

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.06.009

# 聚乳酸-壳聚糖-茶多酚复合膜的制备及其性能<sup>\*</sup>

张蓉<sup>1</sup>,王淑瑶<sup>1</sup>,王毅豪<sup>1</sup>,兰文婷<sup>1</sup>,袁亮<sup>1</sup>,刘耀文<sup>1,2</sup>,罗晓明<sup>1,2</sup>

(1. 四川农业大学食品学院,四川雅安 625014; 2. 成都医学院公共卫生系,成都 610000)

**摘要:**为研究壳聚糖(CS)、茶多酚(TP)和聚乳酸(PLA)3种物质所得复合膜的性能效果,采用流延成膜法,制备不同CS与TP质量比的PLA-CS-TP复合膜。通过测试纯PLA膜及各复合膜的密度、力学性能、热封性能、水蒸气透过率和溶解度等指标,对比分析了复合膜的综合性能,研究其实用价值。结果表明,相比纯PLA膜,CS与TP的加入使复合膜的密度和拉伸性能明显降低,但显著提高了复合膜的热封强度、水蒸气透过率和溶解度。当CS与TP质量比为3/7时,热封强度最高,比纯PLA膜提高了245.72%;当CS与TP质量比为5/5时,水蒸气透过率最高,比纯PLA膜提高了28.59%;当CS与TP质量比为1/9时,溶解度最高,比纯PLA膜提高了758.04%。复合膜具有较好的热封性、透湿率和溶解度,在食品包装领域有较好的应用潜力,可使无花果在5℃下的保存期由2d延长至13d以上。

**关键词:**聚乳酸;壳聚糖;茶多酚;复合膜;拉伸性能;热封性能;食品包装

**中图分类号:**TQ321 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2017)06-0046-06

## Preparation and Properties of Poly(lactic acid)-Chitosan-Tea Polyphenols Composite Membrane

Zhang Rong<sup>1</sup>, Wang Shuyao<sup>1</sup>, Wang Yihao<sup>1</sup>, Lan Wenting<sup>1</sup>, Yuan Liang<sup>1</sup>, Liu Yaowen<sup>1,2</sup>, Luo Xiaoming<sup>1,2</sup>

(1. College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Yaan 625014, China;

2. Department of public health, Chengdu Medical College, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** For the study of the effects of three kinds of poly(lactic acid) (PLA), chitosan (CS) and tea polyphenols (TP) on performances of PLA-CS-TP composite membrane, the preparation of the composite membranes with different mass ratio of CS/TP were made by stretch film method. By testing density, mechanical properties, heat sealing strength, water vapor transmittance and solubility of the pure PLA membrane and composite membranes, the comprehensive performances of the composite membrane were analyzed contrastively for researching the actual use value. The results show that compared with the pure PLA membrane, adding CS and TP significantly decreases the density and tensile properties of the composite membrane, but can obviously improve the heat sealing strength, water vapor transmittance and solubility, when the mass ratio of CS/TP is 3/7, the heat sealing strength reaches highest and improves by 245.72%, when the mass ratio of CS/TP is 5/5, the water vapor transmittance is maximum and improves by 28.59%, when the mass ratio of CS/TP is 1/9, the water vapor transmittance is maximum and improves by 758.04%. The composite membrane has good heat sealing property, moisture permeability and solubility, and has good application potential in the field of food packaging, which can extend the shelf life of the figs at 5℃ from 2 d to more than 13 d.

**Keywords:** poly(lactic acid); chitosan; tea polyphenols; composite membrane; tensile property; heat sealing property; food packaging

壳聚糖(CS)是自然界中唯一一种碱性多糖,由甲壳素部分或全部脱除乙酰基后所得,具有优异的生物相容性和可降解性,无毒,成膜性好,是一种公认的具有广谱抗菌性的天然生物材料<sup>[1-2]</sup>,广泛应用于食品保鲜包装、生物医疗和化工等方面<sup>[3-5]</sup>。但单独的CS膜易受水影响,力学性能较差,使其应用有所局限。因此目前多研究CS复合材料及对其进行改性<sup>[6-7]</sup>,以符合应用要求。

