

# 纳米银-聚乙烯复合薄膜的制备及表征

薄艳娜<sup>1</sup>, 林勤保<sup>1</sup>, 苏启枝<sup>1</sup>, 张明<sup>1</sup>, 钟怀宁<sup>2</sup>, 李丹<sup>2</sup>

(1.暨南大学 包装工程研究所, 珠海 519070;

2.广东出入境检验检疫局 检验检疫技术中心, 广州 510623)

**摘要:** 目的 探究以熔融共混方式制备的纳米银复合膜的性能。方法 采取熔融共混, 吹塑成膜方式制备含不同添加剂的纳米银-聚乙烯复合包装薄膜。使用扫描电镜表征纳米银粉末和纳米银-聚乙烯复合膜内银的粒径大小, 并用傅里叶变换红外光谱对复合膜的化学键进行表征。探究纳米银以熔融共混的方式复合到聚乙烯内后, 对薄膜颜色、透光性、氧气透过率、水蒸气透过率的影响。结果 纳米银粉末和复合膜内的银均含不同粒径, 纳米银的加入未产生明显的新化学键, 薄膜的透光率降低了 3.9%~12.2%, 氧气透过率提高了  $6.56\sim117.17 \text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot(0.1 \text{ MPa}))$ , 水蒸气透过率提高了  $0.038\sim1.791 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。结论 以熔融共混方式制备的纳米银-聚乙烯复合膜透光率下降, 氧气透过率和水蒸气透过率得到提高, 未形成明显的新化学键。

**关键词:** 纳米银; 复合膜; 扫描电镜; 红外光谱; 透光性; 氧气透过率; 水蒸气透过率

中图分类号: TB484.3; TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2017)19-0008-06

## Preparation and Characterization of Nanosilver-Polyethylene Composite Films

BO Yan-na<sup>1</sup>, LIN Qin-bao<sup>1</sup>, SU Qi-zhi<sup>1</sup>, ZHANG Ming<sup>1</sup>, ZHONG Huai-ning<sup>2</sup>, LI Dan<sup>2</sup>

(1.Institute of Packaging Engineering, Jinan University, Zhuhai 519070, China; 2.Inspection and Quarantine Technology Center, Guangdong Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Guangzhou 510623, China)

**ABSTRACT:** The work aims to study the properties of nano-silver composite films prepared by melt blending. Nanosilver-polyethylene composite packaging films with different additives were prepared by melt blending and film blowing. Particle size of nanosilver powder and silver in nanosilver-polyethylene composite films was characterized by scanning electron microscope and the chemical bonds within the composite films were characterized by Fourier transform infrared spectrometer. The effects on the color, light transmittance, oxygen permeability and water vapor permeability of the films were examined after the nanosilver-polyethylene composites were prepared by melt blending. The results showed that nano-silver powder and silver in the composite films were of different particle sizes, and the addition of nano-silver resulted in no obviously new chemical bonds. As a result, the light transmittance of composite films was reduced by 3.9%~12.2%, the oxygen permeability was improved by  $6.56\sim117.17 \text{ cm}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot(0.1 \text{ MPa}))$ , and the water vapor permeability was improved by  $0.038\sim1.791 \text{ g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ . The light transmittance of nanosilver-polyethylene composite film prepared by melt blending is decreased, the oxygen permeability and water vapor permeability are improved, and no obviously new chemical bonds are formed.

**KEY WORDS:** nanosilver; composite film; scanning electron microscope; infrared spectrometer; transmittance; oxygen permeability; water vapor permeability

塑料一般透明度高, 韧性好, 阻隔性强, 具有较好的力学性能及化学性质稳定性, 易成型, 在食品软

包装中应用广泛<sup>[1~2]</sup>。一般纯树脂形成的塑料薄膜不能对内装物起到很好的保护作用, 因此塑料一般不是

收稿日期: 2017-06-19

基金项目: 国家自然科学基金(21277085); 国家质检总局科技计划(2016IK057); 广东省自然科学基金(2015A030313329)

