

不同聚乳酸膜的抗菌性比较

刘文龙¹, 晏宸然¹, 危梦¹, 雷英杰¹, 黄嘉玲¹, 张崑¹, 赵黎明²

(1. 成都大学肉类加工四川省重点实验室, 四川成都 610106)

(2. 华东理工大学发酵工业分离提取技术研发中心, 生物反应器工程重点实验室, 上海 200237)

摘要: 为了研究添加抗菌剂后, 聚乳酸复合膜的抗菌性能, 选取了壳聚糖、茶多酚、MgO 和银四种抗菌剂, 与聚乳酸形成四种复合膜, 对比了不同抗菌剂的效果, 并利用红外光谱仪对复合膜的结构进行了表征。实验发现, 无论哪种抗菌剂, 均表现了良好的抗菌效果。当壳聚糖/聚乳酸、茶多酚/聚乳酸均按质量比 5:5 组成复合膜时, 抗菌率分别为 68.54% 和 70.26%, 当 MgO 的添加量为 2% 时, 抗菌率为 71.01%, 而银表现出了极强的抗菌效果, 添加量为 1% 时, 抗菌率达到了 98.53%。透光率随着抗菌剂的加入都有不同程度的减小, 其中茶多酚的影响最大, 从 88.67% 下降到 33.75%。薄膜 DSC 曲线显示, 未添加抗菌剂时, 薄膜 T_m 为 80.3 °C 添加 Ag 和 MgO 后, 薄膜 T_m 分别下降了 1.7 °C 和 1.4 °C 说明抗菌剂的添加对薄膜 T_m 几乎无影响。由此可以看出, 天然抗菌剂的抗菌效果要略差于无机抗菌剂。

关键词: 聚乳酸; 抗菌剂; 复合膜; 抗菌性

文章编号: 1673-9078(2020)03-175-179

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.023

Comparison of Antibacterial Properties of Different Poly(lactic Acid) Composite Film

LIU Wen-long¹, YAN Chen-ran¹, WEI Meng¹, LEI Ying-jie¹, HUANG Jia-ling¹, ZHANG Yin¹, ZHAO Li-ming²

(1. Meat Processing Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610106, China)

(2. Key Laboratory of Bioreactor Engineering R&D Center of Separation and Extraction Technology in Fermentation Industry East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: In order to study the antibacterial properties of poly(lactic acid) composite film after adding antibacterial agent, four antibacterial agents, chitosan, tea polyphenol, MgO and silver, were selected to form four composite films with poly(lactic acid) and the effects of different antibacterial agents were compared. The structures of the composite films were characterized by FTIR. The experiment found that no matter which kind of antibacterial agent, it showed good antibacterial effect. When chitosan/poly(lactic acid) and tea polyphenol/poly(lactic acid) were combined into a composite film at a mass ratio of 5:5, the antibacterial percentages were 68.54% and 70.26%, respectively. When the amount of MgO added was 2%, the antibacterial percentage was 71.01%, while silver showed a strong antibacterial effect, the antibacterial percentage reached 98.53% when the amount was 1%. The light transmittance decreased to varying degrees with the addition of antibacterial agents, among which tea polyphenols had the greatest influence, from 88.67% to 33.75%. The DSC curve of the film showed that the films' T_m was 80.3 °C with no antibacterial agent added. After adding Ag and MgO, the films' T_m decreased by 1.7 °C and 1.4 °C, respectively. This showed that the addition of antibacterial agents had almost no effect on the film T_m . It can be seen that the antibacterial effect of the natural antibacterial agent is slightly worse than the inorganic antibacterial agent.

Key words: poly(lactic acid); antibacterial agent; composite film; antibacterial

引文格式:

刘文龙, 晏宸然, 危梦, 等. 不同聚乳酸膜的抗菌性比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(3): 175-179

LIU Wen-long, YAN Chen-ran, WEI Meng, et al. Comparison of antibacterial properties of different poly(lactic acid) composite film [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 175-179

收稿日期: 2019-09-21

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (31601529); 国家重点研发计划项目 (2017YFB0305400); 四川省科技计划项目 (2018NZ0150; 2019YJ0660); 成都市科技局重点研发 (2018-YF05-01185-SN)

作者简介: 刘文龙 (1983-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品安全检测; 通讯作者: 张崑 (1981-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工与保藏