茶多酚(TP)作为一种天然抑菌抗氧化物质<sup>[8]</sup>,因其本身不具成膜性,多与其它易成膜材料复合,广

泛应用在食品保鲜领域<sup>[9]</sup>。聚乳酸(PLA)是一种人工合成高分子聚合物,可完全生物降解。因其良好的生物可降解性和生物相容性广泛应用于包装<sup>[10]</sup>、医学<sup>[11]</sup>等领域。同时PLA成膜性极好,疏水性强,所成膜对水具有极好的阻隔性,但也存在脆性大、热

<sup>\*</sup> 四川省教育厅项目(16ZB0044, 15ZA0254),国家级大学生创新训练计划项目,四川省大学生创新训练计划项目(201610626007),成都医学院校基金重点项目(14Z088)

联系人:张蓉,主要研究方向为抗菌材料的制备

收稿日期:2017-03-30

稳定性差以及降解周期难控制等缺陷,使得 PLA 的应用受到较大限制。

目前关于这 3 种物质复合的材料还未见报道,主要是两两相复合以研究其性能。费燕娜等<sup>[12-13]</sup>采用静电纺丝法,制备了不同质量比的 PLA/TP 复合纳米纤维膜,发现随着 TP 含量的不断增加,复合纳米纤维膜的抗菌效果不断增强,拉伸强度呈下降趋势,同时断裂伸长率表现出先增加后减小的变化规律。J. Bonilla 等<sup>[14]</sup>采用挤压法得到 PLA/CS 复合膜,实验发现 CS 的加入未改变 PLA 的热性能,同时复合膜的水蒸气透过率提高,刚性和伸缩性降低。叶佳梅等<sup>[15]</sup>以溶液涂膜法制得了具有较好抗菌效果的尼龙 6/TP/CS 复合膜。

目前,尚未见有对 PLA-CS-TP 复合材料的研究报道,对其中两种物质所得的复合材料也多是研究其抗菌性能,对其它方面的性能研究较少。笔者采用流延成膜法制备了 PLA-CS-TP 复合膜,通过测试其密度、力学性能、热封强度、水蒸气透过率及溶解度来表征复合膜的综合性能,同时利用傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 来观察复合膜各组分之间的反应状况,为 PL-ACS-TP 复合膜的研究提供一定的实验基础。

## 1 实验部分

### 1.1 主要原材料

CS: 食品级,脱乙酰度 >95%,珠海味佳食品添加剂有限公司;

TP: 食品级,成都市双流县城东食品有限公司;

PLA: Nature Works 4032D 型,分子量 10 万,深圳光华伟业股份有限公司;

司班 80 和三氯甲烷: 分析纯,成都科龙化工试剂厂;

蒸馏水: 实验室自制。

### 1.2 主要仪器及设备

FTIR 仪: NICOLET iS10 型,苏州钧詮仪器有限公司;

厚度测试仪: ZUS-4 型,长春市月明小型试验机有限责任公司;

水蒸气透过率测试仪: PERME W3 / 031 型,济南兰光机电技术有限公司;

加热磁力搅拌器: CMS-20A 型,郑州长城科工贸贸易有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱: DRP-8801 型,苏州德瑞普烘箱制造有限公司;

电子天平: JY3002 型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;

拉力试验机: HD-B609B-S 型,海达国际仪器有限公司;

真空包装机: DZ400 / 2C 型,上海青葩包装机械有限公司。

### 1.3 试样制备

#### (1) 纯 PLA 膜的制备。

准确称取一定量 PLA 溶于三氯甲烷中,室温下进行磁力搅拌,完全溶解后配制质量浓度为 4% 的 PLA 溶液,再加入质量分数为 2% 的增塑剂司班 80 混匀后取一定量倒在玻璃板上,在 55℃ 下干燥即得纯 PLA 膜。

#### (2) PLA-CS-TP 复合膜的制备。

在已配好的浓度为 4% 的 PLA 三氯甲烷溶液中加入质量分数为 2% 的司班 80 并混合均匀,分别将 CS 与 TP 按质量比为 1/9, 3/7, 5/5, 7/3 和 9/1 称量 (CS 与 TP 总用量为 PLA 质量的 1/4), 然后加入 PLA 溶液中 (上述不同 CS/TP 质量比的复合膜试样分别记为复合膜 A, B, C, D, E), 高速搅拌 6 h 后得到复合膜液。将其倒于一定大小的玻璃板上 (保证每平方厘米复合膜液质量为 0.07 ~ 0.09 g), 采用流延成膜法, 在 55℃ 下干燥, 待溶剂挥发完全即得复合膜, 干燥条件下保存备用。

