

# 抗菌包装薄膜的研究进展

孙 淼<sup>1</sup>, 郝喜海<sup>1,2</sup>, 邓 靖<sup>1,2</sup>, 李 菲<sup>1</sup>, 史翠平<sup>1</sup>, 李慧敏<sup>1</sup>

(1. 湖南工业大学 包装新材料与技术重点实验室, 湖南 株洲 412007;  
2. 湖南工业大学 包装与材料工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘 要:** 抗菌包装薄膜是一种加入抗菌剂后具有抑制或杀灭表面细菌能力的功能性薄膜。根据所添加抗菌剂的不同, 抗菌包装薄膜可分为有机抗菌膜、无机抗菌膜和天然抗菌膜3类。抗菌包装薄膜能通过不断释放抗菌剂来抑制微生物生长, 从而延长被包装食品的货架寿命。目前, 抗菌包装薄膜只有解决好安全与环境保护2个问题才能更好地发展。

**关键词:** 抗菌膜; 安全性; 环境保护

**中图分类号:** TB484.3

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2011)03-0006-05

## Research Progress of Antibacterial Film for Packaging

Sun Miao<sup>1</sup>, Hao Xihai<sup>1,2</sup>, Deng Jing<sup>1,2</sup>, Li Fei<sup>1</sup>, Shi Cuiping<sup>1</sup>, Li Huimin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of New Packaging Materials and Technology, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;  
2. School of Packaging and Material Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Antibacterial Film for packaging is a kind of new functional material containing antimicrobial which has the ability to restrain or sterilize the bacteria that accretes on the surface of object. According to the different antimicrobial added, the Antibacterial Film for packaging can be divided into three types, that is, organic antibacterial films, inorganic antibacterial films and natural antibacterial films and they can inhibit the growth of the microorganisms by constantly releasing antibacterial agent to extend the shelf life of food packaged. At present two main problems of safety and the environmental protection are still to be resolved to achieve a better development for Antibacterial Film for packaging.

**Key words:** antibacterial film; safety; environmental protection

## 0 引言

具有抗菌作用的塑料称为抗菌塑料。它是在塑料中添加一定量的抗菌剂, 以起到抗菌与抑菌的作用, 从而保持其自身及所包装产品的清洁<sup>[1-2]</sup>。在塑料制品的生产中采用抗菌技术, 不仅能减少因使用这些制品而发生的交叉污染, 并且能在保持塑料常规性能和加工性能不变的前提下, 起到杀菌的功效,

对塑料制品的发展起着十分重要的作用。抗菌塑料在包装领域的应用十分广泛, 抗菌包装薄膜是其重要应用领域之一<sup>[3]</sup>。抗菌包装薄膜的应用, 可以减少对人类健康和环境造成危害的化学杀菌剂的使用量<sup>[4]</sup>。因此, 开发天然防腐的抗菌剂, 制作安全的抗菌包装薄膜, 将成为今后食品用包装材料方面的研究热点。

用于塑料添加的抗菌剂, 可依据其形态分为气

收稿日期: 2010-12-22

基金项目: 湖南省科技厅基金资助项目(2009CK3028)

作者简介: 孙 淼(1986-), 女, 辽宁阜新人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为抗菌性PVA薄膜的研究与应用,

E-mail: sm5418@163.com

态、液态和固态3类;也可依据抗菌剂本身化学成分的不同分为有机抗菌剂、无机抗菌剂和天然抗菌剂3类<sup>[5-6]</sup>, 相较而言, 第二种分类方法更合理。因而依添加到塑料中抗菌剂的不同, 可将塑料包装薄膜分为有机抗菌膜、无机抗菌膜和天然抗菌膜3类。本文拟对这3类抗菌膜的研究进展进行综述, 以期 of 抗菌包装薄膜的研发提供一定的理论依据。

## 1 有机抗菌膜

有机抗菌膜是由在塑料中添加有机抗菌剂而制得。有机抗菌膜的抗菌机理是有机抗菌剂能通过化学反应破坏微生物的细胞膜, 从而使蛋白质变性, 微生物代谢受阻, 因而起到杀菌、防腐及防霉等作用。常用有机抗菌剂包括季胺盐类、醇类、酚类和吡啶类等<sup>[5,7-8]</sup>。

