

包装材料

纳米 Fe_3O_4 /纤维素抗静电复合包装膜的研究

张晓君, 李军然, 马晓军
(天津科技大学, 天津 300222)

摘要:目的 提高纤维素膜的防静电性能,扩大其在包装方面的应用。方法 以木质纤维素为原料,利用原位共沉淀法制备出纳米 Fe_3O_4 /纤维素复合包装膜,探讨 Fe_3O_4 /纤维素复合包装膜的力学性能、耐水性能及防静电性能。结果 随着铁离子浓度的增加, Fe_3O_4 /纤维素复合包装膜的抗拉强度从10.57 MPa增加到14.78 MPa,抗水性从0.27提高到0.38,表面电阻率逐渐下降。结论 相比纤维素膜,复合薄膜具有较好的抗静电性能,且在低湿的环境下其抗静电性能更稳定。

关键词: 纤维素膜; Fe_3O_4 ; 防静电包装; 原位共沉淀法

中图分类号: TB484.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)07-0023-05

Nano- Fe_3O_4 /Cellulose Anti-electrostatic Composite Packaging Membrane

ZHANG Xiao-jun, LI Jun-ran, MA Xiao-jun
(Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: This study was aimed to improve the antielectrostatic properties of the cellulose membrane, and expand its packaging application. Nano- Fe_3O_4 /cellulose composite packaging membranes were prepared by using in-situ co-precipitation method, with the wooden cellulose as raw material. The mechanical properties, water resistance and anti-electrostatic properties of the Fe_3O_4 /cellulose composite packaging membranes were investigated. The results showed that with increasing concentration of ferric ion, the mechanical properties and the water resistance of Fe_3O_4 /cellulose composite membranes increased from 10.57 MPa and 0.27 to 14.78 MPa and 0.38, respectively, while the surface resistivity of the composite membranes gradually decreased. Compared to the cellulose membrane, the composite membranes had better anti-electrostatic properties, and the anti-electrostatic properties were more stable in low humidity environment.

KEY WORDS: cellulose membrane; Fe_3O_4 ; anti-electrostatic packaging; in-situ co-precipitation method

随着现代科学技术和电子工业的飞速发展,电子产品日趋小型化、集成化,同时敏感度得到增加^[1]。当物体积累的静电电荷达到一定程度时,就会产生静电火花,所产生的电磁脉冲和放电电流会对产品产生很大的危害^[2]。静电现象普遍存在于航空航天、石油化工、制药、采矿、食品等行业,如果不加以重视,就会给人类带来巨大的损失。据报道,在微电子技术领域,全球每年因为放电危害所造成的损失高达百亿美元以上^[3-4]。随着高分子材料及材料复合技术的开发,防

静电技术和防静电包装材料越来越受到重视,并得到迅速发展。抗静电包装材料需求的增长及社会对绿色包装的重视,都对静电防护问题提出了更高的要求,研制稳定性好、经济环保、节能、高效的复合功能材料成为一种趋势^[5-7]。

目前市场上的防静电包装材料多以合成高分子材料为主,如聚乙烯、聚氯乙烯等。随着非可再生资源日益枯竭,未来的能源供应将会逐渐依赖于可再生能源。纤维素是当今世界上资源最丰富的高分子化

收稿日期: 2015-07-28

基金项目: 国家自然科学基金(31270607)

作者简介: 张晓君(1988—),女,天津人,天津科技大学硕士生,主攻包装材料与包装技术。

通讯作者: 马晓军(1975—),男,陕西周至人,博士,天津科技大学教授、博导,主要研究方向为功能性包装材料。

合物,充分利用天然纤维素资源,是解决化石能源短缺的重要途径,以天然纤维素为原料开发新型纤维素薄膜成为材料领域研究的重点方向之一^[8]。纤维素机械加工适应性好,成本低,化学稳定性好,无毒环保,具有较好的抗拉强度、刚性以及防冻和防热能力^[9-12],但其成膜性差且性能随湿度变化较大,使其在功能性包装材料特别是防静电包装方面的应用受到限制。

