

LU Hao[1] *HU Jian*[1] *DONG Tungalag*[1]

(1. 内蒙古农业大学食品科学与工程学院,内蒙古 呼和浩特 010018;
2. 内蒙古自治区农牧业科学院,内蒙古 呼和浩特 010031)

(1. *College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia* 010018, *China*; 2. *Inner Mongolia Academy of Agricultural & Animal Husbandry Sciences, Hohhot, Inner Mongolia* 010031, *China*)

摘要:以未包装的香菇为对照,探讨添加不同质量分数(0%和 10%)的乙烯—乙烯醇共聚物(EVOH)的聚己二酸—对苯二甲酸丁二酯(PBAT)/EVOH 薄膜对香菇保鲜效果的影响。贮藏条件为温度 4 ℃,相对湿度 90%,贮藏期间测定包装内气体组分和香菇相关理化指标。结果表明,PBAT/10% EVOH 薄膜能使包装环境形成低氧高二氧化碳的气体环境,较好地维持香菇感官品质,保持较高的色泽、硬度和 V_C 含量。贮藏 14 d 仍保持较高的感官品质和营养品质。

关键词:香菇;保鲜;聚己二酸—对苯二甲酸丁二酯;乙烯—乙烯醇共聚物;共混

Abstract: In order to study preservation effects of blend modified atmosphere film to harvested *Lentinus edodes*, compared with unpacked ones, discussed the preservation effect of PBAT/ EVOH blend films in which added different mass fractions of EVOH (0%, 10%) to *Lentinus edodes*. The gas composition of *Lentinus edodes*' in packaging bag and physical indexes were measured, which stored at 4 ℃ and in humidity of 90%. The results demonstrated that PBAT/10% EVOH blend film could make the packaging environment in a low oxygen and high carbon dioxide status, effectively maintain the sensory quality, such as the color, hardness and vitamin C, in storage period. The sensor and nutrient quality of *Lentinus edodes* were good after 14 d storage.

Keywords: *Lentinus edodes*; preservation; PBAT; EVOH; blend

香菇是中国传统的食用菌,因其营养丰富,味道鲜美,被视为"菇中之王",而且含有麦角甾醇、香菇素和香菇多糖等生物活性成分[1]。新鲜香菇由于风味独特,需求量日益增大。然而,由于新鲜香菇较高的含水量,特有脆弱的表面组织,在其贮藏、运输过程中易受到机械损伤;此外,由于香菇旺盛的呼吸和蒸腾作用,常温下贮藏 2~3 d就会出现褐变、开伞、腐败等问题,严重影响了香菇的商品品质[2],各类保鲜技术在延长香菇商品货架期起着至关重要的作用。

许多科研工作者对食用菌的保鲜工艺进行了大量研究。李艳杰等[1]研究发现 1-MCP 处理较壳聚糖处理对于保持香菇的感官品质、防止褐变、抑制酶活性及提高抗氧化能力有更明显的作用,其中 1 μL/L 1-MCP 处理的香菇保鲜效果为各处理组中最好。周冉冉等[3]研究低剂量 $^{60}Co\gamma$ 射线辐照处理对鲜香菇保鲜效果的影响,发现 1 kGy的照射剂量显著延迟 4~8 d,延缓果实体软化和褐变的发生。在贮藏过程中,1 kGy 照射剂量可以控制抗氧化系统中酶活性的降低,减少纤维素和几丁质的积累,并抑制蘑菇的老化。曾丽萍等[4]研究探讨了添加不同质量分数 0%,1%,2%,3%纳米 TiO_2 的 PLA/TiO_2 纳米复合膜对香菇保鲜效果的影响。发现 PLA/TiO_2 纳米复合膜能更好地维持香菇贮藏期间的感官品质,抑制呼吸强度,

基金项目:内蒙古自治区草原英才滚动支持项目(编号:2017);内蒙古自治区科技创新引导奖励资金项目(编号:2016)
作者简介:王莉梅,女,内蒙古农业大学在读博士研究生。
通信作者:董同力嘎(1972—),男,内蒙古农业大学教授,博士。E-mail:dongtlg@163.com
收稿日期:2019-03-29

