

抗菌材料在食品包装中的研究进展

束浩渊¹, 潘磊庆¹, 屠康^{1,*}, 赵葵儿¹, 蒋星仪¹, 陈继昆², 梅为云³

(1.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095; 2.云南省绿色食品发展中心, 云南 昆明 650034;

3.石林绿汀甜柿产品开发有限公司, 云南 石林 652200)

摘要: 食品抗菌包装可以有效抑制被包装食品所处环境中微生物的生长, 延长食品的货架期, 保证食品品质, 在食品领域的地位越发重要。本文阐述了抗菌材料作用机理, 介绍了常用的有机抗菌剂、无机抗菌剂和天然抗菌剂, 并对食品抗菌包装的5种实现方式进行了比较。对国内外近年来抗菌材料的研究进展, 特别是对天然抗菌剂的应用做了详细说明。最后, 结合目前抗菌包装膜和抗菌纸的生产现状, 对食品抗菌包装的未来发展趋势和研究重点进行展望。

关键词: 抗菌材料; 食品; 包装; 货架期; 抗菌剂

Advances in Research on Antibacterial Materials in Food Packaging

SHU Haoyuan¹, PAN Leiqing¹, TU Kang^{1,*}, ZHAO Kuier¹, JIANG Xingyi¹, CHEN Jikun², MEI Weiyun³

(1. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Center of Green Food Development of Yunnan Province, Kunming 650034, China;

3. Shilin Luting Sweet Persimmon Product Development Co. Ltd., Shilin 652200, China)

Abstract: Antimicrobial food packaging can effectively inhibit the growth of microorganisms in the food-packaging environment and prolong the shelf life of the foods. It is becoming increasingly important in the food industry. In this paper, the mechanisms of action of antimicrobial materials and the common antimicrobials including inorganic, organic and natural antimicrobials are described. Five practical methods of antimicrobial food packaging are compared. Recent progresses in recent years, particularly in the application of natural antibacterial materials are summarized in detail. To conclude this paper, considering the current production status of antimicrobial packaging film and paper, the future trends and research focuses of antimicrobial food packaging are discussed.

Key words: antibacterial materials; food; packaging; shelf life; antimicrobials

中图分类号: TS206

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2015)05-0260-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201505047

食品中含有丰富的营养成分, 在较适宜的温度和湿度条件下, 微生物可大量生长繁殖。而良好的食品包装可以保障食品品质, 防止食品在生产、运输、贮藏、销售等过程中受到微生物或其他物质污染, 减少食品氧化等反应发生率, 延长货架期。同时也起到了装饰宣传、美化外观以及增值等作用^[1-2]。

近年来, 食品包装新材料和新技术的开发应用与日俱增, 人们对食品包装的要求也随之提高^[3]。消费者普遍希望购买到口感良好、品质安全且不含防腐剂的食品, 因此, 抗菌包装材料的作用显得尤为重要。一方面, 抗菌材料可以保障食品品质, 减少微生物污染; 另一方面则可以有效减少食品中防腐剂的添加, 满足消费者的购买需求^[4]。

1 抗菌材料及抗菌剂作用机理

抗菌材料是指在包装材料内部或表面添加抗菌剂, 使材料自身具有抑制、延缓食品表面微生物生长繁殖作用的新型材料, 如抗菌塑料、抗菌膜、抗菌纸等。它具有卫生自洁功能, 并能有效地防止细菌交叉感染, 因其抗菌周期与包装在使用期间同步, 因此在食品包装行业中具有广泛的开发应用前景^[5-6]。

包装材料的抗菌功能目前主要是通过以下两种方式实现的: 1) 直接抗菌, 包装材料中的抗菌剂与食品直接接触, 实现抗菌目的; 2) 间接抗菌, 在包装材料中添加可以改变包装内微环境的物质, 或者利用载体的选择透过性等特殊性能来抑制微生物的发育繁殖^[7]。

收稿日期: 2014-04-15

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303088); “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD28B01);

江苏省农业科技支撑计划项目(BE2014399); 江苏省高等学校大学生实践创新训练计划项目(201310307009Y)

作者简介: 束浩渊(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为食品工程。E-mail: 2013808098@njau.edu.cn

*通信作者: 屠康(1968—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品无损检测、贮藏与加工。E-mail: kangtu@njau.edu.cn

抗菌剂是抗菌材料的核心物质,它可以抑制食品中存在的特定微生物的生长繁殖。食品包装中添加的抗菌剂应与包装基材具有良好的相容性,同时不可使用具有毒副作用、刺激性大、异味较大以及会明显影响食品品质的抗菌剂^[8]。抗菌剂种类很多,常见抗菌剂可分为如下3种。