我国是食品生产大国,食品在生产加工后,为保证食品免受各种微生物或其他物理化学因素的侵扰,保持其本身的价值,需要采用大量的包装材料进行包装。目前常用的包装材料有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)等,这些传统的塑料薄膜包装由于其安全卫生和环境污染问题,已经引发了越来越多的关注,世界各国学者开始寻找一种对人体无害、对环境友好的绿色高分子材料作为替代。聚乳酸(PLA)材料因其良好的生物相容性、易加工性和可降解性走进了大家的视线^[1],它可广泛应用于医学、纺织和日常生活领域,是一种经过美国食品和药品管理局批准的安全高效无污染的高分子材料^[2-6]。聚乳酸最初原料是从植物中提取出来的淀粉,然后经过特定酶分解为葡萄糖,葡萄糖经乳酸菌发酵生成乳酸,乳酸再经过一系列化学合成方法聚合形成的。聚乳酸产品使用完后,可完全降解为水和二氧化碳,不会对环境造成污染。但是单纯的聚乳酸膜几乎不具备抗菌效果,为了使其更好的应用在食品包装上,延长食品的货架期,学者们利用抗菌剂对聚乳酸薄膜进行复合改性。目前常用的抗菌剂主要分为无机抗菌剂、有机抗菌剂和天然抗菌剂。

无机抗菌剂具有耐热性好、抗菌谱广、有效抗菌期长、毒性低、不产生耐药性、安全性高等优点^[7,8]。Yalcinkaya^[9]等制备了聚乳酸-Ag复合材料,该材料对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有良好的抗菌效果。Shiv^[10]等制备出PLA/ZnO纳米复合薄膜,对大肠杆菌和单核细胞增生李斯特菌表现出了较强的抗菌活性。有机抗菌材料的抗菌作用更高、作用时间短、成本低廉,但存在有机物残留引起的毒性问题。Llorens^[11]等制备了负载聚己亚甲基盐酸(PHMB)的聚乳酸纳米纤维可降解支架,通过抑制细菌病毒的分裂功能,从而起到抗菌作用。天然抗菌剂如壳聚糖、茶多酚等,是目前全世界研究的重点方向。Fathima^[12]等制备的聚乳酸/壳聚糖复合薄膜对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌都表现出了抑制作用。

为了对比不同种类抗菌剂对聚乳酸薄膜各性能的影响,本研究选择了天然抗菌剂茶多酚和壳聚糖与无机抗菌剂MgO和银四种抗菌剂,制备了不同抗菌剂的聚乳酸复合薄膜,对薄膜的抗菌性能、热性能、透光率和结构进行了测试,并进行了对比分析。

1 材料与方法

1.1 原料

聚乳酸4032D,购买自美国naturework公司;二

氯甲烷,AR,上海泰坦化学有效公司;AgNO₃、30%氨水、氯化钠,AR,成都科龙化工试剂厂;MgO、壳聚糖,AR,国药集团化学试剂有限公司;茶多酚,江西富之源生物科技有限公司;蛋白胨、牛肉膏、平板计数琼脂,北京奥博星生物技术有限责任公司;大肠埃希氏菌,苏州北纳创联生物技术有限公司。

1.2 主要设备及仪器

立式压力蒸汽灭菌器LS-100HD型,江阴滨江医疗设备有限公司;生化培养箱SPX-80型,北京科伟永兴仪器有限公司;恒温振荡器THZ-98AB型,上海一恒科学仪器有限公司;洁净工作台BCV-2F型,上海一恒科学仪器有限公司;红外光谱仪Spectrum Two型,珀金埃尔默;紫外可见分光光度计UV756CRT型,上海佑科仪器仪表有限公司;差示扫描量热仪DSC 214 Polyma,德国耐驰仪器制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 纯聚乳酸膜的制备

称取1g干燥后的聚乳酸于100mL烧杯中,加入20mL二氯甲烷作为溶剂,在室温下,磁力搅拌4h。溶解后,利用旋涂法制备出薄膜,真空干燥,即可得到纯聚乳酸薄膜。

1.3.2 聚乳酸复合膜的制备

将聚乳酸与不同抗菌剂,如壳聚糖、茶多酚、MgO、AgNO₃混合,按不同比例制备聚乳酸/壳聚糖、聚乳酸/茶多酚、聚乳酸/MgO和聚乳酸/Ag复合膜。在加入硝酸银的时候,要先加入少量蒸馏水溶解,再以氨水为还原剂,将Ag⁺还原为Ag。