纳米 Fe_3O_4 具有表面效应、小尺寸效应和宏观量子隧道效应^[13],并且导电性^[14]、超顺磁性^[15]、生物相容性优良,经济环保,价格低廉,已成为磁性材料的研究热点^[16]。将纳米 Fe_3O_4 与纤维素复合制备具有防静电功能的膜材料,可以降低纤维素薄膜的电阻,减少吸尘效应,提高其导电性能、导电稳定性和尺寸稳定性,扩大纤维素薄膜的使用范围,并且两者都具有生物可降解性,其使用过程可减少对环境的污染,具有重要的研究意义。

这里以天然纤维素膜为基材,利用原位共沉淀法制备出纳米 Fe_3O_4 /纤维素复合膜,研究不同铁离子浓度对复合包装膜的力学性能、耐水性以及表面电阻率的影响,探讨纳米 Fe_3O_4 /纤维素复合膜的防静电包装性能,为天然纤维素磁性复合膜的防静电包装提供借鉴。

1 实验与方法

1.1 材料制备

1.1.1 N-甲基吗啉-N-氧化物纤维素膜的制备

取质量分数为50%的N-甲基吗啉-N-氧化物(NMMO)水溶液与少量没食子酸丙酯抗氧化剂(约为添加的纤维素质量的0.5%)混合,在95℃的温度下真空蒸浓6h,直到NMMO水溶液的含水量降到13.3%左右。将准备好的絮状木浆与质量分数为85%的蒸浓后的NMMO·H₂O体系混合均匀,在98℃左右的温度下机械搅拌4.5h左右,直至木浆溶解完全,得到均匀透明的黄褐色溶液,然后室温下用玻璃棒在玻璃板上刮制成膜。将薄膜在30℃蒸馏水中浸泡2h,直至把残留的NMMO溶剂清洗完全后在60℃下干燥12h待用。

1.1.2 纳米 Fe_3O_4 /纤维素复合膜的制备

将若干大小为20mm×10mm的纤维素薄膜(约0.25g)投入由质量比为1:1.8的 $\text{FeCl}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 制成的 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 溶液,与纤维素膜反应的不同铁离子浓度的溶液见表1。在磁力搅拌和氮气保护下浸泡12h后,迅速投入浓度为0.25mol/L的NaOH溶液中,机械搅拌和氮气保护下75℃水浴反应40min。反

应完毕后用蒸馏水反复清洗薄膜样品至中性,60℃干燥12h后获得纳米 Fe_3O_4 /纤维素复合膜。

表1 不同溶液中 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 铁离子浓度
Tab.1 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ Iron ion concentration in different samples

溶液	$C_{\text{Fe}^{2+}}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	$C_{\text{Fe}^{3+}}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$
a	0.150	0.270
b	0.190	0.342
c	0.230	0.414
d	0.270	0.486
e	0.310	0.558

1.2 材料测试方法

1.2.1 扫描电子显微镜

样品表面观察使用Hitachi公司S-800型高分辨场发射扫描电镜进行,加速电压为10kV。

1.2.2 傅里叶变换红外光谱

采用美国Thermo electron公司生产的Nicolet 6700型傅里叶红外光谱仪(FTIR)。样品制备方法是将试样在60℃下真空干燥8h,取1~2mg干燥后的试样与200mg纯KBr研细混匀,置于模具中压成薄皮,即可用于测定。扫描范围是400~4000 cm^{-1} ,扫描次数为32次,分辨率为4 cm^{-1} 。