季铵盐类抗菌剂由于其价格低廉, 杀菌速度快, 已经被人们广泛研究和应用。如毛健康等人研究并制备了一种由季铵盐类高聚物 (polymeric quarternary salt, PQA) 与聚醚砜 (polyethersulfone, PES) 共混的抗菌膜, 此共混抗菌膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌性能大于 PES 膜, 并且膜的抗菌性能随 PQA 含量的增大而增强<sup>[9]</sup>。Nariyoshi Kawabata 等人首先发现了合成的吡啶型主链高分子聚合物具有杀菌作用<sup>[10]</sup>。Li G. 等人在此基础上合成了带吡啶侧基的聚烯烃黏物, 同样发现其具有明显的杀菌功能<sup>[11]</sup>。Weng Y. 等人将形成酸酐后的有机酸抗菌剂均匀混合到低密度聚乙烯膜中, 并对其性能进行了实验研究。实验结果表明: 当膜处于潮湿环境时, 由于其内部的酸酐水解, 自由酸从膜表面释放, 从而起到抗菌的作用<sup>[8]</sup>。

虽然有机抗菌剂的抑菌作用速度快, 可操作性良好, 稳定性较强, 对微生物的抑制作用具有一定的特异性, 但其安全性和化学稳定性较差, 易使微生物产生耐药性, 特别是其耐热性能较差, 所以一般很少有采用单一添加有机抗菌剂制得抗菌薄膜的做法<sup>[5,7]</sup>。

## 2 无机抗菌膜

无机抗菌膜的抗菌机理可分为2种: 一种为溶出抗菌。这是指在无机化合物中含有抗菌性离子 (如银、铜、锌等金属离子), 它们能通过缓释技术使微生物蛋白质结构遭到破坏, 造成微生物死亡或使其产生功能性障碍<sup>[5,7]</sup>, 从而达到抗菌效果。各金属离子杀灭、抑制病原体的活性按以下顺序递减:  $\text{Ag}^+ >$

$\text{Hg}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Cr}^{3+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Pd}^{2+} > \text{Co}^{4+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{3+}$ <sup>[12]</sup>。另一种为光触媒抗菌。运用此机理的抗菌剂是以  $\text{TiO}_2$  为代表的光催化类抗菌剂, 此类抗菌剂耐热性能较一般无机抗菌剂高, 但必须有紫外线照射, 并且有氧气或水的存在才能起到杀菌作用。

溶出抗菌中的银基抗菌剂性能独特, 具有无毒、耐腐蚀、不燃烧、抗菌谱广的特点, 且不会导致细菌产生耐药性, 安全性好, 因此一直是材料研究者们研究的热点。且其稳定的化学性能以及较高的抗菌效率使其成为制备无机抗菌膜的首选。如蔡佑星等人以化学液相还原法制备了纳米银薄膜, 并对其抗菌性能进行测试, 透射电镜结果显示: nano-Ag 的分散性能较好, 粒子之间没有出现团聚现象; 抑菌圈法测试结果显示: 当在 10 kg 低密度聚乙烯 (low density polyethylene, LDPE) 中加入 10 mg 纳米银时, LDPE/nano-Ag 复合膜的抑菌圈直径大于 2 mm, 抑菌率超过 94%, 表现出较好的抗菌性能<sup>[13]</sup>。韩永生和李勇等人利用  $\text{Ag}^+$  和  $\text{Zn}^{2+}$  制作抗菌沸石, 进而制备抗菌膜, 并研究其对大肠杆菌的抗菌效果。结果表明: 利用具有抗菌作用的金属离子制备抗菌沸石和抗菌膜, 抗菌沸石的添加不会对薄膜的力学性能造成大的影响, 而且可以赋予薄膜较好的抗菌性能。该抗菌保鲜膜袋对馒头、西瓜和生猪肉等都有保鲜作用, 具有一定的实用价值<sup>[14-15]</sup>。付国柱等人采用纳米粉体的分散技术和掺混技术, 在聚乙烯中加入纳米  $\text{TiO}_2$  制得纳米  $\text{TiO}_2$  改性聚乙烯膜, 并对该膜的抗菌性能等进行了研究。结果表明: 纳米  $\text{TiO}_2$  改性聚乙烯膜具有良好的抗菌性能, 在不同光源条件下对不同微生物菌株的杀菌率都达 92% 以上, 且具有抗菌广谱、长效、安全稳定等性能<sup>[16]</sup>。同时, 应丽英指出, 这种在塑料制备过程中将抗菌剂混入的方法, 抗菌剂的用量大, 成本较高。为了降低成本, 可在塑料表面固定抗菌剂, 将颗粒粒度为 0.1 ~ 0.2  $\mu\text{m}$  的抗菌剂制成喷雾液, 喷涂于塑料模具表面。在成型过程中, 可将抗菌剂渗入塑料制品的表面, 也可将喷雾液直接喷到塑料制品表面, 经过适当的热处理后, 抗菌剂与制品结合较好<sup>[17]</sup>。