减缓水分流失,维持较高 V_C 及还原糖含量。纳米 TiO_2 添加量与香菇的保鲜效果呈正比,其中 3% PLA/TiO_2 纳米复合膜对香菇的保鲜效果最佳。

自发气调包装(equilibrium modified atmosphere packaging,EMAP)优势是无需充入特定气体,只需选用具有一定气体阻隔性的薄膜制成密封包装,利用包装材料的气体选择透过性与果蔬呼吸速率之间的相互作用自行调节气体贮藏环境[5-7]。气调包装是一种较经济和有效的保鲜手段,近年来在果蔬保鲜方面的研究越来越多。聚己二酸-对苯二甲酸丁二酯(PBAT)是生物可降解材料,具有优异的韧性(断裂伸长率>500%)[8],其力学性能与低密度聚乙烯(PE)相媲美,具有广泛的应用前景。王志洲等[9]研究了 PBAT/聚己内酯(PCL)共混薄膜对双孢菇保鲜效果的影响,发现 PBAT/PCL 30%(PCL 添加比例)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体组分,可有效抑制双孢菇褐变,维持其良好的感官和营养价值,有效延长贮藏期达到空白组的 2 倍。乙烯—乙烯醇共聚物(EVOH)与尼龙(PA)、聚偏二氯乙烯(PVDC)共称为三大高阻隔材料,由 20%~40%乙烯基和 60%~80%乙烯醇基链段组成,具有优异的阻气、阻油性能,是一种可完全水解的聚合物[10-11]。前期研究[12]通过将 EVOH 添加入 PBAT 中进行共混,表明 10% EVOH 添加比例的共混薄膜不仅能保持 PBAT 的断裂伸长率,还增大了薄膜的杨氏模量,改善了 PBAT 极易变曲变形现象,EVOH 的添加显著提高了薄膜的阻隔性能,纯 PBAT 薄膜的氧气透过系数(测试条件:23 ℃,0% RH)和水蒸气透过系数(测试条件:23 ℃,65% RH)分别为 3.37×10^{-7} cm³ · m/(m² · d · Pa)、4.01×10^{-7} g · m/(m² · d · Pa),添加 10%的 EVOH 后共混薄膜的氧气透过系数和水蒸气透过系数分别为 2.42×10^{-7} cm³ · m/(m² · d · Pa)和 3.01×10^{-7} g · m/(m² · d · Pa),分别降低了 34.94%和 24.43%。

关于共混薄膜在食用菌保鲜方面的研究报道较多,但未发现将高阻隔性材料 EVOH 应用于食用菌保鲜中的报道,且相关食用菌保鲜研究[4,13]较多限于对食用菌保鲜相关理化指标的分析,对其包装环境内气体组成的探讨较缺乏。本研究以添加不同质量分数(0%和 10%)EVOH 的 PBAT/EVOH 共混膜为气调保鲜材料,以未包装的香菇为对照,研究在低温贮藏条件下 PBAT/EVOH 共混膜对新鲜香菇品质的影响,为 PBAT/EVOH 共混膜在延长香菇货架期的应用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　材料与仪器

香菇:购于内蒙古呼和浩特市东瓦窑蔬菜批发市场,挑选当天采摘、菇体完整,大小均一、无机械损伤的香菇,购买后迅速运回实验室,4 ℃冷藏条件下预冷;

聚乙烯 PE:M_n 约为 1.0×10^5,(20±5) μm,东莞市樟木头龙城塑料经营部;

PBAT:M_n 约为 1.7×10^5,杭州鑫富科技有限公司;

EVOH:E151 型,日本可乐丽集团;

其他化学试剂:均为分析纯;

顶空气体分析仪:6600 型,英国 Systech Instruments 公司;

色差仪:CR-20 型,美国 Konica Minolta 公司;