### 1.4 测试与表征

采用 FTIR 仪对膜的表面官能团进行分析, 分辨率为 4 cm<sup>-1</sup>, 扫描次数为 32 次 / s, 测量范围为 650 ~ 4000 cm<sup>-1</sup>。

将膜裁成均匀大小的试样, 采用测厚仪在试样中心及四周取 5 个点测试厚度  $d$ , 精确至 0.001 mm, 取平均值, 而后于电子天平上测其质量  $m$ , 精确至 0.000 1 g, 利用式 (1) 计算膜的密度  $\rho$ 。每种膜试样重复 3 次, 结果取平均值<sup>[16]</sup>。

$$\rho = m / (s \cdot d) \quad (1)$$

式中:  $s$ ——试样面积。

拉伸性能和断裂伸长率按 GB/T 1040.2-2006 测试, 拉伸速率为 250 mm/min。

热封强度按 GB/T 2358-1998 测试。

水蒸气透过率按 GB 1037-1988 测试。

复合膜溶解度参照文献 [16] 的方法测试。

## 2 结果与讨论

### 2.1 FTIR 分析

FTIR 谱图可反映复合膜中 3 种物质的相容情

况。图1为PLA,CS,TP及复合膜C的FTIR谱图。由图1可以看出,PLA的谱图中,2930  $\text{cm}^{-1}$ 处为—CH—不对称伸缩振动峰,1750  $\text{cm}^{-1}$ 处为C=O伸缩振动峰,1480  $\text{cm}^{-1}$ 处为—CH(CH<sub>3</sub>)的面内弯曲振动峰,1090  $\text{cm}^{-1}$ 处为—C—O—的伸缩振动峰,870,755  $\text{cm}^{-1}$ 处为—C—C—的伸缩振动峰;CS的谱图中,3300  $\text{cm}^{-1}$ 处为—OH的吸收峰,1580  $\text{cm}^{-1}$ 处为—NH<sub>3</sub>的伸缩振动吸收峰,1030  $\text{cm}^{-1}$ 处为糖苷键的吸收峰;TP的谱图中,2110  $\text{cm}^{-1}$ 处为—C≡C—的伸缩振动峰。复合膜C的谱图与PLA膜在1080~1750  $\text{cm}^{-1}$ 之间有细微差别,吸收峰在此波数范围的主要为—C=O,说明CS,TP和PLA在一定程度上发生了反应。

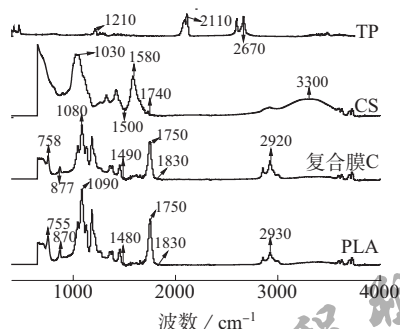
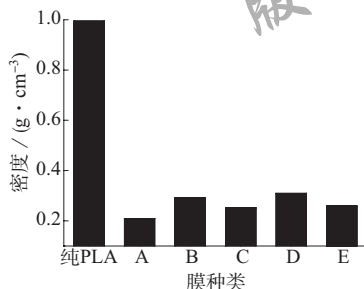


图1 PLA,CS,TP及复合膜C的FTIR谱图

## 2.2 密度测试

图2为纯PLA膜及各复合膜的密度。



CS/TP质量比: A—1/9; B—3/7; C—5/5; D—7/3; E—9/1

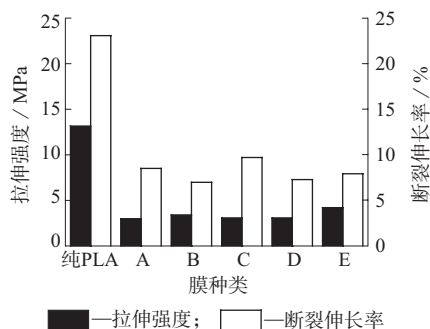
图2 纯PLA膜及各复合膜的密度

由图2可知,纯PLA膜密度最大,接近1  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,加入TP和CS后膜的密度显著下降,当CS与TP质量比为7/3时复合膜密度相对最大,为0.3094  $\text{g}/\text{cm}^3$ ,相比纯PLA膜降低了68.89%;当CS与TP质量比为1/9时复合膜密度最小,比纯PLA膜降低了78.94%。这可能是因为PLA膜质地较均匀,膜结构较紧密,因此具有较高的密度,但当加入CS与TP后,由于强力搅拌及3种物质间的反应,破坏了PLA膜原本致密的结构,使得复合膜的密度大幅下降。随CS与TP质量比变化,复合膜密