广州擎天新材料研究开发有限公司生产的载银无机抗菌粉系列无机抗菌粉体已完全解决了银变色的问题<sup>[18]</sup>。但该无机抗菌粉体不能迅速杀死细菌, 而且价格较高, 抗菌具有迟效性。因此, 单纯的添加无机抗菌剂制得的无机抗菌膜在应用中还受一定条件的制约。

为解决添加单一抗菌剂造成的局限性, 西南交通大学材料科学与工程学院的老师们成功研制出了

ZnO 晶态复合抗菌剂,并将其应用于塑料包装材料中,研制开发出抗菌率达99%以上的抗菌包装袋,且已在成都西南交通大学鼎宇科技公司投入生产<sup>[19]</sup>。李全华等人采用 sol-gel 法,在普通的玻璃基片上制备了 Zn<sup>2+</sup> 掺杂 Ag<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub> 的复合薄膜。研究表明, Zn<sup>2+</sup> 掺杂能够显著提高溶胶和薄膜中银离子的稳定性及 Ag<sub>2</sub>SiO<sub>2</sub> 复合薄膜的抗菌性能。将有机-无机和无机-无机抗菌剂复合,能减少使用单一种类抗菌剂的局限性,并以此相互弥补来提高抗菌剂的整体抗菌能力,最大限度地发挥其抗菌性能<sup>[20]</sup>。

### 3 天然抗菌膜

天然抗菌膜中所添加的抗菌剂主要是从动植物中提炼精制而成的。目前,对天然抗菌膜的研究主要集中在以虾、蟹壳为原料制得的一种天然高分子化合物——壳聚糖为抗菌剂的抗菌膜的研究。如张惠珍以 LDPE 为基体,以市售壳聚糖为抗菌剂,并通过机械混炼法制备了抗菌塑料。试验结果表明,该抗菌塑料虽然具有一定的抗菌效果,但是所用壳聚糖与 LDPE 的相容性不好,使得所得抗菌塑料的断裂伸长率下降<sup>[21]</sup>。唐汝培等人以溶液共混法制备了壳聚糖与羧甲基魔芋葡甘聚糖共混膜,试验测试结果表明,这种薄膜具有很好的力学性能,同时也具备较为明显的抗菌性能<sup>[22]</sup>。谢长志等人采用水相悬浮聚合法合成了壳聚糖接枝苯乙烯抗菌剂,并采用机械共混法制备了以 LDPE 为基体的抗菌塑料,且对该塑料进行了表征和抗菌性能的实验。结果表明:改性的壳聚糖的加入,在不影响材料力学性能的前提下,材料具有很好的抗菌性能<sup>[23]</sup>。邓靖等人根据抑菌圈直径比较了肉桂、花椒、辣椒、丁香油树脂的抑菌效果,综合考虑,将抑菌活性最好的丁香油树脂添加到海藻酸钠膜中,制备出可食性抗菌膜。该膜不仅具有较好的抗拉强度和断裂伸长率,而且还具有良好的力学性能、透水性能和抗菌性能<sup>[24]</sup>。但目前壳聚糖的应用仍然存在很多问题,如难干燥,制膜强度较差,其保鲜剂产品黏度不高、质量不太稳定等,因而仍需要进行进一步研究<sup>[25]</sup>。

从天然植物中提取的植物精油也是较为常用的天然抗菌剂之一。如张新虎等人以番茄灰霉病菌为供试材料,研究了苍耳丙酮提取物对其菌丝生长、孢子形成、孢子萌发的抑制作用<sup>[26]</sup>;韩淑琴等人研究了仙人掌茎的提取物对革兰阴性菌、革兰阳性菌、真菌的抑菌作用<sup>[27]</sup>;R. S. Shetty 等人对小茴香的抑菌性能进行了研究<sup>[28]</sup>;李巧如等人对丁香提取物与各类