低速离心机:SC-3610 型,安徽中科中佳科学仪器有限公司;

紫外分光光度计:UV-2450 型,日本岛津公司;

电子天平:JA-5003B 型,海精天电子仪器有限公司;

立式冷藏柜:SC-300 型,青岛海尔特种电冰柜有限公司;

多功能薄膜封口机:DBF-900 型,温州市鼎力包装机械制造有限公司;

双螺杆挤出流延拉伸机组:PPT-3/SJ2-20-250 型,广州市普同实验分析仪器有限公司。

1.2　方法

1.2.1　PBAT/10% EVOH 共混薄膜的制备　参照文献[12]。

1.2.2　香菇的预处理及气调包装的制备　将 PE、PBAT 和 PBAT/10% EVOH 薄膜制成 25 cm×20 cm 规格包装袋。在袋内放入(60±5) g 的预冷香菇,无任何包装为对照组,包装组依次命名为 PE 组、PBAT 组、PBAT/10% EVOH 组。贮藏条件 4 ℃,90% RH,间隔 2 d 从每处理组取 3 个包装袋样品进行相关分析,以香菇无商品价值作为试验终点。

1.2.3　包装内气体组分的测定　使用顶空气体分析仪直接测定包装内的气体成分,每组分别设置 3 个平行样。

1.2.4　感官评价　参照石启龙等[14]的方法进行部分修改,感官评定是需要男女比例为 1∶1 的共 8 名食品专业学生依据表 1 对贮藏期间香菇进行感官评分,感官评分标准见表 1。

1.2.5　失重率的测定　采用称重法,失重率按式(1)计算:

$$失重率=\frac{初始质量-测试当天质量}{初始质量}\times100\%。\quad(1)$$

1.2.6　硬度的测定　采用 GY-2 型硬度计进行测试。随机从各包装袋内各抽取 3 个平行样,取菌盖部位 3 个点测定硬度,取平均值。

1.2.7　白度值(L^*)测定　使用色差仪测定。随机从各包装袋内各抽取 3 个平行样从菌盖不同位置进行测定,取平均值。

1.2.8　V_C 的测定　采用紫外分光光度法[15]。

表 1　香菇感官评分标准

Table 1　Sensory assessment criteria of *Lentinus edodes*

颜色	开伞程度	异味	质地	评分
菌褶白色,菌盖黄褐色	无开伞	味道正常	饱满有弹性	8.1～10.0
颜色稍微改变,菌盖颜色加深	柄部开始开伞	稍有异味	稍微柔软有弹性	6.1～8.0
稍有褐变	10%～25%开伞	有微酸味	开始腐烂无弹性	4.1～6.0
褐变明显	25%～50%开伞	有轻微霉腐味	表面微黏	2.1～4.0
褐变严重	50%以上开伞	异味严重	黏度大	0.0～2.0

1.3　数据分析

采用 Excel 2007 软件对数据进行初步整理,用 SPSS 20.0 软件进行统计分析,采用单因子方差(One-Way analysis of variance)分析进行差异显著性检验,并采用邓肯氏(Duncan's)法进行多重比较,结果均以(平均值±标准偏差)的形式表示。

2　结果与分析

2.1　包装内气体组分的变化

利用气调包装的方式,适当提高贮藏环境中 CO_2 浓度并降低 O_2 浓度可以有效抑制果蔬的呼吸作用。包装起始气体浓度同空气中的 O_2 含量 20.90%,CO_2 含量 0.03%。香菇是一种呼吸速率较高的菌类,其呼吸消耗 O_2 的同时产生 CO_2,图 1、2 为贮藏期间气体变化规律。在贮藏后的第 2 天,香菇由于呼吸强度较高,各包装组的 CO_2 浓度迅速增高,最高可达 4.00%。在第 4 天,各包装组 CO_2 浓度均有一个降低的过程,PE 组和 PBAT 组能降到 3.20%左右,PBAT/10% EVOH 组能降到 2.60%左右,并随着贮藏的推移维持在此浓度范围内。Lopebriones 等[16]研究表明,CO_2 浓度在 2.50%左右有益于保持双孢菇的色泽,而当 CO_2 浓度高于 5%时可促进保藏期间双孢菇的变色。且研究[17]表明,香菇对高 CO_2 浓度的敏感性高于其他食用菌。而本试验中,PBAT/10% EVOH 组 CO_2 浓度在保持菇体色泽范围(2.50%～5.00%)内。