1.2.3 力学性能检测

抗拉强度和断裂伸长率是表征高聚物材料力学性能的常用指标,抗拉强度和断裂伸长率是在规定的湿度及温度下根据标准GB/T 1040.3—2006进行测试的,施加拉力(F)进行拉伸测试直到试样断裂为止,拉伸速率为50mm/min。试样断裂前最大应力(σ_b)及应变(ε_b),即拉伸强度和断裂伸长率,由式(1)—(2)求得:

$$\sigma_b = F/(b \cdot d) \quad (1)$$

$$\varepsilon_b = [(l-l_0)/l_0] \times 100\% \quad (2)$$

式中: b 和 d 分别为试样的宽度和厚度; l_0 和 l 分别为试样的起始长度和断裂时长度。

1.2.4 耐水性检测

1.2.4.1 试样吸水率测量

吸水率根据ASTMD 570—98进行测试。将试样在50℃下真空干燥24h后称其质量 m_0 ,然后将试样浸入25℃的蒸馏水中,24h后取出,再次称其质量 m_1 ,则可计算试样的吸水率 A_b :

$$A_b = [(m_1 - m_0)/m_0] \times 100\%$$

1.2.4.2 试样防水性测量

防水性是在电子万能试验机上根据ISO 527—3:1995(E)进行测试,分别测量试样在干态和湿态下的

抗拉强度和断裂伸长率,拉伸速率为50 mm/min。湿态测量时将试样在25℃蒸馏水中浸泡1 h,再测量其抗拉强度和断裂伸长率,并计算其抗水性(R_b):

$$R_b = \sigma_{bw} / \sigma_{bd}$$

式中: σ_{bw} 和 σ_{bd} 分别为试样在湿态和干态下的抗拉强度。 R_b 值越大表示材料的防水性越强。

1.2.5 抗静电检测

复合膜的抗静电性能用其表面电阻率表示。使用WRSTG330体积、表面电阻率测试仪根据SJ/T 10694—1996分别测定纤维素原膜和复合膜在干燥以及温度为20℃、相对湿度为17%环境下的表面电阻率。

2 结果与讨论

2.1 SEM分析

不同样品的SEM图见图1,可以看出,纤维素原膜的表面形态是比较光滑的,并且存在海绵状微孔结构,这有利于Fe₃O₄纳米粒子在膜表面的沉积。纤维素薄膜上生成的Fe₃O₄纳米粒子多为球状,且分布均匀。随着Fe²⁺/Fe³⁺铁离子浓度的增加,纳米粒子的粒径增大,纤维素薄膜上的磁性颗粒负载量也逐渐增加。对比图1d,图1b和图1c中Fe₃O₄的分散性较好,直径大小也较均匀,图1d中的Fe₃O₄团聚较明显,且粒径大小不一。这说明铁离子浓度的过度增加会导致生成的Fe₃O₄纳米粒子产生较明显的团聚现象。