作者简介: 薄艳娜(1991—), 女, 暨南大学硕士生, 主攻食品与药品包装。

通讯作者: 林勤保(1968—), 男, 博士, 暨南大学研究员, 主要研究方向为食品与药品包装。

纯净物, 而是以高分子聚合物(合成树脂)为主, 添加各种添加剂(分散剂、偶联剂、着色剂、抗氧化剂、塑化剂、紫外线吸收剂)来改善塑料本身性能的不足或改善由于工艺不善造成的性能不佳, 从而对内容物实现更好的保护。目前已有研究将纳米材料融入传统塑料包装材料形成新型纳米-塑料复合包装材料应用到食品包装中。纳米材料的结构中至少有一个相, 在一个维度上的尺寸不超过 100 nm<sup>[3-4]</sup>。因其尺寸较小、比表面积较大, 从而具有许多宏观材料所不具备的表面效应、量子尺寸效应、宏观量子隧道效应等特殊性质<sup>[5]</sup>。纳米材料具有异于普通材料的特殊力学性能、气体阻隔性、化学、光学等性能<sup>[4]</sup>。纳米-塑料复合材料是将纳米颗粒尽可能均匀地分布在塑料基体中, 使得纳米颗粒可以同时与聚合物分子的多个连接部位作用, 或通过静电、氢键、电荷转移及其他形式的作用力来形成各种纳米结构的自组装, 从而形成非常有效的固定模式<sup>[6-7]</sup>。纳米-塑料复合材料兼备纳米材料和聚合物材料的双重优点, 因此具有广阔的发展前景。

课题组之前的研究发现, 将纳米银加入含单一添加剂(抗氧化剂 168, 1076, 以及光稳定剂 UV-P, UV-531, 622, 944)的聚乙烯塑料中, 在相同温度下, 单一添加剂抑制了纳米银向同一种食品模拟物的迁移, 但 4 种添加剂(抗氧化剂 168, 1076, 以及光稳定剂 622, 944)混合后同时加入 LDPE 膜内, 却促进了纳米银的迁移<sup>[8-9]</sup>。为此, 这里通过熔融共混方式造粒, 吹塑成膜方式成膜, 制备含不同添加剂的纳米银-聚乙烯复合膜。探究纳米银配合不同添加剂使用时薄膜性能是否有所差异。通过扫描电镜和傅里叶红外光谱对纳米银-聚乙烯复合膜进行表征, 并对薄膜的透氧、透湿、透光性及颜色等性能进行测试。

## 1 实验

### 1.1 材料与仪器

主要材料: 纳米银粉末(20 nm), 上海超威纳米科技有限公司; 2426H 型低密度聚乙烯(LDPE), 茂名石油化工有限公司; 三(2,4-二叔丁基)亚磷酸苯酯(抗氧化剂 168), 质量分数大于 98%, β-(3,5-二叔丁基-4-羟基苯基)丙酸十八醇酯(抗氧化剂 1076), 质量分数大于 99%, 德国 BASF 公司; 2-(2-羟基-5-甲基苯基)苯并三唑(光稳定剂 UV-P), 质量分数大于 98%, 2-羟基-4-正辛氧基二苯甲酮(光稳定剂 UV-531), 质量分数大于 99%, 百灵威科技有限公司; 受阻胺类光稳定剂(HS-944, 622), 质量分数均大于 99%, 天津利安隆新材料股份有限公司; 光稳定剂 UV-783(光稳定剂 944 和 622 的复配物), 巴斯夫(中

国)有限公司(广州); 抗氧化剂 900(抗氧化剂 168 和 1076 的复配物), 山东临沂三丰化工有限公司。

主要仪器: MEDU-22/40 双螺杆挤出造粒机, AGVU-04 切粒机, 广州普同实验分析仪器有限公司; 35 型小型实验吹膜机, 广州金方圆机械制造有限公司; DRK203B 型薄膜测厚仪, 济南德瑞克仪器有限公司; FA1604N 电子天平, 上海青海仪器有限公司; SP64 型便携式积分球式分光光度仪, X-rite(上海)股份有限公司; Nicolet Nexus 670 傅里叶变换红外光谱, 美国赛默飞世尔科技公司; Ultra 55 型扫描电镜, 德国 Zeiss 股份公司; BSG-11A 气体透过率测试仪, W-B-11-B 水蒸气透过率测试仪, 广州西唐机电科技有限公司; 紫外可见光分光光度计, 北京瑞利分析仪器有限公司。

