

抗菌包装研究进展

赵俊燕, 罗世永, 许文才

(北京印刷学院 印刷包装材料与技术重点实验室, 北京 102600)

摘要:总结了引起食品变质的原因,介绍了抗菌包装中所用抗菌剂,如无机抗菌剂、有机抗菌剂、天然抗菌剂、纳米抗菌剂和气体抗菌剂,简要描述了抗菌剂在食品包装中的应用进展。

关键词:抗菌包装;天然抗菌剂;无机抗菌剂;纳米抗菌剂

中图分类号:TS206;TB487 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3563(2012)05-0132-06

Research Development of Antimicrobial Packaging

ZHAO Jun-yan, LUO Shi-yong, XU Wen-cai

(Beijing Key Laboratory of Printing & Packaging Materials and Technology, Beijing Institute of Graphic Communication, Beijing 102600, China)

Abstract: The causes of food spoilage were summarized. The antimicrobial agents used in packaging were introduced, such as inorganic antiseptics, organic antibacterial agent, natural antimicrobials, nano antibacterial agent and gas antibacterial agent. The application progress of antibacterial agents in food packaging was described.

Key words: antimicrobial packaging; inorganic antimicrobials; natural antimicrobials; nano antibacterial agent

随着社会的进步和经济的发展,现代人对食品的消费需求日益提升,对营养、卫生、安全、食用方便和多层次消费等方面均提出了要求。食品离不开包装,包装的好坏直接影响食品的质量、档次和市场销售。食品包装越来越引起人们的重视。

1 食品变质的原因

导致包装食品品质恶化的因素十分复杂。光线、氧气、水及水蒸气、高低温、微生物、昆虫、尘埃等因素,均可引起食品变色、氧化、变味、腐败和污染。然而微生物是引起食品变质的主要因素。

食品微生物主要有细菌、酵母菌、霉菌、病菌(毒)几大类。

在自然界中,细菌分布最广、数量最多。食品腐败主要是细菌作用的结果。细菌的基本形态有球状、杆状和螺旋状,分别称为球菌、杆菌和螺旋菌^[1]。食品中的腐生细菌有假单胞菌属、无色杆菌属、产碱杆菌属、小球菌属、链球菌属等;酵母菌是一类单细胞的真核微生物。酵母菌多数属于腐生菌,大部分都是食

品工业中有益的酵母。鲁氏酵母、蜂蜜酵母、汉逊氏酵母和红酵母是为数不多的几种有害的酵母。霉菌多以寄生或腐生的方式生长在阴暗、潮湿环境中,在一定条件下,常引起基质的腐败变质,对食品的品质有极大的影响和危害。受霉菌污染的食品,会改变其正常的营养成分,而且会在食品上积累毒性并形成致癌的霉菌毒素,直接危害人、畜健康及生命安全^[2]。霉菌有假丝酵母属、丝孢酵母属、芽枝霉属、卵孢霉属等。病毒是目前所知道的最小的生物,无细菌结构。病原微生物有结核杆菌、布氏杆菌、炭疽杆菌、沙门菌等^[3]。

2 抗菌塑料包装定义

抗菌包装是通过在包装材料内部或者表面添加抗菌剂或运用满足传统包装要求的抗菌聚合物,得到能够杀死或抑制污染食品表面的腐败菌和致病菌,使被包装物能够得以较长时间保存的一种包装技术^[4-5]。目前,日本抗菌材料在各种日用品上得到了应用,如衣服、厨房用具、卫生器具、包装材料和水处理

理过滤材料等。

3 抗菌包装中所用抗菌剂

抗菌材料是一类具有抑菌和杀菌性能的新型功能材料,而抗菌材料的核心成分则是抗菌剂。

3.1 无机抗菌剂

根据其对微生物的作用机理,无机抗菌材料可以分为2类:一类是抗菌活性金属材料,如银、铜、锌离子中一种或多种的载体型抗菌剂;另一类是具有光催化活性的无机金属氧化物,如氧化锌、二氧化钛等材料——利用光催化作用与水或OH反应,生成一种具有强氧化性的羟基而杀死病毒^[6-7]。