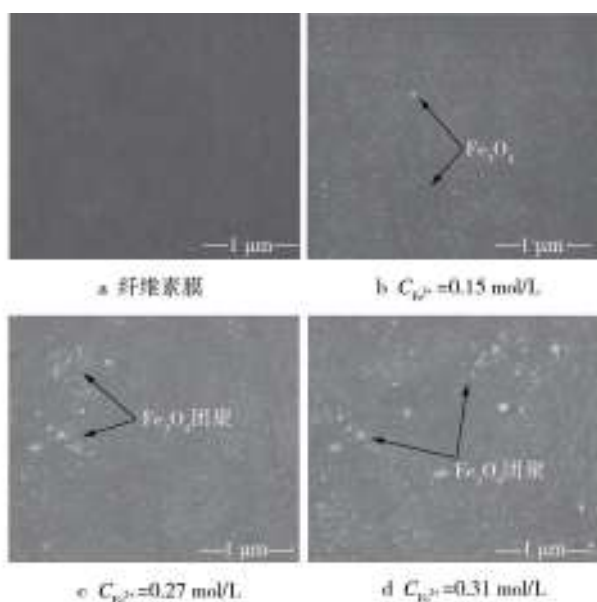


图1 样品的SEM图

Fig.1 SEM photographs of samples

2.2 Fe₃O₄/纤维素复合膜的红外光谱图

纤维素膜和复合膜的FTIR谱图见图2。相对于纤维素膜,复合薄膜在3420 cm⁻¹处—OH基团的伸缩振动吸收峰都变宽,且向高波长的方向移动,表明Fe₃O₄纳米粒子与纤维素之间有相互作用,Fe₃O₄纳米粒子在纤维素基体中以较稳定的状态存在,有利于提高复合薄膜的稳定性^[15]。另外,复合薄膜在594 cm⁻¹的位置上还出现了吸收峰,这个吸收峰是由Fe—O振动吸收峰红移产生的,证明了Fe₃O₄的存在。同时,随着铁离子浓度的增加,该处的吸收峰明显在增强。

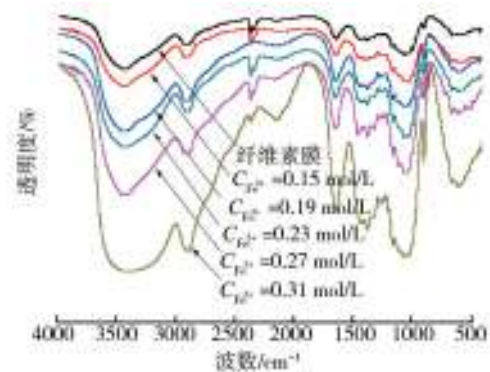


图2 样品的红外光谱

Fig.2 FT-IR spectra of different samples

2.3 Fe₃O₄/纤维素复合膜的力学性能

从实验数据可知,不同铁离子浓度的复合薄膜的抗拉强度均大于纤维素原膜,并且随着铁离子浓度的增加,复合薄膜的抗拉强度呈线性增大的趋势。当Fe²⁺浓度从0增加到0.31 mol/L时,薄膜的抗拉强度从10.57 MPa增加到14.78 MPa,提高了40%。复合膜抗拉强度的提高是因为Fe₃O₄纳米粒子与纤维素之间形成强烈的相互作用。与此相反,随着铁离子浓度的增加,复合薄膜的断裂伸长率不断下降,脆性增加,并且随着铁离子浓度的增加,变脆现象越加明显。当Fe²⁺浓度从0增加到0.31 mol/L时,薄膜的断裂伸长率从13.67%降到7.55%,这是由于Fe₃O₄纳米粒子直接在纤维素薄膜上原位复合,使其分子间作用力加大,引起复合薄膜整体的结晶度提高^[17-18],从宏观上呈现出刚性,造成断裂伸长率下降。

2.4 Fe₃O₄/纤维素复合膜的耐水性

纤维素的无定型区和结晶区的表面具有较多未形成氢键的羟基,因此纤维素薄膜具有很强的水敏感性,其性能与环境湿度之间存在很大联系。环境湿度

的改变直接影响着纤维素薄膜的使用性能。若要扩大纤维素薄膜的使用范围,必须提高其耐水性。

2.4.1 纤维素原膜及 Fe_3O_4 /纤维素复合膜的吸水率分析

利用吸水率表征纤维素原膜及其复合薄膜的耐水性,吸水率的测试结果见表2。

表2 纤维素原膜及复合薄膜的吸水率

Table 2 The rate of water absorption of cellulose membrane and cellulose composite membranes

$C_{\text{Fe}^{2+}}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	m_0/g	m_1/g	$A_1/\%$
纤维素原膜	0.426	1.046	145
0.15	0.470	1.012	117
0.19	0.452	0.908	101
0.23	0.437	0.846	93
0.27	0.503	0.941	87
0.31	0.478	0.884	85