度总体呈现先升高后降低再升高再降低的趋势,但其变化不具显著差异 ( $p>0.05$ ),而其与纯PLA膜相比差异显著 ( $p<0.05$ )。

## 2.3 力学性能分析

图3为纯PLA膜及各复合膜的断裂伸长率和拉伸强度。



CS/TP质量比: A—1/9; B—3/7; C—5/5; D—7/3; E—9/1

图3 纯PLA膜及各复合膜的断裂伸长率和拉伸强度

由图3可知,复合膜的断裂伸长率与拉伸强度均远低于纯PLA膜,差异显著 ( $p<0.05$ )。复合膜的断裂伸长率随CS与TP质量比变化表现出先降后升再降再升的变化规律,其中,当CS与TP质量比为5/5时达到相对极大值10.09%,比纯PLA膜降低了57.92%。原因是CS与TP两种亲水性物质的加入,与PLA极强的疏水性存在一定的溶解问题,实验中所使用溶剂为PLA的良溶剂,而CS,TP在其中的溶解度较低,而在三者的混合过程中,高速磁力搅拌使部分TP小分子链段进入PLA大分子链中,破坏PLA原来的结构而使得其脆性增加,结合力减弱,在拉伸过程中,因为TP小分子链段的作用而使得复合膜拉伸性能降低,较易断裂。同时因为PLA与CS的相容性较差,通过流延成膜法得到的复合膜,CS因吸附作用成颗粒状均匀分布在复合膜中,大大减弱了PLA大分子间的结合力,使断裂伸长率下降。此外,因增塑剂司班80为棕黄色液体,有脂肪气味,添加量过多会使复合膜带有颜色且气味重,因此复合膜中司班80质量分数较少,仅为2%,未能起到提高复合膜韧性的作用。

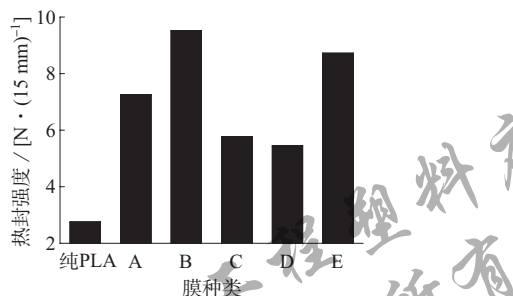
另外,由图3可看出,当CS与TP质量比为3/7和7/3,1/9和9/1时,复合膜断裂伸长率十分接近,分别为8.85%和8.23%,7.25%和7.57%,而CS与TP质量比为5/5时达到最大值,表明当CS与TP的质量比越接近1时,复合膜的断裂伸长率越高。

复合膜的拉伸强度随CS与TP质量比变化表

现出先升后降再升的变化趋势,但总体变化不大( $p>0.05$ ),当 CS 与 TP 质量比为 9/1 时达到相对最大值 4.354 MPa,相比纯 PLA 膜降低了 68.02%。究其原因是 CS 与 PLA 相容性较差,同时 TP 作为小分子物质,在复合膜液流延成膜时,与 CS 和 PLA 在一定程度上发生了分子间的相互作用,从而改变复合膜的分子链状结构,这可能会使复合膜的拉伸强度降低。但根据文献[16]的指标,复合膜仍可作为果蔬保鲜膜应用在保鲜包装盒中。

#### 2.4 热封强度分析

热封强度是复合包装材料各项综合性能的反映,是评价包装材料质量重要的指标之一。热封强度越好,表示材料承受外力的能力越强,保护内容物的能力也越强。图 4 为纯 PLA 膜及各复合膜的热封强度。