1.4 表征与测试

1.4.1 菌落总数测试

先将初始菌种在恒温振荡器中震荡培养24h,然后取活化后的菌种于营养肉汁液体培养基中,在37℃下震荡培养24h,作为原始菌液备用。取1mL原始菌液于离心管中,离心,弃去上清液,加入2mL蒸馏水混匀后,取0.5mL于1.5mL蒸馏水中,混匀后用紫外分光光度计调节菌液浓度至10⁶~10⁸CFU/mL(OD₆₀₀值为0.5)。将1mL菌种接种于100mL营养肉汁液体培养基中,一组加入约0.2g薄膜样品,一组不加,在恒温振荡器中震荡培养24h。根据GB 4789.2-2016测定菌落总数,每个样品做3组平行,结果取平均值。

1.4.2 红外光谱(FT-IR)

采用珀金埃尔默公司的Spectrum Two型红外光

谱仪对各薄膜样品的分子结构进行表征。测试范围为 400 cm^{-1} 到 4000 cm^{-1} ，得到各薄膜的红外光谱图。

1.4.3 透光率

利用 UV756CRT 型紫外可见分光光度计对薄膜的透光率进行测定，波长为 600 nm ，每个样品测 3 次，结果取平均值。

1.4.4 差示扫描量热仪 (DSC)

将薄膜剪碎后放到 DSC 坩埚内，在氮气气氛下，以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率升温至 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，记录升温曲线；在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温 5 min ，然后以 $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的速率降温至 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.5 数据分析方法

采用 Origin 8 和 Microsoft Excel 对数据统计分析。

2 结果与讨论

2.1 抗菌性能

纯聚乳酸薄膜以及添加不同抗菌剂的复合膜对大肠杆菌的抗菌性能的影响见表 1。

表 1 不同抗菌剂的复合膜的抗菌活性

Table 1 Antibacterial activity of composite films with different antibacterial agents

膜的种类	大肠杆菌抗菌率/%
PLA	1.28
PLA/壳聚糖 (9:1)	49.06
PLA/壳聚糖 (7:3)	56.93
PLA/壳聚糖 (5:5)	68.54
PLA/茶多酚 (9:1)	53.85
PLA/茶多酚 (7:3)	63.77
PLA/茶多酚 (5:5)	70.26
PLA/MgO (1%)	45.08
PLA/MgO (1.5%)	65.94
PLA/MgO (2%)	71.01
PLA/Ag (0.1%)	79.43
PLA/Ag (0.5%)	90.29
PLA/Ag (1%)	98.53

从表 1 所测试的结果中可以发现，纯的聚乳酸膜对大肠杆菌几乎没有抗菌性能，通过添加的壳聚糖和茶多酚的量的不断增加，抗菌率分别从 49.06% 和 53.85% 提升到了 68.54% 和 70.26% 。其抗菌机理为，添加的壳聚糖和茶多酚与大肠杆菌细胞膜相结合，破坏了大肠杆菌的细胞膜，阻止其营养物质的运输或者影响了其正常生理功能，进而减缓了大肠杆菌的繁殖与生长^[13,14]。

当添加 MgO 的量从 1% 增加到 2% 时，抗菌率也从 45.08% 提升到了 71.01% ；当添加少量银以后，抗菌率也从 79.43% 提升到了 98.53% 。 MgO 是在光照条件下，表面会吸附大量的羟基自由基和活性氧，它们与微生物内的有机物质发生反应，生成二氧化碳和水，使其丧失继续分裂增殖的能力，达到杀灭微生物的目的。 Ag^+ 的正电荷与细胞膜上的负电荷相互吸引，再透过细胞膜使细胞内细菌蛋白质凝固，从而使细胞不能再分裂增殖，最后死亡^[15,16]。

由此可以说明，添加的不同抗菌剂能有效的改善聚乳酸膜的抗菌性能，随着抗菌剂浓度的增加，其抗菌效果更好。壳聚糖和茶多酚的抗菌效果相差不大， MgO 的抗菌效果略好，而银的抗菌效果最好，只需要少量的银，就能几乎完全抑制大肠杆菌的生长，但是银的成本略高，而且 Ag^+ 易聚集、易氧化^[17]，这可能导致其丧失一定的特征性能，甚至完全丧失，所以通常被制备成纳米粒子，然后再加入聚乳酸材料中，从而保护它们免于聚集和氧化，在一定程度上保持其抗菌性能。