在金属离子中,银离子的抗菌活性最强,铜离子相对比其他金属离子强,因此含银离子抗菌剂的研究与应用最为广泛。一般认为,银的抗菌机理为^[8-11]:银在光线或水的催化作用下,使气态氧变成活性氧,从而破坏微生物的结构;Ag⁺可强烈吸引细菌体中蛋白酶上的巯基(-SH),使蛋白酶失活,导致细菌死亡。当细菌被杀死后,Ag⁺还可从细菌尸体中游离出来,再与其他菌落接触,循环往复,这也是银能持久性杀菌的原因。研究表明,作用时间相同时,银浓度越高抑菌率越高;相同浓度下,作用时间越长抑菌率越高。并且其热稳定性良好,经高温处理后仍有良好的抑菌效果。

无机系抗菌剂是通过将无机抗菌成分与载体结合而制得。根据载体材料的种类,可将金属离子型抗菌剂分为:沸石型抗菌剂、磷酸盐型抗菌剂、膨润土抗菌剂、蒙脱石抗菌剂、硅胶抗菌剂^[12]。在众多的载体中,以沸石作为载体的抗菌剂抗菌效果最强,因此目前无机体系抗菌剂大多采用沸石做载体^[13]。日本开发的银离子置换沸石是一种常用于塑料混合的抗菌剂。

3.2 有机抗菌剂

有机抗菌剂可分为天然有机抗菌剂、低分子有机抗菌剂和高分子有机抗菌剂等。从动物壳中提取出的壳聚糖即为天然有机抗菌剂。低分子有机抗菌剂有季铵盐类、季磷盐、双胍类、醇类、酚类、有机金属、吡啶类等。

有机抗菌剂的抗菌机理主要有^[14]:①有机抗菌剂与细菌、霉菌细胞膜表面的阴离子相结合,或与巯基反应,破坏蛋白质和细胞膜的合成系统,从而抑制

细菌和霉菌的繁殖;②通过引入抗菌官能团使抗菌高分子获得抗菌性能,抗菌官能团的获取途径有2种,包括通过带官能团的单体均聚、共聚引入,以及通过接枝引入。

3.3 天然抗菌剂

经过多年的研究,现已开发了多种天然抗菌剂,如溶菌酶、壳聚糖、纳他霉素、乳酸链球菌素、双乙酸钠和赖氨酸等。天然抗菌剂大部分来自天然物质的提取物,大致可分为动植物和矿物三大类^[15]。

3.3.1 天然动物抗菌剂

动物类天然抗菌剂有甲壳质、壳聚糖和昆虫抗菌性蛋白质等。

1) 壳聚糖。

壳聚糖是由甲壳素脱乙酰基形成。其抗菌机理为:①通过干扰菌体细胞膜的功能而达到抑菌的效果;②直接与菌体DNA和mRNA作用而抑菌;③激活几丁质酶进行抑菌;④壳聚糖上带正电荷的游离氨基,干扰细胞表面的负电荷,导致细胞物质外泄,使微生物死亡;⑤与细胞质发生作用,抑制微生物细胞生命活动^[16]。

刘俊龙等人研究发现,壳聚糖接枝甲基丙烯酸甲酯在LDPE树脂中分散良好,在抗菌塑料中加3份抗菌剂时,抗菌塑料对大肠杆菌、枯草杆菌的抗菌率超过90%,当添加量达到4份时,抗菌效果最好^[17]。

2) 抑菌活性蛋白。

抑菌活性蛋白是活性蛋白之一,抗菌肽、细菌素、溶菌酶均有抗菌及抑菌功能,属于抑菌活性蛋白类物质。

以溶菌酶为例,溶菌酶本身是一种无毒、无害、安全性很高的蛋白质,能溶解许多细菌的细胞膜,使细胞膜的糖蛋白质类,加水多发生分解而引起溶菌现象。常见的溶菌酶有:c型——鸡蛋卵清溶菌酶、g型——鹅卵清溶菌酶、噬菌体溶菌酶、人溶菌酶、动物溶菌酶等。溶菌酶对革兰氏阳性菌、好气性孢子形成菌、枯草杆菌、大肠杆菌等均有良好的抗菌能力。而且它是碱性蛋白,即使是已经变形的溶菌酶也有杀菌效果,可用于食品防霉。在食品工业、医学、酶工程上均已应用^[18-19]。