CS/TP 质量比: A—1/9; B—3/7; C—5/5; D—7/3; E—9/1

图4 纯 PLA 膜及各复合膜的热封强度

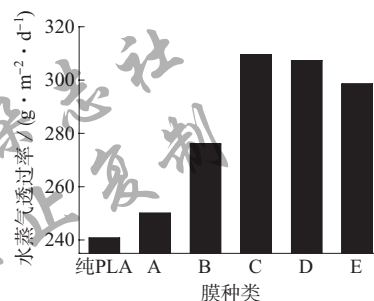
由图 4 可知,复合膜的热封强度随 CS 与 TP 质量比变化总体呈现先升后降再升的趋势,且均高于纯 PLA 膜( $p<0.05$ )。纯 PLA 膜热封强度仅为 2.750 N/15 mm,而当 CS 与 TP 质量比为 3/7 时,复合膜热封强度相对最高,可达到 9.5084 N/15 mm,当 CS 与 TP 质量比为 7/3 时,热封强度相对最低,为 5.4424 N/15 mm,分别比纯 PLA 膜提高了 245.72% 和 97.88%。原因是 PLA 膜表面光滑平整,在热力作用下,封口部位处于熔融状态,分子间作用力低,热封强度低;实验组因为加入 CS 与 TP 后,复合膜表面表现出均匀分布的细小颗粒状物质,在相同的热封温度、压力和热封时间下,复合膜在热封时表现出较大的结合力,从而使得其热封强度远高于 PLA 膜。

另外,可以发现不同 CS 与 TP 质量比对复合膜热封强度影响较大,随着 CS 含量增加,复合膜热封强度逐渐增大,当 CS 与 TP 质量比为 3/7 时达到最大,而后随着 CS 含量增加热封强度下降,但当 CS 含量最大时热封强度又增大。原因可能是 CS

高分子链中含有较多的—OH 和—NH<sub>2</sub>,熔点较低,从而使复合膜加热时较易熔融,热封时热封部位呈黏流状态,高聚物分子间在热力和压力作用下相互渗透、缠绕,分子间发生相互作用紧密结合从而使热封强度增大。复合膜良好的热封性能使其制袋较为容易,为其在保鲜包装盒的应用提供了可能性。

#### 2.5 水蒸气透过率分析

水蒸气透过率的高低反映了复合膜阻水性能的高低。一般来说,食品用保鲜包装膜应具有较好的阻水性,阻止食品水分的散失。但因果蔬呼吸作用产生水蒸气凝结在复合膜内时,易使细菌增殖,加快果蔬腐败,因此,应结合果蔬的呼吸特性选择水蒸气透过率相符的复合膜。图 5 为纯 PLA 膜及各复合膜的水蒸气透过率。



CS/TP 质量比: A—1/9; B—3/7; C—5/5; D—7/3; E—9/1

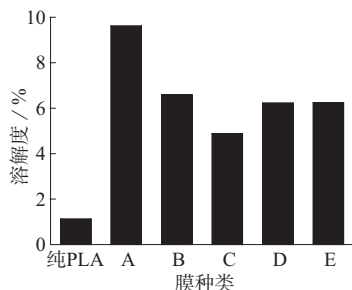
图5 纯 PLA 膜及各复合膜的水蒸气透过率

由图 5 可知,复合膜的水蒸气透过率随 CS 与 TP 质量比变化总体呈现先升后降的趋势,均高于纯 PLA 膜( $p<0.05$ ),当 CS 与 TP 质量比为 5/5 时,水蒸气透过率相对最高,达 309.53 g/(m<sup>2</sup>·d),比纯 PLA 膜提高 28.59%。这是因为 CS 与 TP 均为亲水性物质,与 PLA 复合后可在一定程度上与其发生反应,改变 PLA 原本的分子结构,增强其对水分子的渗透能力,使复合膜水蒸气透过率有所提升。CS 中含许多—OH,易与水分子形成氢键,吸水性强,故复合膜水蒸气透过率随着 CS 含量增加也随之增强。由于 TP 中也含有大量的亲水基团,可在很大程度上吸收水分,故随着 CS 含量进一步增加,TP 含量减少幅度较大,可能会导致水蒸气透过率有所下降,当 CS 与 TP 质量比为 1/9 时,复合膜中水蒸气透过率最低为 250.07 g/(m<sup>2</sup>·d),相比纯 PLA 膜仅提高了 3.89%。