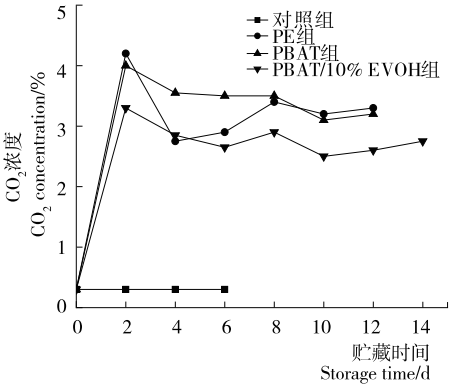

图 1　香菇贮藏期间 CO_2 浓度的变化

Figure 1　Changes in the CO_2 value of *Lentinus edodes* during storage

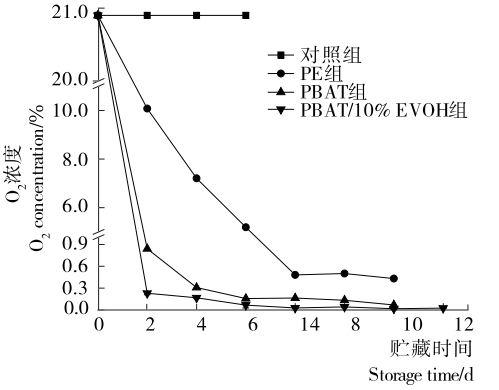

图 2　香菇贮藏期间 O_2 浓度的变化

Figure 2　Changes in the O_2 value of *Lentinus edodes* during storage

从图 2 中看出,PE 组的 O_2 浓度缓慢降低,并在第 8 天之后平稳保持在 0.60%左右。而 PBAT 组和 PBAT/10% EVOH 组的 O_2 在包装后的第 2 天,迅速降低为 1.00%以下,PBAT 组从第 4 天开始平稳保持在 0.15%左右,而 PBAT/10% EVOH 组平稳保持在 0.02%左右。较低的 O_2 浓度减缓了菇体生理代谢活动,使呼吸减慢。由于 PBAT/10% EVOH 薄膜优异的氧气阻隔性能,使 PBAT/10% EVOH 组在避免无氧呼吸的前提下,较好地降低了香菇的呼吸速率。

2.2　感官评分的变化

图 3 为香菇贮藏过程中感官评分的变化。可以看出,空白组在贮藏期间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,贮藏第 6 天,干瘪加重,感官评分降到 2.91 分,失去商业价值和食用价值。反观包装组,各包装组在第 4～10 天感官评分均无显著差异($P>0.05$)。由图 4 可以看出,在 12 d PE 组由于严重的结露现象,开始变软,产生异味,菌盖出现水浸斑点和霉斑,感官评分降低为 5.09 分,显著低于其他两组($P<0.05$)。相比较于 PBAT 组,PBAT/10% EVOH 组由于包装材料的气体选择透过性较低,从而影响了香菇自身呼吸代谢程度,菇体依然呈黄褐色,菌盖保持良好的弹