抗菌素的相互作用进行了实验研究<sup>[29]</sup>。实验结果表明,上述各提取物均有一定的抑菌作用。吴传茂等人研究了丁香的乙醇提取液的抑菌作用,结果显示其对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等都有很强的抑制作用<sup>[30]</sup>。M. Valero 等人对多种精油进行抑菌实验,结果表明,丁香具有较强的抑菌效果。但精油难溶于水,稳定性较差,易氧化、挥发、逸散。为克服上述缺点,可以利用微胶囊化技术,形成有效的控制释放系统<sup>[31]</sup>。

### 4 问题与展望

抗菌包装薄膜的应用,可以解决在运输过程中因包装破损而导致不能达到原有无菌效果的问题(过去是先杀菌,然后进行无菌包装或者真空包装)。抗菌包装薄膜能通过不断释放抗菌剂来抑制微生物的生长,从而达到延长被包装食品的货架寿命的目的。然而,目前抗菌包装薄膜面临2个主要问题:一是安全性问题。即在抗菌剂释放过程中,其是否会转移到被包装的食品上,是否会影响被包装食品的原有的特征,食用后是否会对人体产生危害等。这是关系到人类健康的大问题,因此还需对抗菌剂的安全性问题进行更多的研究。二是环境保护问题。市场上常见的包装薄膜通常以聚乙烯(Polyethylene, PE)或聚氯乙烯(polyvinyl chloride, PVC)作为基材,虽然其价格低廉、性能稳定且使用方便,但其在废弃后不能完全降解,会给环境带来严重污染。那么,寻找“白色污染”的替代品,即研究开发出环保的树脂作为膜基材变得非常迫切也将成为该方向研究的一个热点,例如现在对聚乙烯醇的研究就变得相当热门。聚乙烯醇具有100%的生物降解性,分解产物为二氧化碳和水,不污染环境,被认为是环保包装材料<sup>[32-34]</sup>。

综上所述,抗菌包装薄膜安全性和环境保护这两个主要问题的解决,将会给包装材料带来更广阔的发展空间。

#### 参考文献:

- [1] 李毕忠. 抗菌塑料的最新发展[J]. 塑料, 2000, 29(3): 25-26.  
Li Bizhong. New Advances of Antibacterial Plastics[J]. Plastics, 2000, 29(3): 25-26.
- [2] 聂颖. 塑料抗菌剂的开发现状及发展前景[J]. 化工文摘, 2006(2): 50-53.  
Nie Ying. The Development Situation and Prospect of