#### 2.6 溶解度分析

溶解度是评定复合膜作为食品包装膜的重要性能之一。一定的溶解度可在一定程度上增强食品包装膜的保鲜效果,当其中的功能性成分极少地溶

出时,可更好地发挥其抑菌抗氧化能力,提高食品货架期。图6为纯PLA膜及各复合膜的溶解度。



CS/TP 质量比: A—1/9; B—3/7; C—5/5; D—7/3; E—9/1

图6 纯PLA膜及各复合膜的溶解度

由图6知,复合膜的溶解度随CS与TP质量比变化呈先降后升的趋势,但相比纯PLA膜有显著提高( $P<0.05$ )。复合膜溶解度最低为4.88%,相比纯PLA膜提高了335.7%,当CS与TP质量比为1/9时溶解度达到相对最高,为9.61%,相比纯PLA膜提高了758.04%。其原因是CS与TP均为亲水性物质,在水中会有部分溶出;而PLA为疏水性物质,在水中几乎不溶解但有轻微溶胀。同时,前期随着CS含量增加复合膜溶解度呈下降趋势,当CS与TP质量比为5/5时复合膜溶解度最低,之后随着CS含量的增加复合膜溶解度略有上升,但变化不大,原因是TP易溶于水,而CS具有一定的保水能力且在水中的溶解量有限,因此当TP含量较高即CS含量较低时复合膜溶解度高。此外,复合膜溶解度高低从侧面反映了复合膜的自由基清除率的高低,因为复合膜溶出的功能性成分TP为天然抑菌抗氧化物质,抗氧化能力极强,是维生素C的5~10倍,在用量少的情况下具有较高的抗氧化作用,并且可与CS产生协同作用,从而延长食品货架期。

## 2.7 应用实验

无花果具有多种营养价值和药用价值,但因其皮薄多汁,成熟期正值高温季节,通常1~2 d即腐烂。将复合膜应用在威远波姬红无花果保鲜实验中,采用热封法将无花果包裹在复合膜A中作为实验组,纯PLA膜包裹的为对照组,不做任何处理的为空白组,均置于5℃下保存,每隔一天测试无花果的质量损失率和可滴定酸损失率等指标来表征复合膜对无花果的保鲜效果。通过对比分析发现,相比空白组,对照组与实验组均能在一定程度上延长无花果的保存期:空白组从第3 d起即出现皱缩,在第7 d质量损失率即高达20%;对照组在第13 d时质量损失率为15.63%,相比空白组降低了57.24%;

而实验组在第13 d时的质量损失率仅为8.65%,相比对照组降低了44.66%,同时其可滴定酸损失率(0.4%)相比空白组(1.05%)降低了61.63%,相比对照组(0.68%)降低了41.18%。综合各项实验指标发现,复合膜A能很好地保持无花果的品质,可使无花果在5℃下保存13 d以上。

分析原因可能是:①在无花果贮藏保鲜中抗氧化极为重要,无花果本身含有的维生素C具有一定的抗氧化性,在贮藏期间若没有抗氧化性物质的存在,会被不断消耗以清除果实内自由基,导致其含量急剧下降从而影响果实品质。而TP兼有抑菌和抗氧化两重功效,最突出的是抗氧化性,可清除果实中自由基,减少维生素C的消耗,延缓果实的衰老,保证果实的品质与风味,TP含量高时抗氧化作用较强。②TP抗菌性稍逊于CS,但两者复合之后抑菌范围有所增大,在无花果保鲜贮藏期间能更有效地阻止微生物侵袭,保证无花果的质量。

## 3 结论

(1)通过FTIR谱图发现,复合膜与PLA膜的谱图存在细微的差异,说明组成复合膜的3种主要物质在一定程度上发生了反应。

(2)CS与TP的加入使复合膜的密度和力学性能显著降低,但使热封强度、水蒸气透过率和溶解度明显提高。当CS与TP质量比为3/7时,热封强度最高,比纯PLA膜提高了245.72%;当CS与TP质量比为5/5时,水蒸气透过率最高,比纯PLA膜提高了28.59%;当CS与TP质量比为1/9时,溶解度最高,比纯PLA膜提高了758.04%。

(3)复合膜具有较好的保鲜作用,将其应用在无花果的保鲜实验中发现,复合膜A可使无花果在5℃下的保存期由2 d延长至13 d。

## 参考文献

- [1] Kingkaew J, Kirdponpattara S. Effect of molecular weight of chitosan on antimicrobial properties and tissue compatibility of chitosan-impregnated bacterial cellulose films[J]. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2014, 19(3):534-544.
- [2] Kong Ming, Chen Xiguang, Xing Ke, et al. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2010, 144(1):51-63.
- [3] Demitris C, Benedictis V M D, Madaghiele M, et al. Nanostructured active chitosan-based films for food packaging applications: Effect of graphene stacks on mechanical properties[J]. *Measurement*, 2016, 90(4):418-423.
- [4] Azeredo H M C, Mattoso L H C, Avena-Bustillos R J, et al.