3.3.2 天然植物抗菌剂

从天然绿色植物中提取的抗菌剂即为植物源抗菌剂。被称为“植物神”的绿色天然植物芦荟,具有杀菌、抗炎、湿润美容等作用,且其热稳定性强、抑菌浓

度低、抑菌 pH 范围广、安全无毒;多年生野生草本植物艾蒿对炭疽杆菌、甲型溶血性链球菌、乙型溶血性链球菌、白喉杆菌、肺炎双球菌、金黄色葡萄球菌、枯草杆菌等均有抑制作用;茶叶、石榴皮、鱼腥草、甘草、板蓝根、竹子、银杏叶等具有抗菌作用^[20]。

1) 天然植物香辛料。

采用物理提取方法,对香辛料植物不同部位的组织或分泌物进行提取,得到的一类天然香料即为香辛料精油。芥菜籽、丁香、桂皮、小豆蔻、甘牛至、百里香、豆蔻衣等精油都有一定的抗菌作用;香辛料植物精油的成分和其抑菌作用之间存在密切的关系。通常可将香辛料植物精油成分对微生物细胞抗菌机理分为以下方式:对细胞壁降解;破坏细胞质膜、膜蛋白;胞内成分渗出;胞质凝结;分子主动运输力损耗^[21-23]。

2) 天然抗菌中草药。

具有抗菌作用的天然抗菌中草药有金银花、连翘、黄连、黄芪、竹沥、穿心莲、夏枯草、五倍子等。高尚进等人对黄连、黄芩、半边莲、蒲公英、穿心莲、野菊花、连翘、艾叶、夏枯草、五味子、金银花等 11 种中药进行研究,发现这些中草药对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌、绿脓杆菌、变形杆菌、枯草杆菌、痢疾杆菌、伤寒杆菌、白色念珠菌等 8 种临床常见细菌均有抑菌效果,其中黄连具有最好的抑菌效果,黄芩、夏枯草、五味子次之^[24]。

3.3.3 天然矿物抗菌剂

胆矾、雄黄等从矿物质中提取的天然抗菌剂为天然矿物抗菌剂。其中胆矾对化脓性球菌、痢疾杆菌和沙门氏菌均有较强的抑制作用,雄黄对肠道致病菌和多种皮肤真菌有很强的杀菌效果。

3.4 纳米抗菌材料

纳米抗菌材料是指将纳米无机材料通过特殊工艺添加到包装材料中,使材料具有持久、长效的抗菌、杀菌性能的新型功能材料。纳米无机抗菌剂将金属离子抗菌技术、光催化抗菌技术和纳米级粉体抗菌制备技术相结合,兼具无机材料固有的稳定性,纳米粒子特有的表面界面效应和抗菌成分的高效、广谱抗菌性能,且由于其表面的原子数量远多于原材料粒子,使抗菌材料与细菌的亲合力增强,从而达到抑制和杀死细菌、各种微生物的目的,同时还具有持久、安全的抗菌作用^[25-26]。

研究发现,在聚合物中添加纳米 ZnO 和纳米 Ag-

ZnO,随着纳米材料含量的增加,其抗菌性能逐渐增强。纳米 ZnO 的添加量为 1.5%(质量分数)时,抗菌率在 95%以上;纳米 Ag-ZnO 的添加量为 1.5%(质量分数)时,抗菌率达 100%^[27]。纳米氧化锌、二氧化钛等纳米抗菌材料具有广谱、持久长效抗菌性及优异的耐热性(1 000~1 500 ℃),还具有耐盐碱、保鲜抗菌、能再封、易开封等优点,广泛用于食品包装业。

MOD 系列纳米高性能无机抗菌材料是无机抗菌包装材料的一种,以各种无机材料为载体,采用高科技纳米技术制备而成的抗菌材料,主要抗菌成分是 MOD 活性基因和无机纳米银化合物,区别于传统抗菌剂生产工艺——单纯以银、铜、锌等金属离子为抗菌活性成分,该抗菌剂结合金属离子作用和光催化作用,具有广谱、强力、安全长效的抗菌性能,且耐高温等特点,对常见的大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌、黑曲霉菌、青霉菌、绿脓杆菌、沙门杆菌等有较强的抗菌作用,适用广泛、使用方便^[28]。