### 1.2 复合薄膜的制备

将聚乙烯母粒、添加剂、纳米银粉末混合后, 具体混合比例见表 1, 倒入双螺杆挤出造粒机中, 挤出物在冷水中降温后, 由切粒机切成颗粒, 为使混合均匀, 重复造粒 3 次。造粒机 9 个料筒的温度分别为 130, 130, 135, 135, 135, 140, 140, 140, 140 °C。将造好的颗粒倒入吹膜机, 设置给料速度为 30 r/min, 牵引速度为 14 r/min, 4 个料槽温度均为 140 °C, 将母粒吹塑成膜。每组实验厚度测量 15 次, 再取平均值。

### 1.3 厚度测试

利用数显厚度测定仪, 根据 GB/T 6672—2001《塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法》<sup>[10]</sup>, 将试样擦拭晾干后, 在(23±2) °C 下调节 1 h, 每张膜选择 5 个均匀分布的点进行测量, 每组测试 3 个平行样。

### 1.4 色度测定

根据国际照明委员会推荐的均匀颜色空间方法, 利用便携式积分球式分光光度仪分析薄膜的颜色, 测出各个薄膜的  $\Delta L$ ,  $\Delta a$ ,  $\Delta b$  值, 即样品与白色标准版( $L^*=94.87$ ,  $a^*=-1.41$ ,  $b^*=-0.93$ )之间的颜色差异参数<sup>[11]</sup>。根据式(1), 确定薄膜总色差  $\Delta E$ , 比较纳米银、不同添加剂对薄膜颜色的影响。每种薄膜平行测 3 组。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \quad (1)$$

式中:  $\Delta L$  为正时颜色偏白, 为负时颜色偏黑或偏暗;  $\Delta a$  为正时颜色偏红, 为负时颜色偏绿;  $\Delta b$  为正时颜色偏黄, 为负时颜色偏蓝。

### 1.5 透光性测试

利用紫外可见光分光光度计对不同薄膜的透光度进行测试, 选取波长为 400, 600, 800 nm 对不同膜进行测试。

表 1 薄膜信息  
Tab.1 The information of films

薄膜编号	薄膜组成	添加剂质量分数/%	纳米银质量分数/%	厚度/mm	标准偏差
1	LDPE 空白膜	0	0	0.055	0.007
2	LDPE+纳米银	0	0.05	0.049	0.003
3	LDPE+抗氧化剂 168	0.12	0	0.056	0.006
4	LDPE+抗氧化剂 168+纳米银	0.12	0.05	0.057	0.005
5	LDPE+抗氧化剂 1076	0.03	0	0.057	0.006
6	LDPE+抗氧化剂 1076+纳米银	0.03	0.05	0.056	0.005
7	LDPE+UV-P	0.5	0	0.058	0.007
8	LDPE+UV-P+纳米银	0.5	0.05	0.057	0.009
9	LDPE+UV-531	0.5	0	0.056	0.006
10	LDPE+UV531+纳米银	0.5	0.05	0.054	0.008
11	LDPE+944	0.05	0	0.058	0.006
12	LDPE+944+纳米银	0.05	0.05	0.059	0.006
13	LDPE+622	0.05	0	0.056	0.005
14	LDPE+622+纳米银	0.05	0.05	0.057	0.004
15	LDPE+B900	0.15	0	0.056	0.005
16	LDPE+B900+纳米银	0.15	0.05	0.056	0.010
17	LDPE+UV-783	0.1	0	0.055	0.004
18	LDPE+UV-783+纳米银	0.1	0.05	0.057	0.006

### 1.6 傅里叶变换红外光谱测试

利用傅里叶变换红外光谱来实现纳米银/低密度聚乙烯复合膜的光谱研究。扫描范围为 4000~400 cm<sup>-1</sup>, 分辨率为 4 cm<sup>-1</sup>, 扫描 16 次。

### 1.7 扫描电镜测试

选用 Ultra 55 型扫描电镜分析纳米银粉末和纳米银/聚乙烯复合膜中纳米银的形态。将复合膜剪成小片(25 mm<sup>2</sup>), 放置在碳管和金属涂层中, 采用 10.0 kV 的电压进行扫描。

### 1.8 氧气透过率测试

选用 BSG-11A 气体透过率测试仪, 根据 GB/T 1038—2000《塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法压差法》<sup>[12]</sup>设定参数。选取没有痕迹或可见缺陷的薄膜, 用裁膜器裁成直径为 96 mm 的圆片, 设置温度为 23 °C, 抽真空时间为 2 h, 预透气时间为 1 min, 排空时间为 5 min, 真空变化量大于 1 kPa 时停止测试。