2.2 红外光谱分析

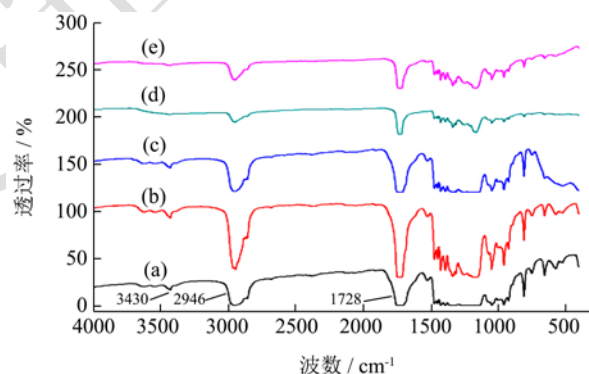


图 1 添加不同抗菌剂 (a) 纯 PLA 膜, (b) Ag, (c) MgO, (d) 茶多酚, (e) 壳聚糖的 PLA 膜红外光谱图

Fig.1 FTIR of the PLA films with different antibacterial agents (a) pure PLA film, (b) Ag, (c) MgO, (d) tea polyphenol, (e) chitosan

PLA 膜、PLA/Ag 膜 (1%)、PLA/MgO 膜 (2%)、PLA/茶多酚膜 ($5:5$)、PLA/壳聚糖膜 ($5:5$) 的红外光谱图见图 1。在图中可以看出，在 3631 cm^{-1} 处的峰是 $-\text{OH}$ 的伸缩振动峰^[18]，在 2946 cm^{-1} 处的峰是 $-\text{CH}_2-$ 的不对称伸缩振动峰^[19]，在 1728 cm^{-1} 处的峰是羰基 $\text{C}=\text{O}$ 的伸缩振动峰，在 $1000\sim 1500\text{ cm}^{-1}$ 处的峰是酯基 $-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$ 的伸缩振动峰^[20]，在 $800\sim 1000\text{ cm}^{-1}$ 处的峰是 $-\text{C}-\text{C}-$ 的伸缩振动峰^[21]。

通过图谱 (b)、(c) 与图谱 (a) 比较可以发现，加入抗菌剂 Ag 或 MgO 以后，图谱只有细微的差别，

这应该是由两种抗菌剂与 PLA 溶液只是物理共混，并未发生官能团的改变导致的。从图谱 (d) 中可以看出，在 1083 cm^{-1} 处新出现的峰是糖苷键的吸收峰^[22]，说明抗菌剂与 PLA 发生了一定的反应。

2.3 透光率

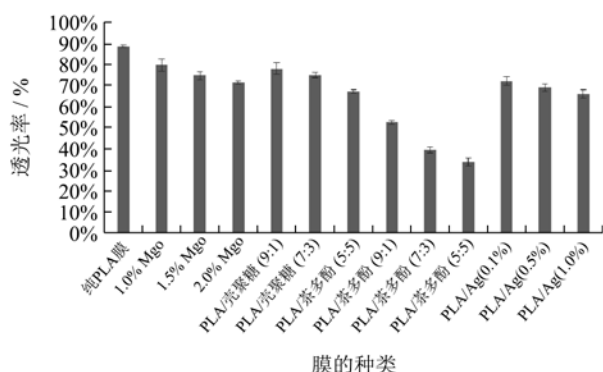


图2 添加不同抗菌剂的薄膜的透光率

Fig.2 Transmittance of films with different antibacterial agents

添加不同抗菌剂所得复合膜的透光率见图 2。从图中可以看出，随着抗菌剂添加量的增加，复合膜的透光率都有所下降。纯膜的透光率为 88.67%，添加了 MgO 后，薄膜带有一点白色，因此透光率从 79.7% 下降到 71.53%；添加了壳聚糖后，薄膜略微发白，透光率从 78.03% 下降到 67.2%；茶多酚由于颜色比较重，因此对透光率的影响最大，从 52.5% 下降到 33.75%；添加了 Ag 后，透光率从 72.1% 下降到 66.07%。因此，除了由于颜色比较重的茶多酚会对薄膜透光率产生较大影响外，添加其余抗菌剂对制备出的薄膜的透光率产生的影响都不大。