3.5 复合抗菌剂

复合抗菌剂有有机/无机、无机/有机、有机/有机等多种复配方式。

研究表明:季磷盐——锌/蒙脱土复合抗菌剂抗革兰氏阳性菌(金黄色葡萄球菌)优于革兰氏阴性菌(大肠杆菌),该复合抗菌剂抗菌性能明显比载锌蒙脱土好^[29]。陈旭等人^[30]发现,利用复合偶联剂对无机金属离子/纳米二氧化钛抗菌剂进行表面处理,可以有效地提高抗菌剂与基体聚合物的亲和能力。

3.6 气态型抗菌剂

乙醇、二氧化氯为气态型抗菌剂,该类抗菌剂与固态型和溶质型化学抗菌剂相比,能够通过蒸发而渗透进入包装内非气态抗菌剂到达不了的空间。

乙醇是非常理想的食品杀菌剂,可将食品级乙醇先吸附到一种惰性粉末载体上,然后将其装入透气性小袋中。惰性粉末物质先吸收食品中的水蒸气,接着向包装空间释放乙醇蒸汽,从而使食品长期处于含乙醇蒸汽的气氛中。此种商品可广泛用于糕点、奶酪等制品^[31]。

二氧化氯是一种高活性、广谱抗微生物剂,对病原体 and 形成的芽孢均有抑制作用。其作用浓度较低,且反应的最终产物氯离子是无毒无害的。二氧化氯作为食品“包装”主要应用在潮湿条件中,如对盛装新鲜食品的托盘底部有水或湿渗部分的微生物进行控制。

4 抗菌剂的应用

抗菌塑料不但应有良好的力学强度、化学稳定性、加工性能、环境适应性、高效性、广谱及长效抗菌性,还应具有无毒、无臭和对生物无害的特性。安全、高效与塑料相容性好的抗菌剂是研究的重点。

4.1 纳米抗菌材料在食品包装工业中的应用

用纳米抗菌剂改性的 PE 和 PP 薄膜,作液体奶无菌包装中牛奶的包装材料,研究发现,相同条件下,保鲜袋中牛奶保鲜期能从 3 d 增到 8 d 以上;牛奶袋的热变形温度、拉伸和弯曲性能都大大提高,变成真正摔不破的牛奶袋;气体阻隔性比一般薄膜高 3~5 倍;能有效抑制和杀死大肠杆菌、金黄色葡萄球菌,防止各种微生物的生长;且纳米薄膜价位还比铝塑复合膜低。添加 0.5%~2% 的 MOD 抗菌剂,制备所得的 MOD 系列纳米高性能无机抗菌产品,结合了纳米技术与牛奶、饮料无菌复合包装,该产品具有良好的长效抗菌功能,其抗菌率可达 99.9%^[32]。

4.2 香辛料、中草药中的抗菌成分的应用

自然界的天然植物中存在许多具有抑菌作用的生理活性物质,国内外对植物源天然食品抗菌剂已经做了大量的研究工作。

研究表明:姜、辣椒、花椒提取液对枯草杆菌、大肠杆菌和金黄色葡萄球菌都有一定的抑制作用,且随着浓度的增大,抑菌作用增强。60%姜提取液对枯草杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制率分别达到 99.3% 和 98.3%;4.8%辣椒提取液对枯草芽孢杆菌的抑制效果达到 99.7%;7.54%花椒提取对枯草杆菌的抑制率达 100.0%^[33]。

Laura 将香芹酚和百里香酚微胶囊化制备的塑料薄膜,对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、李斯特菌、酿酒酵母和黑曲霉等具有抑制作用,该聚合物薄膜可用于食品包装^[34]。日本 Unitika 公司,将艾蒿的提取物吸附在多孔的微胶囊状无机物中,制成 Evercare 产品。日本还有以艾蒿染色的织物加工制成的睡衣裤,可用于特异反应性皮炎患者^[35]。

植物香辛料抗菌抑菌的活性物质主要是精油。研究发现,天然食品抗菌剂的抑菌性存在协同增效作用,以丁香和肉桂精油为例,它们单独使用时,对细菌、霉菌和酵母菌具有不同的抑制作用。然而当丁香和肉桂精油联合使用后,对白葡萄球菌、枯草杆菌、黑