从表2中可以看出,不同铁离子浓度的复合薄膜的吸水率均低于纤维素原膜,并且吸水率随着铁离子浓度的增加呈降低的趋势。当 Fe^{2+} 浓度从0增加到0.31 mol/L时,薄膜的吸水率从145%降到85%。这主要是由于复合膜中的纤维素吸水性基团—OH与 Fe_3O_4 之间形成作用,溶液中铁离子越多,形成的作用越强,导致纤维素中游离的吸水性基团—OH越少,造成复合膜的吸水率降低^[9]。

2.4.2 纤维素原膜及 Fe_3O_4 /纤维素复合膜的防水性分析

实验分别测量了干态和湿态下纤维素原膜及其复合薄膜的抗拉强度和断裂伸长率,防水性的测试结果见表3。

表3 纤维素原膜及复合薄膜的防水性

Table 3 The waterproof property of cellulose membrane and cellulose composite membranes

$C_{\text{Fe}^{2+}}/(\text{mol}\cdot\text{L}^{-1})$	σ_{10}/MPa	$\varepsilon_{10}/\%$	σ_{10}/MPa	$\varepsilon_{10}/\%$	R_b
纤维素原膜	10.57	13.67	2.88	4.98	0.27
0.15	12.37	11.92	3.83	4.61	0.31
0.19	12.72	10.47	4.12	4.15	0.33
0.23	13.51	9.52	4.61	4.01	0.34
0.27	14.13	8.64	5.14	3.73	0.36
0.31	14.78	7.55	5.66	3.27	0.38

由表3可知, Fe^{2+} 浓度从0增加到0.31 mol/L时,干态下薄膜的抗拉强度从10.57 MPa增加到14.78 MPa,断裂伸长率从13.67%降到7.55%,湿态下薄膜的抗拉强度从2.88 MPa增加到5.66 MPa,断裂伸长率从4.98%降到3.27%。同一铁离子浓度时,与干态下的薄

膜相比,湿态下所测量的薄膜的抗拉强度和断裂伸长率均有所下降。从纤维素原膜及其复合膜的防水性可知,当 Fe^{2+} 浓度从0增加到0.31 mol/L时,薄膜的防水性从0.27增加到0.38,复合薄膜的防水性逐渐提高,其原因与复合膜吸水率降低的原因相同。

2.5 Fe_3O_4 /纤维素复合膜的防静电性能

纤维素具有一定的吸湿性,并且纤维素的吸湿是一个放热过程,因此温度越高,吸湿率越小。纤维素表面吸收水分的多少与其防静电性能有着直接的关系。干湿态下复合薄膜的表面电阻率变化见图3,可以看出,在干态和湿态下复合薄膜的表面电阻率均低于纤维素原膜。其中温度为20℃、相对湿度为17%条件下复合薄膜的表面电阻率相比于纤维素原膜降低了1个数量级,而干态下的复合薄膜表面电阻率相比于纤维素原膜降低了2个数量级。这是因为与复合膜相比,原膜的吸水率较大,在同样的干燥条件下,其挥发的水分也就较多,因此干燥后的纤维素原膜表面电阻率很大^[20]。从图3中还能看到,随着铁离子浓度的增加,复合薄膜的表面电阻率逐渐下降。其中 Fe^{2+} 浓度为0.31 mol/L的复合薄膜比 Fe^{2+} 浓度为0.15 mol/L的复合薄膜表面电阻率下降了1个数量级。这是因为随着溶液中铁离子浓度的增加,粒子的粒径也在增大,从而使电子在材料中的传递速度加快,导致其表面电阻率降低^[21]。通过分析得知,复合薄膜表面电阻率在防静电材料范围之内,并且其对湿度敏感性更小。相比于纤维素原膜,复合薄膜的表面电阻率更加稳定,在低湿的环境下更能发挥其优异的防静电性能。