2.4 DSC

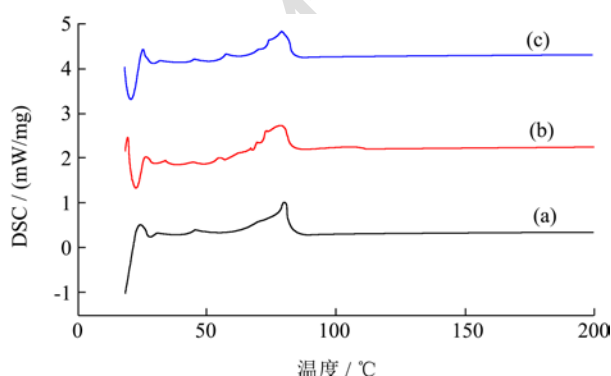


图3 添加不同抗菌剂 (a) 纯 PLA 膜, (b) Ag, (c) MgO 的 PLA 膜 DSC 曲线图

Fig.3 DSC curve of PLA films with different antibacterial agents (a) pure PLA film, (b) Ag, (c) MgO

纯聚乳酸膜、PLA/Ag 膜 (1%) 和 PLA/MgO 膜 (2%) 的 DSC 曲线图见图 3。从图中可以看出，纯

PLA 膜的 T_m 为 $80.3\text{ }^\circ\text{C}$ ；PLA/Ag 膜 (1%) 的 T_m 为 $78.6\text{ }^\circ\text{C}$ ；PLA/MgO 膜 (2%) 的 T_m 为 $78.9\text{ }^\circ\text{C}$ 分别下降了 $1.7\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $1.4\text{ }^\circ\text{C}$ 这说明了添加了抗菌剂以后，对聚乳酸膜的热性能几乎没有明显的影响。

3 结论

采用了溶剂共混的方式，将不同抗菌剂与聚乳酸进行混合，制备出了含有不同抗菌剂的聚乳酸复合薄膜，该方法方便易行，成本低廉。实验结果显示，纯聚乳酸薄膜几乎不具有抗菌性能，不同抗菌剂的抗菌效果不太一样，总体趋势都是随着抗菌剂的量的增加而提高。壳聚糖和茶多酚的抗菌效果相差不大，当其与聚乳酸比例为 5:5 时，抗菌率分别为 68.54% 和 70.26%；MgO 的抗菌效果略好，当 MgO 含量为 2% 时，抗菌率达到了 71.01%；银的抗菌效果最好，当银的含量为 1% 时，抗菌率达到了 98.53%。未添加抗菌剂时，PLA 膜的透光率为 88.67%，添加抗菌剂以后对复合膜的透明性都有所影响，添加了 MgO 后，透光率下降到 71.53%；添加了壳聚糖后，透光率下降到 67.2%；茶多酚由于颜色比较重，因此对透光率的影响最大，下降到 33.75%；添加了 Ag 后，透光率下降到 66.07%。从 DSC 曲线图中可以看出，纯 PLA 膜的 T_m 为 $80.3\text{ }^\circ\text{C}$ ，PLA/Ag 膜 (1%) 的 T_m 为 $78.6\text{ }^\circ\text{C}$ ，PLA/MgO 膜 (2%) 的 T_m 为 $78.9\text{ }^\circ\text{C}$ ，分别下降了 $1.7\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $1.4\text{ }^\circ\text{C}$ ，这说明添加了抗菌剂后，薄膜的热性能下降的并不显著。综上所述，虽然银的抗菌效果最好，对透明性的影响也较小，但是银的成本最高，不适用于在薄膜包装材料上。所以如何在不影响薄膜包装性能的同时，保持高抗菌率，并且降低成本将是未来研究的重点方向。

参考文献

[1] Rhim J W, Park H M, Ha C S. Bio-nanocomposites for food packaging applications [J]. Progress in Polymer Science, 2013, 38(10-11): 1629-1652

[2] 沈鑫,刘雪,宿烽,等.完全可降解聚乳酸及其共聚物的生物相容性:研究、应用与未来[J].中国组织工程研究,2018, 22(14):2259-2264

SHEN Xin, LIU Xue, SU Feng, et al. Biocompatibility of fully degradable polylactic acid and its copolymers: research, application and future [J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2018, 22(14): 2259-2264