曲霉及鲁氏酵母的抑制作用协同增效,对大肠杆菌、青霉及酿酒酵母表现出相加的作用效果^[36]。

日本研究人员还发明了一种抗菌防霉功效优异的防霉包装袋,该包装袋是通过在聚烯烃系树脂中加入 0.01%~0.05% 的香草醛或乙基香草醛制备所得,对金黄色葡萄球菌及大肠杆菌的抑菌率均超过 99.9%,防霉等级达一级;具有良好的薄膜阻隔性、无毒无刺激性和优良的使用安全性。作糕点、固体饮料、肉类、水产品以及加工品的包装时,可保证所包装食品在运输和储存中,长期不发生霉变。该包装将逐步取代饼干、月饼、蛋糕等食品的传统包装,成为食品包装的新趋势^[37]。

5 抗菌包装发展前景

食品中的微生物一旦开始作用,无论加入的抗菌剂如何有效,都无法使食品恢复到感官上新鲜的状态。故可在使用抗菌包装前对产品进行无菌处理,将抗菌包装与无菌包装相结合,从而达到更好的抗菌效果;将纳米抗菌材料应用于无菌包装,可使被包装材料保鲜效果更好,MOD 系列纳米无机产品等,均为未来发展的方向;另外,天然抗菌剂以其强抗菌性、安全无毒、水溶性好、热稳定性好、作用范围广的优点,将成为未来研究开发的主要方向。

参考文献:

- [1] 徐文达. 食品软包装材料与技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
XU Wen-da. Food Flexible Packaging Material and Technology[M]. Beijing: China Machine Press,2003.
- [2] 杨福馨. 食品包装实用新材料新技术[M]. 北京:化学工业出版社,2002.
YANG Fu-xin. Food Packing Practical New Material and New Technique [M]. Beijing Chemical Industry Press,2002.
- [3] 张露. 食品包装[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
ZHANG Lu. Food Packing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [4] 季军晖. 国外塑料用抗菌剂及抗菌塑料[J]. 国外塑料, 2004,22(3):38-42.
JI Jun-hui. Foreign Antimicrobials and Antimicrobial Plastics Status[J]. World Plastics,2004,22(3):38-42.
- [5] 高艳玲,姜国伟,李铁强,等. 食品抗菌包装技术及研究