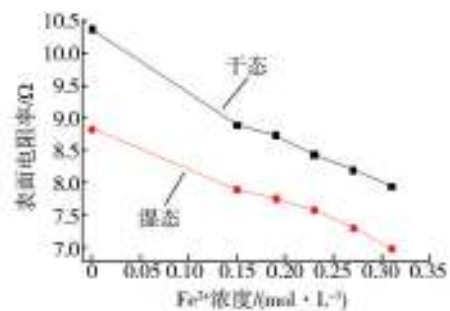


图3 不同样品干态和湿态下表面电阻率变化

Fig.3 Variation curves of surface resistivity of different samples in dry and wet state

3 结语

随着各种各样新材料的发展以及能源危机的出

现,防静电包装行业正在向着生态绿色功能化的方向发展。可降解有机物/无机纳米复合材料逐渐受到人们的关注,将资源丰富的可降解纤维素与无机纳米Fe₃O₄粒子复合,复合材料继承了单个组分的性能,并且通过两者的协同作用提高了纤维素原膜的抗拉强度、耐水性能和防静电性能,并且随着铁离子浓度的增加而逐渐提高。复合薄膜能够达到防静电材料的要求,其湿度敏感性更小,在高温低湿环境下,复合薄膜比纤维素膜更适合使用。复合薄膜的柔韧性下降,应用领域的局限性增加。充分利用Fe₃O₄纳米粒子的低成本、高性能的优势,提高其在纤维素薄膜中的负载量和复合薄膜的柔韧性将是Fe₃O₄/纤维素防静电包装膜今后研究的重点。

参考文献:

- [1] 崔春梅. 电装生产中防静电技术[J]. 电子工业专用设备, 2013(8):67—70.
CUI Chun-mei. Antistatic Technology in Electronics Assembly[J]. Equipment for Electronic Products Manufacturing, 2013(8):67—70.
- [2] 毕增军, 盛松林, 范丽思, 等. 静电放电火花产生的电磁场特征分析[J]. 计算物理, 2004, 21(1):86—90.
BI Zeng-jun, SHENG Song-lin, FAN Li-si, et al. Characteristic Analysis of Electromagnetic Fields Generated by Electrostatic Discharge Spark[J]. Chinese Journal of Computational Physics, 2004, 21(1):86—90.
- [3] 张珊, 王成国, 袁华, 等. PAN基碳纤维静电耗散材料的表面电阻率研究[J]. 功能材料, 2012, 43(13):1789—1792.
ZHANG Shan, WANG Cheng-guo, YUAN Hua, et al. Study on the Surface Resistivity of Static Dissipative Material Containing PAN-based Carbonaceous Fibers[J]. Journal of Functional Materials, 2012, 43(13):1789—1792.
- [4] 张晓玉, 袁玉珍. 微电子产品防静电包装材料的研究进展[J]. 包装工程, 2013, 34(13):117—122.
ZHANG Xiao-yu, YUAN Yu-zhen. Development Progress of Anti-Static Packaging Material for Microelectronic Products[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13):117—122.
- [5] 杨士亮, 雷磊, 李汉军, 等. 防静电包装材料静电屏蔽性能测试方法[J]. 包装工程, 2006, 27(2):62—64.
YANG Shi-liang, LEI Lei, LI Han-jun, et al. Study on Electrostatic Shielding Performance Measurement of Anti-Static Packaging Materials[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(2):62—64.
- [6] 徐晓英. 静电放电时频测量方法与特性参数研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2013.
XU Xiao-ying. Study on the Method of Frequency Measurement and Characteristic Parameters of Electrostatic Discharge [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2013.
- [7] 周静, 陈汉宾, 张隆平. 瓷罗拉等离子喷涂防静电耐磨损涂层工艺[J]. 表面技术, 2013, 42(6):66—68.
ZHOU Jing, CHEN Han-bin, ZHANG Long-ping. Technology Investigation of Antistatic and Anti-abrasive Coatings Prepared by Plasma Spray on Porcelain Roller[J]. Surface Technology, 2013, 42(6):66—68.
- [8] CUTTER C N. Opportunities for Bio-Based Packaging Technologies to Improve the Quality and Safety of Fresh and Further Processed Muscle Foods[J]. Meat Science, 2006, 74(1):131—142.
- [9] 张晓君, 马晓军. 纤维素磁性纳米复合膜的研究进展[J]. 包装工程, 2014, 35(11):128—131.
ZHANG Xiao-jun, MA Xiao-jun. Research Progress on Magnetic Cellulose Nanocomposite Films[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(11):128—131.
- [10] GROSS R A, SCHOLZ C. Biopolymers from Polysaccharides and Agropoteins[J]. American Chemical Society, 2001(2):70.
- [11] 汤立. Fe₃O₄、碳纳米管及石墨烯增强再生纤维素膜的研究[D]. 上海:东华大学, 2011.
TANG Li. Study on Regenerated Cellulose Composite with Fe₃O₄, Carbon Nanotubes and Grapheme[D]. Shanghai: Donghua University, 2001.
- [12] 范文娟. 光催化剂载体——羧基氟碳共聚物纤维膜的制备及耐光降解性能研究[J]. 表面技术, 2013, 42(5):89—92.
FAN Wen-juan. Preparation of Carboxylic Fluorocarbon Polymer Fiber Film Used as Photocatalyst Carrier and Its Stability under UV Irradiation[J]. Surface Technology, 2013, 42(5):89—92.
- [13] 吴玉强. 电荷有序对Fe₃O₄多晶介电性的影响[D]. 天津:天津理工大学, 2012.
WU Yu-qiang. Charge Ordering Effects to Dielectric Properties of Fe₃O₄ Poly Crystals[D]. Tianjin: Tianjin University of Technology, 2012.
- [14] CHISCAN O, DUMITRU I, POSTOLACHE P, et al. Electropun PVC/Fe₃O₄ Composite Nanofibers for Microwave Absorption Application[J]. Materials Letters, 2012, 8(2):251—254.
- [15] ZHAO D L, WANG X X, ZENG X W, et al. Preparation and Inductive Heating Property of Fe₃O₄-chitosan Composite Nanoparticles in an AC Magnetic Field Forlocalized Hyperthermia[J]. Journal of Alloys & Compounds, 2009(2):739—743.
- [16] 刘雪奇. Fe₃O₄纳米磁粉及高分子核壳结构磁微球的制备与性能研究[D]. 成都:四川大学, 2005.
LIU Xue-qi. Study of Preparation and Properties on Fe₃O₄ Magnetic Nanoparticles and Core/Shell Polymer Magnetic Microspheres[D]. Chengdu: Sichuan University, 2005.