### 1.9 水蒸气透过率测试

选用 W-B-11-B 水蒸气透过率测试仪, 根据 GB/T 1037—1988《塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法杯式法》进行测试<sup>[13]</sup>。选取均匀平整, 没有针眼、孔洞、褶皱、划伤等缺陷的薄膜。设置测试温度为 38 °C, 测试相对湿度为 10%, 杯内相对湿度为 100%, 样品面积为 33 cm<sup>2</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 色差

含不同添加剂的薄膜的颜色数据见表 2, 每组实验进行 3 次测试并取平均值。结果显示, 与空白膜相比, 含纳米银薄膜的颜色明显偏黑偏黄( $\Delta L < 0$ ,  $\Delta b > 0$ ), 色差感强烈( $\Delta E > 5$ )。这是因为纳米银本身是黑色, 其较小的纳米尺寸具备较强的吸附能力<sup>[14]</sup>, 与文献[15]一致。将光稳定剂 UV-P 和 UV-531 加入薄膜中, 薄膜颜色偏黄, 这与添加剂本身的颜色有关, 但含这 2 种添加剂的膜与空白膜相比, 并不会产生很强烈的色差感( $\Delta E < 5$ )。其他添加剂由于本身颜色为白色, 添加量低, 所以不会对薄膜的颜色产生很大影响。暗黑色容易使人产生“不干净”的错觉, 若将含纳米银的薄膜用于食品包装, 可适量添加着色剂来缓和纳米银的颜色。

### 2.2 透光性

选取 3 个波长(400, 600, 800 nm)来探究薄膜的透光性。结果显示, 在同一波长下, 分别将含同种添加剂的 2 类薄膜(含纳米银的薄膜和不含纳米银的薄膜)的透光率结果进行比较, 发现在 LDPE 膜中加入纳米银, 薄膜的透光率明显下降。在同一波长下, 分别将含不同添加剂的薄膜与空白 LDPE 膜进行比较。结果表明, 抗氧化剂 1076 和抗氧化剂 168 并不

表2 薄膜颜色信息

Tab.2 The information of the color of films

薄膜编号	$\Delta L$	$\Delta a$	$\Delta b$	$\Delta E$
1	0.54	0.15	0.97	1.12
2	-3.96	0.06	8.77	9.62
3	0.37	-0.20	0.88	0.98
4	-1.88	0.05	3.62	4.08
5	2.40	-0.27	0.74	2.53
6	-3.11	0.48	4.45	5.45
7	1.64	-0.31	1.49	2.24
8	-1.96	-0.22	6.37	6.67
9	0.81	-0.49	1.66	1.91
10	-1.26	0.22	5.03	5.19
11	2.15	-0.15	-0.03	2.16
12	-0.37	-0.42	2.33	2.40
13	1.66	-0.13	-0.08	1.66
14	0.36	0.11	2.16	2.19
15	2.08	-0.35	0.23	2.12
16	-2.18	-0.79	5.30	5.79
17	1.66	-0.23	0.58	1.77
18	-0.63	-0.41	4.33	4.39

会对薄膜的透光性产生很大影响,但UV-P和UV-531的加入会使得薄膜的透光率下降,可能是因为这2种光稳定剂本身呈淡黄色。将纳米银加入食品包装中,可以降低光照透过率,减少紫外光等对食品造成的不利影响。波长为800 nm时不同薄膜的透光率见图1,在波长为400和600 nm时,薄膜的透光规律与此相似,透光率下降了3.4%~12.2%。

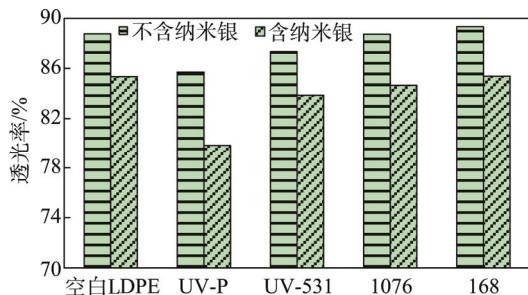


图1 波长为800 nm时纳米银对加入不同添加剂的薄膜透光率的影响

Fig.1 The effect of the nanosilver on the light transmittance of films with different additives at 800 nm