- 进展[J]. 塑料工业, 2004, 32(2): 6—8.
- GAO Yan-ling, JIANG Guo-wei, LI Tie-qiang, et al. Advance in Study of New Trends of Antibacterial Food Packaging Technique[J]. China Plastics Industry, 2004, 32(2): 6—8.
- [6] 聂柳慧, 韩永生. 抗菌包装材料的制备和应用[J]. 中国包装工业, 2005(9): 62—63.
- NIE Liu-hui, HAN Yong-sheng. Aceptic Packaging Materials Production and Application[J]. China Packaging Industry, 2005(9): 62—63.
- [7] 李玉芳, 李明. 塑料抗菌剂的研究开发进展[J]. 精细化工原料及中间体, 2009, 27(1): 68—72.
- LI Yu-fang, LI Ming. The Research and Development Progress of Plastics Antimicrobial Agents [J]. Fine Chemical Industrial Raw Materials & Intermediates, 2009, 27(1): 68—72.
- [8] 刘伟, 张子德, 王琦, 等. 纳米银对常见食品污染菌的抑制作用研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(5): 135—137.
- LIU Wei, ZHANG Zi-de, WANG Qi, et al. The Inhibitory Effects of Nanoscale Silver on Familiar Food Pollutant Bacteria[J]. Food Research and Development, 2006, 27(5): 135—137.
- [9] 宋明明, 张会彦, 张伟, 等. 银系抗菌材料对食品污染菌抑制作用的研究[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(6): 43—47.
- SONG Ming-ming, ZHANG Hui-yan, ZHANG Wei, et al. The Inhibitory Effects of Silver Antimicrobial Material on Familiar Food Pollutant Bacteria[J]. Food Research and Development, 2009, 30(6): 43—47.
- [10] 墙蔷, 倪红卫, 幸伟, 等. 银的抗菌作用机理[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版), 2007, 30(2): 121—124.
- QIANG Qiang, NI Hong-wei, XING Wei, et al. Antibacterial Mechanism of Silver[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2007, 30(2): 121—124.
- [11] 韩秀秀, 何文, 田修营, 等. 银系无机抗菌材料抗菌机理及应用[J]. 山东轻工业学院学报, 2010, 24(1): 25—27.
- HAN Xiu-xiu, HE Wen, TIAN Xiu-ying, et al. Antimicrobial Mechanism of Silver-typed Inorganic Antimicrobial Materials and Its Application[J]. Journal of Shandong Institute of Light Industry, 2010, 24(1): 25—27.
- [12] 夏海民, 孙斌, 冯新星. 无机抗菌剂的分类、应用及发展[J]. 纺织导报, 2010(6): 115—117.
- XIA Hai-min, SUN Bin, FENG Xin-xing. Classification, Application and Development of the Inorganic Antibacterial Materials[J]. China Textile Leader, 2010(6): 115—117.
- [13] 贺岚, 杨武斌, 陈常明. 无机抗菌剂应用现状及发展趋势研究[J]. 湖南科技学院学报, 2007, 28(4): 113—116.
- HE Lan, YANG Wu-bin, CHEN Chang-ming. Recent Research, Application and Development Trend of Inorganic Antimicrobial Agent[J]. Journal of Hunan University of Science and Engineering, 2007, 28(4): 113—116.
- [14] 张葵花, 林松柏. 有机抗菌剂研究现状及发展趋势[J]. 涂料工业, 2005, 35(5): 45—49.
- ZHANG Kui-hua, LIN Song-bai. Present & Future of Organic Antibacterial Agents[J]. Paint & Coatings Industry, 2005, 35(5): 45—49.
- [15] 丁帅. 天然抗菌剂及其应用[J]. 山东纺织科技, 2010(5): 50—53.
- DING Shuai. Natural Anti-bacterial Agent and Its Application[J]. Shandong Textile Science & Technology, 2010(5): 50—53.
- [16] 刘楠, 陈西广, 刘成圣, 等. 壳聚糖抑菌性能研究进展[J]. 海洋科学, 2005, 29(10): 90—92.
- LIU Nan, CHEN Xi-guang, LIU Cheng-sheng, et al. Development of Antibacterial Activity of Chitosan[J]. Marine Sciences, 2005, 29(10): 90—92.
- [17] 刘俊龙, 孙振玲. 壳聚糖接枝甲基丙烯酸甲酯在抗菌塑料中的应用[J]. 塑料科技, 2008, 36(4): 64—68.
- LIU Jun-long, SUN Zhen-ling. Application of Chitosan-g-MMA in Antibacterial Plastics[J]. Plastics Science and Technology, 2008, 36(4): 64—68.
- [18] 林向阳, 何承云, 阮榕生, 等. 溶菌酶及其应用研究[J]. 中国食品添加剂, 2005(6): 103—106.
- LIN Xiang-yang, HE Cheng-yun, RUNA Rong-sheng, et al. Study on the Lysozyme and Its Applications[J]. China Food Additives, 2005(6): 103—106.
- [19] 胡建平, 吴琦. 抑菌活性蛋白(肽)作为食品防腐剂的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(1): 168—172.
- HU Jian-ping, WU Qi. Progress of Research on Antibacterial Protein (Peptide) as Food Preservative[J]. Food Research and Development, 2008, 29(1): 168—172.
- [20] 翼德. 天然植物源抗菌剂的种类[J]. 纺织装饰科技, 2008(4): 6—7.
- YI De. The Types Natural Antibacterial Agents from Plants[J]. Textile Decoration Science and Technology, 2008(4): 6—7.
- [21] ULTEE A, BENNINK M H J, MOEZELAAR R. The Phenolic Hydroxyl Group of Carvacrol is Essential for Action Against the Food-borne Pathogen Bacillus Cereus