- Plastics Antimicrobial Agents[J]. China Chemicals, 2006 (2): 50-53.
- [3] 陈 芳, 丁会利. 国内外抗菌塑料的发展及其应用[J]. 广州化工, 2005, 33(5): 34-35.  
Chen Fang, Ding Huili. Development of Antibacterial Plastic at Home and Abroad and Its Application[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2005, 33(5): 34-35.
- [4] Pramila Tripathi, Dubey N K. Exploitation of Natural Products as an Alternative Strategy to Control Postharvest Fungal Rotting of Fruit and Vegetables[J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 32(3): 235-245.
- [5] 王 男, 王晓敏. 抗菌材料及其在包装中的应用[J]. 技术与应用, 2006(4): 69-71.  
Wang Nan, Wang Xiaomin. Application of Aseptic Materials in the Package[J]. Technology and Application, 2006(4): 69-71.
- [6] 李玉芳, 李 明. 塑料抗菌剂的研发进展[J]. 国外塑料, 2009, 27(1): 68-72.  
Li Yufang, Li Ming. The Research and Development Progress of Plastics Antimicrobial Agents[J]. World Plastics, 2009, 27(1): 68-72.
- [7] 杨远谊. 抗菌保鲜膜研究及进展[J]. 包装工程, 2007, 28(6): 201-203.  
Yang Yuanyi. Advance in Research of Antimicrobial Preservative Film[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(6): 201-203.
- [8] Weng Y, Hotchkiss J. Anhydrides as Antimycotic Agents Added to Polyethylene Films for Food Packaging[J]. Packaging Technology and Science, 1993(6): 123-128.
- [9] 毛健康, 王 灿, 沈新元. 季铵盐类高聚物含量对聚季铵盐/聚醚砜共混膜形态结构和性能的影响[J]. 膜科学与技术, 2009, 29(5): 44-48.  
Mao Jiankang, Wang Can, Shen Xinyuan. Effect of Polymeric Quarternary Ammonium Salt Content on Morphology and Properties of Polymeric Quarternary Ammonium Salt/Polyethersulfone Blend Membrane[J]. Membrane Science And Technology, 2009, 29(5): 44-48.
- [10] Nariyoshi Kawabata, Kiyokazu Takagishi, Masayuki Nishiguchi. Coagulation and Sedimentation of Microbial Cells by Soluble Pyridinium-Type Polymers[J]. React Polym, 1989, 10(2/3): 269-273.
- [11] Li G, Shen J, Zhu Y. Study of Pyridinium-Type Functional Polymers: II. Antibacterial Activity of Soluble Pyridinium-Type Polymers[J]. Journal of Applied Polymer Science, 1998, 67(10): 1761-1768.
- [12] 孙 剑, 乔学亮, 陈建国. 无机抗菌剂的研究进展[J]. 材料导报, 2007(21): 344-348.  
Sun Jian, Qiao Xueliang, Chen Jianguo. Advancement in Research on Inorganic Antibacterial Materials[J]. Materials Review, 2007(21): 344-348.
- [13] 蔡佑星, 金玉洁, 王章苹. LDPE/nano-Ag复合膜的抗菌性[J]. 包装工程, 2010, 31(9): 54-56.  
Cai Youxing, Jin Yujie, Wang Zhangping. Antibacterial Property of LDPE/Nano-Ag Composite Membrane[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(9): 54-56.
- [14] 韩永生, 孙耀强, 高留意, 等. 抗菌保鲜膜的研究与应用[J]. 食品工业科技, 2005, 26(4): 146-147.  
Han Yongsheng, Sun Yaoqiang, Gao Liuyi, et al. Study and Application of the Antibacterial Fresh-Keeping Film [J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 26(4): 146-147.
- [15] 李 勇, 高明侠. 金属离子抗菌保鲜膜的试验研究[J]. 包装工程, 2002, 23(2): 11-14.  
Li Yong, Gao Mingxia. Study on Antibacterial Membrane of Metal Ion[J]. Packaging Engineering, 2002, 23(2): 11-14.
- [16] 付国柱, 于运花, 徐瑞芬, 等. 纳米 TiO<sub>2</sub> 改性聚乙烯膜抗菌性能的研究[J]. 工程塑料应用, 2003, 31(4): 37-39.  
Fu Guozhu, Yu Yunhua, Xu Ruifen, et al. Study on the Antibiotic Property of Polyethylene Plastic Film Modified by Nano-TiO<sub>2</sub>[J]. Engineering Plastics Application, 2003, 31(4): 37-39.
- [17] 应丽英. 抗菌塑料的开发及评价标准[J]. 现代塑料加工应用, 2003, 15(2): 49-52.  
Ying Liying. The Development and Evaluative Standard of Antibacterial Plastic[J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2003, 15(2): 49-52.
- [18] 谭绍早, 张 红, 陈震华, 等. PE抗菌食品保鲜膜的研制[J]. 塑料工业, 2003, 31(10): 51-53.  
Tan Shaozao, Zhang Hong, Chen Zhenhua, et al. Development of PE Antibacterial Foodstuff Preservative Film[J]. China Plastics Industry, 2003, 31(10): 51-53.
- [19] 陈 兵. 新型复合抗菌包装材料[J]. 上海塑料, 2003(3): 31.  
Chen Bing. New Composite Antimicrobial Materials of Packaging[J]. Shanghai Plastic, 2003(3): 31.
- [20] 李全华, 程金树, 徐 瑛. Zn<sup>2+</sup>掺杂对Ag-SiO<sub>2</sub>薄膜抗菌性能的影响[J]. 武汉理工大学学报, 2009, 31(4): 92-94.  
Li Quanhua, Cheng Jinshu, Xu Ying. Influence of Doping Zn<sup>2+</sup> on the Antibacterial Property of Ag-SiO<sub>2</sub> Films[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2009, 31(4): 92-94.
- [21] 张惠珍. 不同种类壳聚糖/LDPE抗菌塑料性能初探[J]. 塑料工业, 2008, 36(11): 39-48.  
Zhang Huizhen. Primary Investigation on Property of Different Chitosan/Antibacterial Low Density Polyethylene Plastics[J]. China Plastics Industry, 2008, 36(11): 39-48.
- [22] 唐汝培, 杜予民, 郑 化, 等. 壳聚糖/羧甲基魔芋葡甘聚糖共混膜[J]. 武汉大学学报: 理学版, 2001, 47(6): 721-724.  
Tang Rupei, Du Yumin, Zheng Hua, et al. Blend Films of Chitosan-Carboxymethyl Konjac Glucomannan[J]. Journal of Wuhan University: Natural Science Edition, 2001, 47(6): 721-724.