### 2.3 红外光谱

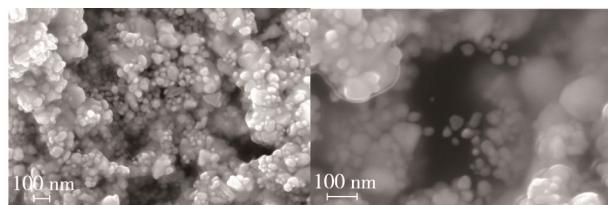
对空白LDPE和添加纳米银的LDPE薄膜进行红外光谱扫描,图谱中均出现了2914, 2851, 1470, 1465 cm<sup>-1</sup>这4个明显的吸收峰,它们是—CH<sub>2</sub>—吸收振动峰<sup>[16~18]</sup>。其中1470和1465 cm<sup>-1</sup>处的吸收峰是由LDPE的结构并非完全线性形成的,是明显的甲基弯曲振动带<sup>[18~19]</sup>。添加纳米银后,LDPE的整个官

能团未发生明显变化。

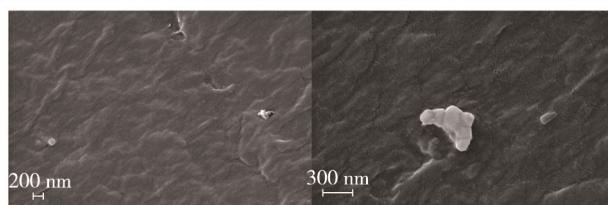
在LDPE膜中分别加入抗氧化剂168, 1076, 光稳定剂UV-P, UV-531, 622, 944, 对LDPE的整个官能团均无明显变化。该种现象的出现有2个原因:纳米银和添加剂的加入并未在LDPE膜内产生新的化学键;产生的化学键量少,未能用图谱表现出来。

### 2.4 纳米银粉末和复合膜的形貌

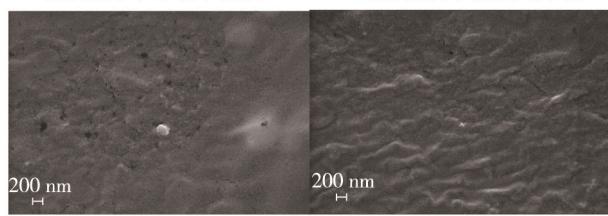
将纳米银粉末放大60 000倍和120 000倍,结果见图2a—b。粒径范围约为10~200 nm,说明购买的纳米银粉末中既有单个纳米颗粒,也存在团聚现象,且大部分以单个颗粒形式存在。含纳米银的复合膜的扫描电镜见图2c—d,可发现纳米银不均匀地分布在膜中,且有团聚现象。图2e中纳米银裸露在复合膜的表面,图2f中纳米银在复合膜内呈现嵌入状态。



a 纳米银粉末中的单个纳米银颗粒 b 纳米银粉末中团聚的纳米颗粒



c 复合膜中单个纳米银颗粒 d 复合膜中团聚的纳米银



e 裸露在复合膜表面的纳米银颗粒 f 嵌入到复合膜内的纳米银颗粒

图2 纳米银粉末和纳米银复合膜中纳米银的扫描电镜

Fig.2 SEM images of nanosilver powder and nanosilver-polyethylene composite films

### 2.5 氧气透过率和水蒸气透过率

薄膜的氧气透过率和水蒸气透过率的结果见图3。纳米银粒径较小,比表面积大,加入LDPE膜内理应会增强薄膜的阻隔性,降低气体透过率,但实验结果表明,纳米银的加入使得薄膜的气体透过率明显增大。分析原因可能是纳米银表面缺少活性官能团,在熔融共混形成的膜中未与LDPE形成很好的连接,与薄膜缺乏较好的相容性,这与红外和扫描电镜光谱吻合,与理想状态下可提高薄膜阻隔性的说法相悖。