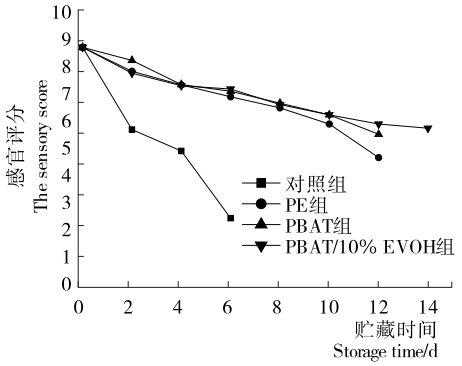

图 3　香菇贮藏期间感官评分的变化

Figure 3　Changes in sensory evaluation of *Lentinus edodes* during storage

图 4　贮藏第 14 天时各组香菇外观及切面图

Figure 4　The pictures of appearance and section of *Lentinus edodes* on 14th day

性。贮藏至 14 d 时较好地维持了良好的感官品质。

2.3　失重率的变化

香菇含水量极高,能达到 90%以上。在贮藏过程中,香菇的失重主要包括蒸腾作用引起的水分流失、呼吸作用形成 CO_2 和有机物的损失[18]。从图 5 可以看出,随着贮藏时间的延长,香菇的失重率逐渐增加,各包装组失重率显著低于对照组($P<0.05$),对照组香菇由于本身表皮薄和多孔结构加上无任何外界保护,第 6 天失重率能达到 30%以上,失去商品价值。PBAT 组和 PBAT/10% EVOH 组失重率随着贮藏期的延长逐渐增加,贮藏 6～12 d 时,显著高于 PE 组($P<0.05$),此现象归于 PE 包装材料较优的水蒸气阻隔性能,这也是其发生结露,后续品质严重变坏的主要原因。在贮藏期间 PBAT 组和 PBAT/10% EVOH 组之间失重率均无显著性差异($P>0.05$)。尽管 PBAT/10% EVOH 薄膜的 WVP 低于 PBAT 的 WVP,是由于 EVOH 的结构中存在羟基使其具有亲水性和吸湿性。当湿度条件较高时,水蒸气的阻隔性能会受到影响[19]。Antmann 等[20]研究表明,香菇失重率超过 10%,失去商品价值。PBAT 组和 PBAT/10% EVOH 组失重率在贮藏期内均保持在 10%以下,均在可接受范围内。

2.4　硬度的变化

如图 6 所示,随着贮藏的延长,对照组香菇硬度第

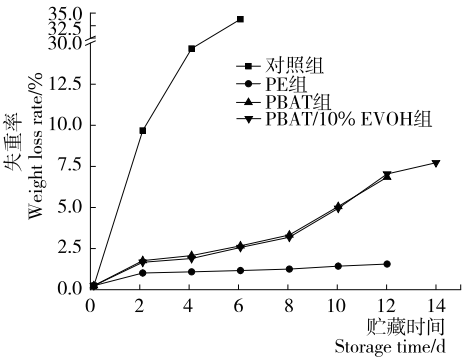

图 5　香菇贮藏期间失重率的变化

Figure 5　Changes in weight loss rate of *Lentinus edodes* during storage

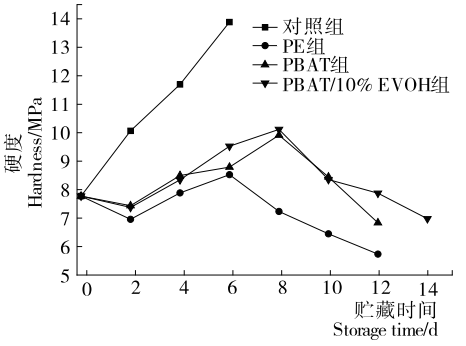

图 6　香菇贮藏期间硬度的变化

Figure 6　Changes in hardness of *Lentinus edodes* during storage

6 天时由 7.9 MPa 升高至 13.9 MPa,主要是由于其较高的失重率导致的干瘪。各包装组硬度均呈先上升后降低的趋势,硬度先上升的原因可能是一定程度的失水导致其表面变硬和采收后的后熟生理变化;后续变软是由细菌对细胞壁的降解以及内源性自溶素的活性增加导致的[21]。在贮藏 2～6 d 时,各包装组之间硬度均无显著性差异($P>0.05$)。从第 8 天开始 PE 组硬度显著低于其他两组($P<0.05$),PE 薄膜有较优的水蒸气阻隔性能,故导致包装袋内较高的湿度,形成结露现象,发生腐烂组织软化,从而降低硬度。到贮藏期第 12 天,PE、PBAT、PBAT/10% EVOH 组硬度下降率依次为 25.31%,11.64%,9.87%。PBAT/10% EVOH 组的硬度较其他两组硬度大($P<0.05$)。在贮藏期内 PBAT/10% EVOH 组香菇可以保持较高的硬度。