- [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2002, 68 (4): 1561—1568.
- [22] LAMBERT R J W. A Study of the Minimum Inhibitory Concentration and Mode of Action of Oregano Essential Oil Thymol and Carvacrol[J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 91: 543—462.
- [23] ULTEE Smid A, SMID E J. Influence of Carvacrol on Growth and Toxin Production by Bacillus Cereus[J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 64: 373—378.
- [24] 高尚进, 毛艳, 周汉东, 等. 11 种中草药对 8 种常见细菌的体外抑菌试验[J]. 川北医学院学报, 2008, 23(5): 466—468.
- GAO Shang-jin, MAO Yan, ZHOU Han-dong, et al. Experimental Research on Anti-bacterial Effect of 11 Kinds of Chinese Herbal Medicine Against 8 Kinds of Common Bacteria in Vitro[J]. Journal of North Sichuan Medical College, 2008, 23(5): 466—468.
- [25] 梁慧锋. 纳米抗菌材料的杀菌作用[J]. 科技创新导报, 2009(33): 99.
- LIANG Hui-feng. The Sterilization Effect of Nano-antibacterial Materials[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2009(33): 99.
- [26] 陈希荣. 纳米抗菌包装材料的开发与应用一[J]. 中国包装, 2009(2): 56—58.
- CHEN Xi-rong. The Development and Application of Nano-antibacterial Packaging Materials One [J]. China Packaging, 2009(2): 56—58.
- [27] 纳宏波, 许绿丝. 纳米抗菌塑料抗菌性能的测定[J]. 材料导报, 2008, 22(S2): 35—37.
- NA Hong-bo, XU Lv-si. Determination of Antibacterial Properties of Nanometer Antibacterial Plastics[J]. Materials Review, 2008, 22(S2): 35—37.
- [28] 陈希荣. 纳米抗菌包装材料的开发与应用[J]. 中国包装工业, 2006(10): 51—55.
- CHEN Xi-rong. The Development and Application of Nano-antibacterial Packaging Materials [J]. China Packaging Industry, 2006(10): 51—55.
- [29] 张葵花, 谭绍早, 赵惠明. 有机-无机复合抗菌剂的制备及抗菌性能[J]. 硅酸盐通报, 2007, 26(2): 349—352.
- ZHANG Kui-hua, TAN Shao-zao, ZHAO Hui-ming. Preparation and Antimicrobial Property of Organic-inorganic Composite Antimicrobial Agents [J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2007, 26(2): 349—352.
- [30] 陈旭, 丁会利, 肖山, 等. 稀土 β -成核剂改性无规共聚聚丙烯抗菌塑料的性能表征[J]. 塑料工业, 2010, 38(2): 25—28.
- CHEN Xu, DING Hui-li, XIAO Shan, et al. Study on Properties Characterization of Antibacterial PPR Plastic Modified by Rare Earth β -nucleating Agent [J]. China Plastics Industry, 2010, 38(2): 25—28.
- [31] 阿弗奈南·莱亚. 现代食品包装技术[M]. 崔建云, 译. 北京: 中国农业大学出版社, 2006.
- AHVENAINEN Raija. The Modern Food Packaging Technology[M]. CUI Jian-yun, Translation. Beijing: China Agricultural University Press, 2006.
- [32] 陈希荣. 纳米抗菌包装材料的开发与应用二[J]. 中国包装, 2009(3): 62—63.
- CHEN Xi-rong. The Development and Application of Nano-antibacterial Packaging Materials Two [J]. China Packaging, 2009(3): 62—63.
- [33] 郭红珍, 杜鹃, 史振霞, 等. 几种常见香辛料的抑菌作用研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10273—10274.
- GUO Hong-zhen, DU Juan, SHI Zhen-xia, et al. Study on Anti-bacterial Activity of Several Common Spices[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(17): 10273—10274.
- [34] GUARDA Abel. The Antimicrobial Activity of Microencapsulated Thymol and Carvacrol[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 146(2): 144—150.
- [35] 陈仪本, 施庆珊, 邹海清. 纺织品常用抗菌剂[J]. 针织工业, 2006(8): 25—29.
- CHEN Yi-ben, SHI Qing-shan, ZOU Hai-qing. An Introduction to the Commonly-used Textile Anti-bacteria Agents[J]. Knitting Industries, 2006(8): 25—29.
- [36] 顾仁勇, 傅伟昌, 银永忠. 丁香和肉桂精油联合抗菌作用初步研究[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 115—117.
- GU Ren-yong, FU Wei-chang, YIN Yong-zhong. Preliminary Study on Combined Antiseptic Effects of Clove and Citron Essential Oils[J]. Food Science, 2008, 29(10): 115—117.
- [37] 高愿军. 食品包装[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- GAO Yuan-jun. Food Packaging [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.