1.1 无机抗菌剂

无机抗菌剂是利用诸如Cu、Ag、Ti等金属、金属离子或金属氧化物的抗菌性能所制成的抗菌剂,通常可以分为光催化型与溶出型两大类。

光催化型抗菌剂是指由光照射(主要为UV照射)和催化剂引发,并促进光催化反应的抗菌剂,催化剂多为N型半导体材料(如TiO₂、ZnO、ZrO₂等)。在一定条件下,光催化型抗菌剂经光照可以发生氧化还原反应,并由此起到杀菌抑菌的作用^[9]。TiO₂是目前最常见的光催化型抗菌剂,特别是锐钛型TiO₂,具有安全性高等优点^[10]。

溶出型抗菌剂是通过离子交换或物理吸附等方法将Cu、Ag、Ti等金属或金属离子添加到无机载体上而制得,可用沸石、活性炭、硅胶、磷酸铝盐和磷酸钛盐等作为其主要载体。抗菌机理分为含金属氧化物抗菌剂的活性氧抗菌和含金属离子抗菌剂的接触反应抗菌。活性氧抗菌原理是以分布在基材表面的微量金属元素作为活性中心,通过吸收环境中的能量来激活材料表面的水或空气中的氧产生活性氧自由基和羟自由基,同时与溶出金属离子杀菌和碱性抗菌另外两种机制协同作用来实现抗菌目的^[11]。

接触反应抗菌的原理则与之不同。由于微动力效应,金属离子在接触微生物时会渗透其细胞膜,进入细胞内部与蛋白质结合使之变性,进而使微生物代谢紊乱并产生功能障碍,从而抑制其生长和繁殖,发挥抗菌作用。微生物死亡后,其体内的金属离子便会溶出,可以发挥长期杀菌作用^[12]。金属离子抗菌活性从强到弱的顺序依次为:Ag、Hg、Cu、Cd、Cr、Ni、Pb、Co、Zn和Fe。由于Cr、Pb、Hg等的毒性较大,所以目前只有Ag、Cu、Zn等被主要用作金属杀菌材料^[13]。

与其他类型的抗菌剂相比,无机抗菌剂的优点是耐热性好、抗菌广谱、抗菌持久性和安全性较高、毒性低、不产生耐药性,缺点是制造困难,工艺复杂,且不同的金属在应用中也有局限性,如铜系抗菌剂颜色较深,银系抗菌剂易氧化变色且价格昂贵,锌及其他金属抗菌效果则相对较差^[5]。

1.2 有机抗菌剂

有机抗菌剂较无机抗菌剂有着更长久应用历史。目前,合成的有机抗菌剂已有500多种,但其中只有几十种较为常用。常用的有机抗菌剂种类有:醇类、酚类、季胺盐类、卤化物类、噻吩类、双胍类、二苯醚类、

吡啶类、咪唑类、有机金属和有机氮类化合物等。有机抗菌剂可以逐渐与微生物细胞膜表面阴离子结合并进入细胞内部,使蛋白质变性并阻碍细胞膜的合成,微生物的正常代谢繁殖便因此受阻^[14]。

有机抗菌剂的优点较为突出,例如来源范围广、杀菌速率快、加工较便捷、颜色稳定性好等,同时,有机抗菌剂生产成本较低,在生产添加过程中的可操作性较好,并具有一定的特异性。缺点是耐热性较差,易在溶剂环境中析出,同时易挥发分解并生成有毒产物,而且在长时间使用后也容易产生耐药性^[15]。基于此,通过有机-无机抗菌剂连用而生产的抗菌材料开始逐渐进入人们的视野,其同时具有有机抗菌剂的高效、持续特点及无机抗菌剂的安全、耐热性能^[16],同时发挥了两者的长处,并规避了各自缺点。

1.3 天然抗菌剂

在历史上,天然抗菌剂是最早使用的抗菌剂^[15],虽然天然抗菌剂大多是有机物,但其与有机抗菌剂具有显著差异。天然抗菌剂主要是从动、植物体内提取或经由微生物合成而制得,优点十分突出:抗菌范围广且安全性高,无毒、无害、环保,具有良好的生物相容性,资源丰富;缺点是耐热性能较差,药效期较短且生产条件及设备受制约^[16-17]。天然抗菌剂主要有包括壳聚糖、细菌素、溶菌酶、植物精油及其提取物等。