2.5　L^* 值的变化

采摘后的香菇生物体仍在进行活跃的生理代谢活动,食用菌的褐变是由于酚类化合物的氧化、多酚氧化酶(PPO)的作用以及细菌和霉菌对食用菌组织的作用导致的[22]。由图 7 可以看出,随着贮藏时间的延长,L^* 值不

断降低，对照组 L^* 值相比包装组较低（$P<0.05$）。在贮藏后期 PBAT/10% EVOH 组的 L^* 值高于 PBAT 组和 PE 组（$P<0.05$），说明其褐变程度较其他包装组小。分析原因是由于霉菌为好氧性真菌，PBAT/10% EVOH 组形成的低氧环境抑制了霉菌的生长，从而降低了其对食用菌组织的作用，图 4 中各包装组香菇的外观也说明了这一点，PE 组和 PBAT 组在贮藏后期菌盖部分出现霉斑，而 PBAT/10% EVOH 组菌盖外观良好。

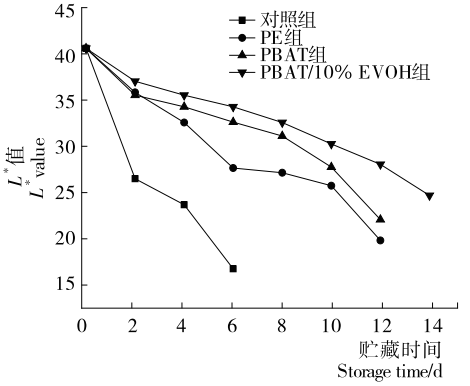

图 7　香菇贮藏期间 L^* 值的变化

Figure 7　Changes in L^* value of *Lentinus edodes* during storage

2.6　V_C 的变化

V_C 是一种水溶性维生素，作为一种高活性物质，具有抗氧化性，可以清除体内自由基，参与许多新陈代谢过程[23]。如图 8 所示，在 4 ℃条件下，随着贮藏时间的延长，香菇 V_C 含量呈现下降的趋势。对照组尤为明显，第 6 天 V_C 含量降低了 58.72%，显著低于各包装组（$P<0.05$）。在贮藏的 12 d，PE、PBAT、PBAT/10% EVOH 组的 V_C 含量分别为 16.02，19.34，30.03 mg/100 g，相比第 0 天分别降低了 67.28%，60.50%，38.67%。PBAT/10%EVOH 组 V_C 含量显著高于其他两组（$P<0.05$），Techavuthipon 等[24]研究表明，呼吸作用也引起 V_C 含量下降，与图 1 中气体的变化规律相符，PBAT/10% EVOH 组由于包装环境内较低的氧气浓度，较好地减缓了生理代谢活动，故相比其他组更好地保持了香菇中的 V_C 含量。

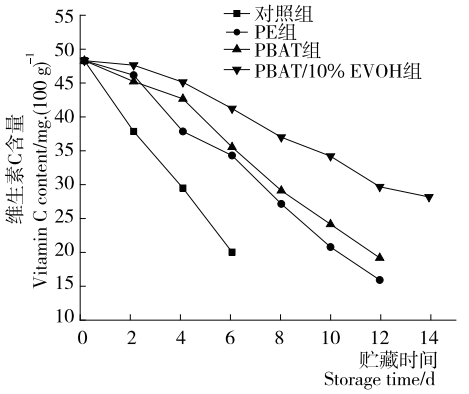

图 8　贮藏期间香菇 V_C 含量的变化

Figure 8　Changes in vitamin C of *Lentinus edodes* during storage

3　结论

本试验探讨了添加 EVOH 的 PBAT/EVOH 共混薄膜在香菇保鲜上的可行性，添加 10%（质量分数）EVOH 的 PBAT/EVOH 共混薄膜能够使包装形成低氧环境，延缓生理代谢活动，相比其他处理组能较好地保持香菇硬度、延缓 L^* 值、感官品质及 V_C 的下降，贮藏 14 d 仍保持较高的感官品质和营养品质。