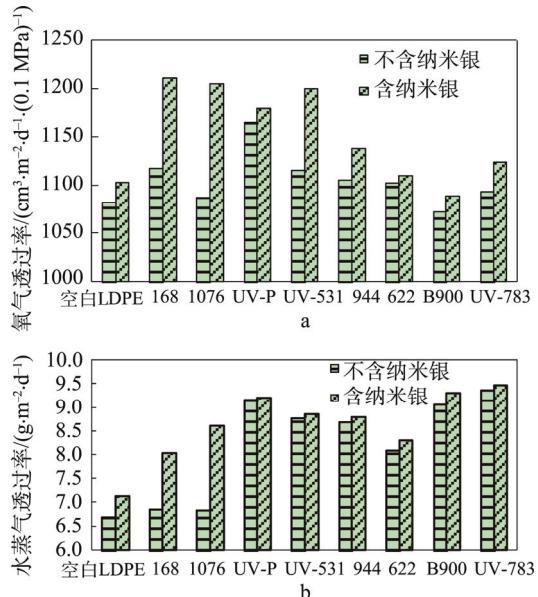


图3 加入不同添加剂的薄膜氧气和水蒸气透过率的测试结果

Fig.3 The test results of oxygen permeability and water vapor permeability of films with different additives

### 3 结语

通过熔融共混的方式制备了纳米银/低密度聚乙烯复合膜，并基于分光光度仪、紫外可见光分光光度计、红外光谱、扫描电镜、气体透过率测试仪、水蒸气透过测试仪等对薄膜进行了测试。发现纳米银若不能均匀分布在薄膜内，会使得气体的透过率变大。此外，纳米银本身的颜色会对复合膜的颜色造成很大的视觉差异，文中所得结果对研究纳米银复合膜中纳米银的迁移有一定意义。

### 参考文献:

- [1] 刘宇飞, 李忠海, 黎继烈, 等. 塑料食品包装材料中常用抗氧化剂迁移研究进展[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 251—255.  
LIU Yu-fei, LI Zhong-hai, LI Ji-lie, et al. Analysis of Research Status on Common Antioxidants Migration from Food Plastic Packaging Material[J]. Food and Machinery, 2012, 28(6): 251—255.
- [2] 毛希琴, 郑顺利, 于利军, 等. 比较欧盟和美国的塑料食品包装材料管理体系与溶剂残留的限量规定[J]. 塑料, 2008, 37(4): 109—111.  
MAO Xi-qin, ZHENG Shun-li, YU Li-jun, et al. Comparative Study of Managements Systems of USA and European Union on Plastic Materials in Contact with Food and Limitation Rule on Residual Solvents in Food Packaging Materials[J]. Plastics, 2008, 37(4): 109—111.
- [3] STÖRMER A, BOTT J, KEMMER D, et al. Critical Review of the Migration Potential of Nanoparticles in Food Contact Plastics[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 63(3): 39—50.
- [4] RANJAN S, DASGUPTA N, CHAKRABORTY A R, et al. Nanoscience and Nanotechnologies in Food Industries: Opportunities and Research Trends[J]. Journal of Nanoparticle Research, 2014, 16(6): 25—30.
- [5] 张慧, 陈慧芝. 纳米银在食品贮藏加工中应用的研究进展[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(4): 365—372.  
ZHANG Chong, CHEN Hui-zhi. Research Progress of Application of Nano-silver in Food Storage and Processing[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2012, 31(4): 365—372.
- [6] 雷忠利, 范友华. 聚合物存在下纳米银复合材料的制备与表征[J]. 物理化学学报, 2006, 22(8): 1021—1024.  
LI Zhong-li, FAN You-hua. Preparation and Characterization of Silver Nanocomposites Based on Copolymers[J]. Acta Physico-Chimica Sinica, 2006, 22(8): 1021—1024.
- [7] 汤京龙, 奚廷斐. 纳米银生物安全性研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2008, 25(4): 958—961.  
TANG Jing-long, XI Ting-fei. Status of Biological Evaluation on Silver Nanoparticles[J]. Journal of Biomedical Engineering, 2008, 25(4): 958—961.
- [8] SU Q Z, LIN Q B, CHEN C F, et al. Effect of Antioxidants and Light Stabilisers on Silver Migration from Nanosilver-polyethylene Composite Packaging Films into Food Simulants[J]. Food Additives & Contaminants. Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2015, 32(9): 1561—1566.
- [9] SU Q Z, LIN Q B, CHEN C F, et al. Effect of Organic Additives on Silver Release from Nanosilver-polyethylene Composite Films to Acidic Food Simulant[J]. Food Chemical, 2017, 228: 560—566.
- [10] GB/T 6672—2001, 塑料薄膜和薄片厚度测定 机械测量法[S].  
GB/T 6672—2001, Plastics Film and Sheeting: Determination of Thickness by Mechanical Scanning[S].
- [11] 许家佗, 屠立平, 张志枫, 等. 一种基于LAB色空间拓扑剖分影射的颜色恒常性模型[J]. 电子学报, 2009, 37(9): 2109—2112.  
XU Jia-tuo, TU Li-ping, ZHANG Zhi-feng, et al. A Color Constancy Model Based on LAB Topology Re-solve-Map[J]. Acta Electronica Sinica 2009, 37(9): 2109—2112.
- [12] GB/T 1038—2000, 塑料薄膜和薄片气体透过性试验方法 压差法[S].  
GB/T 1038—2000, Plastics Film and Sheeting-Determination of Gas Transmission Differential-Pressure Method[S].
- [13] GB/T 1037—1988, 塑料薄膜和片材透水蒸气性试验方法杯式法[S].  
GB/T 1037—1988, Test Method for Water Vapor Transmission of Plastic Film and Sheet: Cup Method[S].