1.3.1 壳聚糖

目前,对壳聚糖的抗菌机理有2种观点。一是以带负电荷的细胞膜为作用靶的抗菌机理:Young等^[18]认为,带有氨基正离子的壳聚糖可以吸附在大部分带有负电荷的微生物的表面,形成一层高分子膜,阻碍了细胞正常代谢所需营养物质的供应,同时,也可能是改变了细胞膜的选择通透性,导致了质壁分离现象,使细胞质流失从而起到抗菌作用。另一种观点是以DNA为作用靶的抗菌机理:Muzzarelli等^[19]认为,壳聚糖进入细胞后,可与带负电荷的细胞质产生絮凝作用,并与DNA反应形成稳定的复合物,扰乱了DNA聚合酶或RNA的合成,从而起到抗菌作用。

1.3.2 细菌素

细菌素是细菌在生长代谢过程中产生的一种多肽、蛋白质或蛋白质复合物,具有抑菌活性。其优点为高效、无毒、耐高温、无残留和无抗药性。常见细菌素主要有:乳酸链球菌素(Nisin,也称尼生素)、乳酸片球菌素(Pediocin)、乳链球菌素(Lacticin)、丙酸杆菌素(Propionicin)和肠道菌素(Enterocin),均具有较强的广谱杀菌性。在众多的细菌素中,Nisin有着较长的安全应用历史,并且对革兰氏阳性菌的抑制作用较为显著,因而成为了目前商业应用中最主要的细菌素^[20]。许多研究证实,Nisin能够抑制鼠伤寒沙门氏菌(*S. typhimurium*)^[21]、

单增李斯特菌 (*L. monocytogenes*)、金黄色葡萄球菌 (*S. aureus*)^[22]和热杀索氏菌 (*B. thermosph*)^[23]。大量实验表明Nisin与不同的物质混合后具有不同抗菌作用,例如Nisin和Lacticin在聚酰胺/低密度聚乙烯 (low density polyethylene, LDPE) 中抑制*L. monocytogenes*^[24]和黄色微球菌 (*M. flavus*)^[25],此外,Nisin还可以与Pediocin^[26]、月桂酸^[27]、柠檬酸^[21]等混用起到杀菌作用。

1.3.3 溶菌酶

溶菌酶是一种碱性水解酶,它可以水解细胞壁主要成分之一的黏多糖,其作用机理主要是通过切断位于细胞壁中的 β -1,4糖苷键,破坏细胞壁的基本骨架结构,从而使细胞壁中的不溶性多糖分解成可溶性糖肽,细胞结构因此失去支撑,其内容物在内部渗透压的作用下逸出而最终达到溶菌目的^[28]。溶菌酶可以直接水解革兰氏阳性菌,但对革兰氏阴性菌和真菌的抗菌效果相对较弱^[29]。

1.3.4 植物精油

植物精油属于植物体内的次生代谢物质,由芳香族、脂肪族、萜烯类和少量的含氮、含硫化合物组成,是一类能随水蒸气蒸馏,可在常温下挥发且具有一定芳香气味的油状物质总称^[30-32]。人们对于植物精油抗菌机理的研究尚不够深入,目前主要认为植物精油通过损伤微生物的细胞壁、细胞膜和细胞器的质膜,导致细胞内容物逸出或细胞内外离子浓度变化,从而起到抗菌作用^[33]。Knobloch等^[34]发现植物精油可损伤真菌的细胞膜,抑制其呼吸作用等正常代谢功能;Bard等^[35]证实了香叶醇可以扰乱细胞膜的选择通透性和流动性,导致 K^+ 大量渗透,还能降低细胞膜脂质层的相变温度,而柠檬醛可与一些酶通过其不饱和键结合,使微生物代谢紊乱;Cox等^[36]实验证明茶树精油可以改变细胞膜的通透性,提高 K^+ 的渗透性,使细胞膜化学渗透控制功能丧失,同时抑制呼吸作用从而导致微生物死亡;Carson等^[37]的研究也认为茶树精油是通过损伤细胞膜来达到抑菌作用的。

2 食品抗菌包装的实现方式

目前,食品抗菌包装的实现方式主要可分为5种类型。

2.1 挥发型的抗菌包装

目前,最成功的商业化应用是在包装中添加含有挥发性抗菌物质的小袋,如香囊、衬垫等。常见的主要有湿气吸收剂、氧气吸收剂和乙醇发生器(乙醇气释放剂)3种类型^[38]。湿气吸收剂和氧气吸收剂最初应用于方便面、焙烤产品和肉类的包装中,以减少氧化和水分的聚集。湿气吸收剂可以降低环境中的水分活度,从而抑制微生物的正常代谢;而氧气吸收剂虽然本身并不具备抗菌作用,但它能够通过减少包装环境中的氧气来抑制需氧菌,尤其是霉菌的生长^[39];乙醇发生器在载体中