关于共混薄膜体系对香菇采后保鲜机理方面还缺乏深度，后续研究可从气体组分与香菇的褐变机制、细胞壁的代谢特性等方面深入研究其保质保鲜机理。

参考文献：

[1] 李艳杰，郭玉曦，丁树东，等. 1-MCP 和壳聚糖处理对香菇采后抗氧化能力的影响[J]. 食品科技，2018，43(11)：38-44.

[2] SHRESTHA G R，MRIDHA A U. Detection and quantitation of aflatoxin for the diagnosis of aspergillus flavus[J]. Nepal Journal of Biotechnology，2015，3(1)：6-9.

[3] 周冉冉，高虹，范秀芝，等. 低剂量 $^{60}Co\gamma$ 射线辐照处理影响贮藏期鲜香菇保鲜效果[J]. 现代食品科技，2018，34(9)：190-197.

[4] 曾丽萍，樊爱萍，杨桃花，等. PLA/TiO_2 纳米复合膜对香菇保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技，2017，38(16)：225-228，246.

[5] MISTRIOTIS A，BRIASSOULIS D，GIANNOULIS A，et al. Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films[J]. Postharvest Biology and Technology，2016，111：380-389.

[6] CALEB O J，MAHAJAN P V，AL-SAID A J，et al. Modified atmosphere packaging technology of fresh and fresh-cut produce and the microbial consequences：A review[J]. Food and Bioprocess Technology，2013，6(2)：303-329.

[7] YUN Xue-yan，WANG Yu，LI Meng-ting，et al. Application of permselective poly(ε-caprolactone) film for equilibrium-modified atmosphere packaging of strawberry in cold storage[J]. Journal of Food Processing and Preservation，2017，41：1-11.

[8] 周志斌，刘跃军，崔玲娜，等. PLA/PBAT/PCL 生物降解复合材料的制备及其性能分析[J]. 功能材料，2016，47(5)：231-237.

[9] 王治洲，道日娜，徐畅，等. PBAT/PCL 可降解气调保鲜膜对双孢菇的保鲜效果[J]. 食品业，2018，39(4)：118-124.

[10] KIT K M，SCHULTZ J M，GOHIL R M. Morphology and barrier properties of oriented blends of poly(ethylene

terephalate and poly (ethylene 2, 6-naphalate) with poly (ethylene covinylac)[J]. Polymer Engineering & Science, 1995, 35(8): 680-692.

[11] LAGARÓN J M, GIMÉNEZ E, GAVARA R, et al. Study of the influence of water sorption in pure components and binary blends of high barrier ethylene vinyl alcohol copolymer and amorphous polyamide and nylon- containing ionomer[J]. Polymer, 2001, 42(23): 9 531-9 540.

[12] 王莉梅, 王治洲, 刘孟禹, 等. PBAT/EVOH 共混薄膜的制备及其包装特性[J]. 塑料科技, 2018, 46(9): 99-103.

[13] 魏丽娟. 防雾抗菌聚乙烯薄膜的制备及对生鲜香菇保鲜包装应用的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.

[14] 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.

[15] 马宏飞, 卢生有, 韩秋菊, 等. 紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素 C 的含量[J]. 化学生物工程, 2012, 29(8): 92-94.

[16] 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.

[17] ARES G, PARENTELLI C, GAMBARO A, et al Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41: 191-197.

[18] JIANG Tian-jia, LUO Sha-sha, CHEN Qiu-ping, et al. Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (Lentinus edodes)[J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 761-767.

[19] 李海红. EVOH 及高性能材料的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009: 22-24.

[20] 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.