- 报,2008(7):66—76.
- WANG Yi-xiang, ZHANG Li-na. Recent Developments of Materials in Natural Polymers[J]. Polymer Bulletin, 2008(7): 66—76.
- [2] 蔡静蕊,孟赛.壳聚糖的保鲜机理及在食品保鲜包装上的应用[J].包装工程,2009,30(12):115—117.
- CAI Jing-ru, MENG Sai. Preservation Mechanism of Chitosan and Its Application in Food preservative Packaging [J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12): 115—117.
- [3] CHIEN P J, SHEU F, YANG F H. Effects of Edible Chitosan Coating on Quality and Shelf Life of Sliced Mango Fruit[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(1): 255—229.
- [4] 韩永生,赵丽美.变性淀粉-壳聚糖可食性膜的包装性能研究[J].包装工程,2009,30(12):34—36.
- HAN Yong-sheng, ZHAO Li-mei. Study of Packaging Performance of Modified Starch Chitosan Edible Film[J]. Packaging Engineering, 2009, 30(12): 34—36.
- [5] LI Q, ZHOU J P, ZHANG L N. Structure and Properties of the Nanocomposite Films of Chitosan Reinforced with Cellulose Whiskers[J]. Journal of Polymer Science Part B-polymer Physics, 2009, 47(11): 1069—1077.
- [6] PEREDA M, AMICA G, MARCOVICH N E. Development and Characterization of Edible Chitosan/Olive Oil Emulsion Films[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 87(2): 1318—1325.
- [7] 赵素芬,潘斌,刘晓艳.壳聚糖复合保鲜膜制备及其拉伸性能研究[J].包装工程,2012,33(1):5—7.
- ZHAO Su-fen, PAN Bin, LIU Xiao-yan. Preparation and Tensile Properties of Chitosan Composite Preservative Films [J]. Packaging Engineering, 2012, 33(1): 5—7.
- [8] SANCHEZ L, CHAFER M, CHIRALT A, et al. Physical Properties of Edible Chitosan Films Containing Bergamot Essential Oil and Their Inhibitory Action on *Penicillium Italicum*[J]. Carbohydrate Polymers, 2010, 82(2): 277—283.
- [9] SUN Y, LIU Y, LI Y Z, et al. Preparation and Characterization of Novel Curdlan/Chitosan Blending Membranes for Antibacterial Applications[J]. Carbohydrate Polymers, 2011, 84(3): 952—959.
- [10] TAO Y, QIAN L H, XIE J. Effect of Chitosan on Membrane Permeability and Cell Morphology of *Pseudomonas Aeruginosa* and *Staphylococcus Aureus*[J]. Carbohydrate Polymers, 86(2): 969—974.
- [11] GB/T 1040.3—2006, 塑料拉伸性能的测试[S].
GB/T 1040.3—2006, Plastics—Determination of Tensile Properties[S].
- [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 1038—2008, 透明塑料透光率和雾度的测定[S].
GB/T 1038—2008, Determination of the Luminous Transmittance and Haze of Transparent Plastic[S].
- [14] SAWATARI C, KONDO T. Interchain Hydrogen Bonds in Blend Films of Poly(Vinyl Alcohol) and Its Derivatives with Poly(Ethylene Oxide)[J]. Eur Polym, 2007, 43(5): 2066.
- [15] 祝二斌,新梅华,李明春,等.壳聚糖/聚乙烯醇共混膜的氢键和相容性[J].化工进展,2012,31(5):1082—1087.
- ZHU Er-bin, XIN Mei-hua, LI Ming-chun, et al. Hydrogen-Bonding and Compatibility of Chitosan/Polyvinyl Alcohol Blend Films[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2012, 31(5): 1082—1087.
- [16] STUART B H. Infrared Spectroscopy Fundamentals and Applications[M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2004.
- [17] 章汝平,丁马太.聚乙烯醇/壳聚糖共混膜的制备及表征[J].功能材料,2007,38(12):2004—2007.
- ZHANG Ru-ping, DING Ma-tai. Preparation Properties and Characterization of the Blend Film of Polyvinyl Alcohol and Chitosan[J]. Functional Materials, 2007, 38(12): 2004—2007.
- [18] MI F L, SHYU S S, WU Y B, et al. Fabrication and Characterization of a Sponge-Like Asymmetric Chitosan Membrane as a Wound Dressing[J]. Biomaterials, 2001, 22(2): 165.
- the Presence of Dextran or Polyvinyl Alcohol[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2001, (1): 41—46.
- [20] BLASKOV V, PETKOV V, RUSANOV V. Magnetic Properties of Nanophase CoFe_2O_4 Particle[J]. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 1996(1): 331—337.
- [21] 汪忠柱,胡国光,尹萍,等.高磁导率Mn-Zn铁氧体的磁性能依赖性研究[J].安徽大学学报,2001,25(3):43—47.
- WANG Zhong-zhu, HU Guo-guang, YIN Ping, et al. Investigation on Dependency of Magnetic Properties of High Permeability Mn-Zn Ferrite[J]. Journal of Anhui University Natural Science Edition, 2001, 25(3): 43—47.

(上接第27页)