- Nanocellulose reinforced chitosan composite films as affected by nanofiller loading and plasticizer content[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(1):N1-N7.
- [5] Elsabee M Z, Abdou E S. Chitosan based edible films and coatings: A review[J]. Materials Science & Engineering C Materials for Biological Applications, 2013, 33(4):1 819-1 841.
- [6] Salehi E, Daraei P, Shamsabadi A A. A review on chitosan-based adsorptive membranes[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 152(21):419-432.
- [7] Rafique A, Zia K M, Zuber M, et al. Chitosan functionalized poly(vinyl alcohol) for prospects biomedical and industrial applications: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 87(6):141-154.
- [8] Siripatrawan U, Harte B R. Physical properties and antioxidant activity of an active film from chitosan incorporated with green tea extract[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(8):248-252.
- [9] Dicastillo C L D, Castro-López M D M, López-Vilariño J M. Immobilization of green tea extract on polypropylene films to control the antioxidant activity in food packaging[J]. Food Research International, 2013, 53(1):522-528.
- [10] Qin Yuyue, Liu Dong, Wu Yan, et al. Effect of PLA / PCL / cinnamaldehyde antimicrobial packaging on physicochemical and microbial quality of button mushroom (*Agaricus bisporus*) [J]. Postharvest Biology & Technology, 2015, 99(3):73-79.
- [11] Kuang Tairong, Chen Feng, Chang Lingqian, et al. Facile preparation of open-cellular porous poly (L-lactic acid) scaffold by supercritical carbon dioxide foaming for potential tissue engineering applications[J]. Chemical Engineering Journal, 2016, 307(1):1 017-1 025.
- [12] 费燕娜, 高卫东, 王鸿博, 等. 聚乳酸 / 茶多酚复合纳米纤维膜制备及力学性能研究 [J]. 化工新型材料, 2013, 41(9):154-156.
- Fei Yanna, Gao Weidong, Wang Hongbo, et al. Preparation and mechanical performance of PLA / TP composite nanofiber films[J]. New Chemical Materials, 2013, 41(9):154-156.
- [13] 费燕娜, 高卫东, 王鸿博, 等. 聚乳酸 / 茶多酚复合纳米纤维膜的抗菌机制及性能 [J]. 纺织学报, 2013, 34(8):6-11.
- Fei Yanna, Gao Weidong, Wang Hongbo, et al. Antibacterial mechanism and performance of PLA / TP composed nanofiber membrane[J]. Journal of Textile Research, 2013, 34(8):6-11.
- [14] Bonilla J, Fortunati E, Vargas M, et al. Effects of chitosan on the physicochemical and antimicrobial properties of PLA films[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 119(2):236-243.
- [15] 叶佳梅, 崔夏雯, 钱伟, 等. 茶多酚 / 壳聚糖-尼龙 6 复合薄膜的制备及抗菌性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2012(11):162-165.
- Ye Jiamei, Cui Xiawen, Qian Wei, et al. Fabrication of tea polphenol / chitosan-nylon-6 composite membrane and their antibacterial properties[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2012(11):162-165.
- [16] 王丽岩. 壳聚糖基活性包装膜的性能及其在食品贮藏中的应用的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2013.
- Wang Liyan. Studies on performance of chitosan based activity packaging films and applications in food storage[D]. Changchun: Jilin University, 2013.

## 欢迎订阅 2017 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊 / 光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国合成树脂供销协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2017 年定价 15 元 / 期, 全年 180 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获多项省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2017 年定价 15 元 / 期, 全年 90 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号 (1973 年) 至 2016 年底共 44 卷 326 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号 (1992 年) 至 2016 年底

共 25 卷 115 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元; 《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 250 元。

### 邮局汇款:

收款地址: 济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位: 《工程塑料应用》杂志社

邮编: 250031

电话: (0531)85878223 85878057 85878278

传真: (0531)85947355

### 银行汇款:

户 名: 山东非金属材料研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

账 号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>