[21] ZIVANOVIC S, BUSHER R W, KIM K S. Textural changes in mushrooms (Agaricus bisporus) associated with tissue ultrastructure and composition[J]. Journal of Food Science, 2000, 65(8): 1 404-1 408.

[22] JIANG Tian-jia, FENG Li-fang, WANG Yan-bo. Effect of alginate/nano-Ag coating on microbial and physicochemical characteristics of shiitake mushroom (Lentinus edodes) during cold storage[J]. Food Chemistry, 2013, 141(2): 954-960.

[23] 贾小丽, 韩艳, 孙艳辉, 等. 滁菊叶提取物对鲜香菇的涂膜保鲜效果研究[J]. 赤峰学院学报: 自然科学版, 2014, 30(7): 56-57.

[24] TECHAVUTHIPORN C, NAKANO K, MAEZAWA S. Prediction of ascorbic acid content in broccoli using a model equation of respiration[J]. Postharvest Biology & Technology, 2008, 47(3): 373-381.

(上接第 142 页)

(3) 本研究将 PVA 和食品防腐剂结合起来应用于普通牛皮纸制备出新型抑菌防霉包装纸,兼具安全性、环保易降解、抑菌防霉功能以及良好的机械性能和阻隔性能,可作为食品包装材料。但本试验尚有遗留的问题,后续将从以下方面进行研究:研究不同聚合度的 PVA 对抑菌防霉包装纸性能的影响;研究食品防腐剂复配作用对包装纸抑菌防霉功能的影响。

参考文献

[1] 陈基玉. 聚乙烯醇改性无纺布抗菌复合膜的制备及其对干鱼片抗菌保脆效果的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 11.

[2] 杨立颖. 高阻隔性抗氧化抗菌食品包装纸的研制[D]. 天津: 天津科技大学, 2015: 8.

[3] 侯欣宇, 王丽, 李爽, 等. 抗菌纸的研究进展[J]. 纸和造纸, 2017, 36(4): 26-29.

[4] 赵亚珠, 郝晓秀, 孟婕, 等. 抗菌食品包装纸的研究现状及发展趋势[J]. 包装工程, 2018, 39(15): 88-94.

[5] 蒋硕, 杨福馨, 张燕, 等. 改性抗菌聚乙烯醇包装薄膜的性能研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 114-117, 136.

[6] 陈基玉, 杨福馨, 魏丽娟, 等. 聚乙烯醇改性无纺布抗菌复合膜的制备及其性能研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 124-127.

[7] 丁晓彤, 杨福馨, 邱艳娜, 等. 丙酸钙改性 CP-EF 抗菌防霉薄膜的制备及性能研究[J]. 塑料工业, 2018, 46(1): 147-151.

[8] 魏丽娟, 杨福馨, 武军, 等. PGFE/BOPP 防雾薄膜的制备与性能研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(6): 185-188.

[9] HU Dong-ying, WANG Hai-xia, WANG Li-juan. Physical properties and antibacterial activity of quaternized chitosan/carboxymethyl cellulose blend films[J]. LWT-Food Sci Technol, 2016, 65: 398-405.

[10] GHASEMLOU M, KHODAIYAN F, OROMIEHIE A. Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefiran[J]. Carbohydr Polym, 2011, 84(1): 477-483.

[11] 谭才邓, 朱美娟, 杜淑霞, 等. 抑菌试验中抑菌圈法的比较研究[J]. 食品工业, 2016, 37(11): 122-125.

[12] 黄崇杏, 鲍若璐, 王磊, 等. ε-聚赖氨酸抗菌剂的制备及其在食品包装纸中的应用[J]. 包装工程, 2010, 31(21): 37-40, 44.

[13] 潘晓倩, 张顺亮, 乔晓玲, 等. 复配抑菌剂对两种腐败菌抑制效果评价[J]. 中国食物与营养, 2015, 21(9): 48-52.

[14] 邱艳娜, 杨福馨, 丁晓彤, 等. 抗菌聚乙烯薄膜的制备及性能研究[J]. 塑料工业, 2017, 45(12): 125-128, 132.