[3] 杜中天.聚乳酸共混物的制备与性质研究[D].长春:长春工业大学,2018

DU Zhong-tian. Preparation and properties of polylactic acid

- blends [D]. Changchun: Changchun University of Technology, 2018
- [4] 王宇飞,王保玉,周秀苗,等.聚乳酸分离膜的制备、改性及其应用进展[J].膜科学与技术,2018,38(5):127-134
WANG Yu-fei, WANG Bao-yu, ZHOU Xiu-miao, et al. Research progress on preparation, modification and application of poly (lactic acid) separation membrane [J]. Membrane Science and Technology, 2018, 38(5): 127-134
- [5] Duncan T V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors [J]. J Colloid Interface Sci, 2011, 363(1): 1-24
- [6] Abdul Khalil H P S, Davoudpour Y, Saurabh C K, et al. A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging: Process and applications [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 64: 823-836
- [7] Yalcinkaya E E, Puglia D, Fortunati E, et al. Cellulose nanocrystals as templates for cetyltrimethylammonium bromide mediated synthesis of Ag nanoparticles and their novel use in PLA films [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 157: 1557-1567
- [8] 毛龙,姚进,刘跃军,等.聚乳酸-聚吡咯/银多层复合抗菌薄膜的制备与性能表征[J].表面技术,2019,1:154-160
MAO Long, YAO Jin, LIU Yue-jun, et al. Preparation and characterization of polylactic acid-polypyrrole/silver multilayer composite antibacterial films [J]. Surface Technology, 2019, 1: 154-160
- [9] Yalcinkaya E E, Puglia D, Fortunati E, et al. Cellulose nanocrystals as templates for cetyltrimethylammonium bromide mediated synthesis of Ag nanoparticles and their novel use in PLA films [J]. Carbohydrate Polymers, 2017, 157: 1557-1567
- [10] Shiv S, Long-Feng W, Jong-Whan R. Incorporation of zinc oxide nanoparticles improved the mechanical, water vapor barrier, UV-light barrier, and antibacterial properties of PLA-based nanocomposite films [J]. Materials Science and Engineering: C, 2018, 93: 289-298
- [11] Llorens E, Calderón S, Del Valle L J, et al. Polybiguanide (PHMB) loaded in PLA scaffolds displaying high hydrophobic, biocompatibility and antibacterial properties [J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2015, 50: 74-84
- [12] Fathima P E, Kumar P S, Muhammed A P, et al. Polylactic acid/chitosan films for packaging of Indian white prawn (*Fenneropenaeus indicus*) [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018: 1002-1010
- [13] 李旭飞,车阳丽,吕艳,等.壳聚糖/无机物纳米复合材料在抗菌方面的研究进展[J].材料导报,2018,32(21):3823-3830
LI Xu-fei, CHE Yang-li, LYU Yan, et al. Research progress of antibacterial in chitosan/inorganic nanocomposites [J]. Materials Review, 2018, 32(21): 3823-3830
- [14] 杨海伦,刘小香,朱军莉,等.茶多酚的抗菌特性研究进展[J].食品工业科技,2015,36(21):385-389
YANG Hai-lun, LIU Xiao-xiang, ZHU Jun-li, et al. Research progress on antibacterial properties of tea polyphenols [J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(21): 385-389
- [15] 王洪江,宋雪健,李志江,等. 抗菌包装材料及其在食品包装领域的研究进展[J].黑龙江八一农垦大学学报,2018,30(4): 69-74
WANG Hong-jiang, SONG Xue-jian, LI Zhi-jiang, et al. Antibacterial packaging materials and their research progress in the field of food packaging [J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2018, 30(4): 69-74
- [16] 崔跃红,关红艳,郭中宝,等.无机抗菌剂在抗菌涂料中的研究进展[J].中国建材科技,2017,26(1):5-7
CUI Yue-hong, GUAN Hong-yan, GUO Zhong-bao, et al. Research progress of inorganic antibacterial agents in antibacterial coatings [J]. China Building Materials Science, 2017, 26(1): 5-7
- [17] 何依谣,张萍,高德,等.聚乳酸基抗菌材料的研究进展[J].工程塑料应用,2017,45(6):132-136
HE Yi-yao, ZHANG Ping, GAO De, et al. Research progress of polylactic acid-based antibacterial materials [J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(6): 132-136
- [18] 张鹏飞,陈晓东.贻贝启发蒙脱石-银/聚乳酸抗菌膜的制备及其性能[J].精细化工,2019,2:295-301
ZHANG Peng-fei, CHEN Xiao-dong. Preparation and properties of mussel-inspired smectite-silver/polylactic acid antibacterial film [J]. Fine Chemicals, 2019, 2: 295-301
- [19] 尹兴,孙诚,王蕊,等.玻璃纤维/聚乳酸复合包装薄膜的制备及表征[J].包装工程,2016,13:19-23
YIN Xing, SUN Cheng, WANG Rui, et al. Preparation and characterization of glass fiber/polylactic acid composite packaging films [J]. Packaging Engineering, 2016, 13: 19-23