- [14] 单利君. 石墨烯/低密度聚乙烯复合包装材料中塑料助剂的迁移研究[D]. 广州: 暨南大学, 2016.  
SHAN Li-jun. Study on the Migration of Plastic Additives in Graphene/Low Density Polyethylene Composite Packaging[D]. Guangzhou: Jinan University, 2016.
- [15] 艾茜, 胡长鹰, 林勤保, 等. 纳米银/低密度聚乙烯复合食品包装薄膜的表征及性能[J]. 食品工业科技, 2014, 35(22): 294—298.  
AI Qian, HU Chang-ying, LIN Qin-bao, et al. Characterizations and Properties of Nano-silver/low Density Polyethylene Composite Film for Food Packaging[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(22): 294—298.
- [16] 林宜超. 红外光谱法研究含 CeSt\_3 的 LDPE 膜紫外光氧降解[J]. 分析测试学报, 1996, 15(4): 38—41.  
LIN Yi-chao. Study on UV-Oxygen Degradation of CeCt\_3 Containing LDPE Films by Infrared Spectroscopy[J]. Journal of Instrumental Analysis, 1996, 15(4): 38—41.
- [17] 李河. 塑料食品包装材料中增塑剂、抗氧化剂及金属钛的测定与迁移研究[D]. 太原: 山西大学, 2014.  
LI He. Study on the Determination and Migration of Plasticizers, Antioxidants and Ti in Plastic Food Packaging Materials[D]. Taiyuan: Shanxi University, 2014.
- [18] 苗蓉丽. 红外光谱鉴别低密度聚乙烯与高密度聚乙烯[C]// 全国分子光谱学术报告会, 1996.  
MIAO Rong-li. Distinguish Low Density Polyethylene from High Density Polyethylene by Infrared Specturm [C]// Advances in Molecular Spectroscopy, 1996.
- [19] 俞雄飞, 林振兴, 任飞, 等. 傅里叶红外光谱法对 LDPE 和 LLDPE 的快速鉴定[J]. 分析测试学报, 2006, 25(S): 35—36.  
YU Xiong-fei, LIN Zhen-xing, REN Fei, et al. Rapid Identification of Low Density Polyethylene and Linear Low Density Polyethylene by FT-IR[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2006, 25(S): 35—36.

## 《纳米材料》特色栏目征稿函

纳米技术作为一种最具有市场应用潜力的新兴科学技术，其潜在的重要性毋庸置疑，纳米技术正成为各国科技界所关注的焦点。在国内，许多科研院所、高等院校也组织科研力量，开展纳米技术的研究工作，并取得了一定的研究成果，纳米技术基础理论研究和新材料开发等应用研究都得到了快速的发展，并且在各领域均得到了广泛的应用。在包装领域，纳米材料也得到了诸多应用。

鉴于此，本刊拟围绕“纳米材料”这一主线，作系列的专项报道。本刊编辑部特邀请纳米材料领域的专家为本栏目撰写稿件，以期进一步提升本刊的学术质量和影响力。稿件以研究论文为主，也可为综述性研究，请通过网站投稿，编辑部将快速处理并优先发表。

编辑部电话：023-68792294 网址：[www.packjour.com](http://www.packjour.com)

《包装工程》编辑部