- [23] 谢长志, 刘俊龙. 壳聚糖衍生物抗菌塑料制备与性能评价[J]. 塑料工业, 2006, 34(7): 62-64.  
Xie Changzhi, Liu Junlong. Preparation and Property Evaluation of Chitosan Ramification Antibacterial Functional Plastics[J]. China Plastics Industry, 2006, 34(7): 62-64.
- [24] 邓靖, 谭兴和, 周晓媛. 丁香油-海藻酸钠可食性抗菌膜的研制[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 302-305.  
Deng Jing, Tan Xinghe, Zhou Xiaoyuan. Research on Edible Antimicrobial Lilac Oleoresin Sodium Alginate Film [J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 302-305.
- [25] 袁志, 王明力. 壳聚糖在果蔬贮藏保鲜中的应用研究[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(7): 145-147.  
Yuan Zhi, Wang Mingli. Application of Chitosan in Storage and Freshness Preservation of Fruits and Vegetables[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2009, 37(7): 145-147.
- [26] 张新虎, 何静, 沈慧敏. 苍耳提取物对番茄灰霉病菌的抑制作用及抑菌机理初探[J]. 草业学报, 2008, 17(3): 99-104.  
Zhang Xinhui, He Jing, Shen Huimin. Primary Study on Fungistasis and Fungistatic Mechanisms of Xanthium Sibiricum on Botrytis Cinerea[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2008, 17(3): 99-104.
- [27] 韩淑琴, 杨洋, 黄涛, 等. 仙人掌提取物的抑菌机理[J]. 食品科技, 2007(3): 130-134.  
Han Shuqin, Yang Yang, Huang Tao, et al. The Bacteriostatic Mechanism of the Cactus Extracts[J]. Food Science and Technology, 2007(3): 130-134.
- [28] Shetty R S, Singhal R S, Kulkarni P R. Antimicrobial Properties of Cumin[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 1994 (10): 232-233.
- [29] 李巧如, 刘宗智, 任健康, 等. 丁香提取物抗菌机理的探讨[J]. 西北药学杂志, 2001, 16(6): 261-262.  
Li Qiaoru, Liu Zongzhi, Ren Jiankang, et al. Antibacterial Mechanism of General Extract of Fols Caryophylli[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2001, 16(6): 261-262.
- [30] 吴传茂, 吴周和. 丁香提取液的抑菌作用研究[J]. 湖北工学院学报, 2000, 15(1): 43-45.  
Wu Chuanmao, Wu Zhouhe. Studies on Antibacterial Activity of Eugenia Cargophyllata Thunb Extract[J]. Journal of Hubei Polytechnic University, 2000, 15(1): 43-45.
- [31] Valero M, Salmeron M C. Antibacterial Activity of 11 Essential Oils against Bacillus Cereus in Tyndallized Carrot Broth[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 85: 73-81.
- [32] 郝喜海. 水溶性塑料包装薄膜的研究、开发与应用现状[J]. 包装工程, 2004, 25(4): 175-176.  
Hao Xihai. The Current Situation of the Study, Development and Application of the Soluble Plastic Packing Film[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(4): 175-176.
- [33] 郝喜海. 水溶性塑料包装薄膜的研究、开发与应用[J]. 株洲工学院学报, 2004, 18(5): 144-147.  
Hao Xihai. Study, Development and Application of Soluble Plastic Packing[J]. Journal of Zhuzhou Institute of Technology, 2004, 18(5): 144-147.
- [34] Alexy P, Lacík I, Simková B, et al. Effect of Melt Processing on Thermo-Mechanical Degradation of Poly (Vinyl Alcohol)s[J]. Polymer Degradation and Stability, 2004, 85(2): 823-830.

(责任编辑: 蔡燕飞)