或在包装袋中通常以胶囊的形式存在,它通过释放乙醇来抑制细菌生长^[40]。目前,乙醇发生器主要应用于延缓焙烤产品和海鲜干货产品中霉菌的生长,如日本市场上出现的Fetek(乙醇和乙酸浸泡的聚烯烃膜)和Ethicap(二氧化硅微胶囊化乙醇),它们通过使细菌蛋白质变性,扰乱正常代谢功能而实现抗菌。此外,还有 ClO_2 、 SO_2 、 CO_2 和异硫氰酸烯丙酯挥发性抗菌体系,理论上,它们可以渗入食物而不必直接接触食品,其释放反应与所处环境的温湿度密切相关。例如,澳大利亚CSIRO开发的能逐步释放 SO_2 的偏重亚硫酸钠垫片材料,可用于葡萄的保鲜。然而 SO_2 的过度释放会产生漂白作用;同时,食品吸收 SO_2 后可能带来安全隐患。此外,当异硫氰酸烯丙酯存在时,如何除臭和控制气体释放速率,是该释放技术的关键所在^[41-43]。

2.2 直接添加抗菌剂的包装材料

目前,在食品包装材料中直接添加抗菌剂以及多种抗菌剂协同作用抑菌的研究逐渐增多。这类包装材料是通过溶解或熔融的方法添加抗菌剂,来实现抑制微生物生长繁殖的目的^[40],生产制作时主要通过以下两种方法实现:1)直接混炼法。先在塑料基材中添加抗菌剂,混匀后直接加工成型,制得抗菌塑料产品。这种方法操作简单,抗菌剂可以依据实际应用条件不同而精确调整添加量,但抗菌剂聚集分布在基材中,分散性能差,所以抗菌性能相对较差;2)抗菌剂母粒化法。此法将基材树脂或和基材树脂具有良好相容性的树脂与抗菌剂通过双螺杆挤出机制成浓缩母粒,之后再加入到包装材料中制作成型。该方法很好地解决了宏观、微观分散的均匀性问题,是抗菌产品的主要制作方法之一^[5]。

2.3 包覆或吸附型的抗菌包装

耐高温性不强的抗菌剂可采取此方法进行添加制作。生产方法为先将包装基材制作成所需形式,如薄膜等,之后对其进行表面处理以提高吸附能力,最后将抗菌剂包覆或吸附在基材的表面,使其具有抗菌性能^[40]。例如,利用压缩空气枪产生高强度压缩空气,它可以将抗菌剂喷射成微粒并分散嵌入到塑料表面上,形成抗菌剂层,通常50~300 μm 的抗菌层就能发挥明显的抗菌作用^[5]。而Bower等^[44]的研究证明,硅藻土在吸附Nisin后,可有效抑制*L. monocytogenes*的生长。

2.4 化学键合型的抗菌包装

该类型包装制作时需首先遴选出抗菌范围广谱、无毒副作用且稳定性高的抗菌官能团,并将其以离子键或共价键的形式连接在包装材料上。因为抗菌官能团是通过化学键的形式与包装材料结合的,所以这种包装克服了普通有机抗菌剂与包装材料相容性差、耐热性差和易分解析出等缺点^[5]。实现这种类型的抗菌包装需要抗菌剂的结构中有专门的官能团可与包装材料相结合。此外,

因为抗菌剂通过化学键与包装材料结合后,其抗菌活性会降低,所以在制作过程中要注意保护其活性位点并相应地增加其与包装材料结合的表面积。在结合方式上,经由离子键固定的抗菌剂可逐步析出到食品中,而通过共价键固定在包装材料上的抗菌剂则较为牢固,只有在高温或高酸条件下才会发生水解反应^[15,40]。郑安呐等^[45]通过该方式制备的抗菌母粒以不超过200 nm的尺寸均匀地分散在基体树脂中,耐热性和相容性均较为良好,并且由于抗菌母粒起到了成核剂的作用,材料的结晶速率大大加快,力学性能也得到了改善。该技术制得的材料性能较为优越,属于新一代抗菌功能材料。

2.5 本身具有抗菌作用的包装材料

自然界中存在着一些可食用的天然抗菌材料,不仅安全无毒,而且本身的抗菌效果优异,可直接用于食品的抗菌包装,如壳聚糖、聚-L-赖氨酸和山梨酸等。例如,聚酰胺薄膜通过UV照射后表面可产生胺离子,而胺离子能提高微生物细胞的黏附性,薄膜便具备了抗菌作用^[46]。壳聚糖具有良好的成膜性,并且由于其透气性能和抗菌性能俱佳,已经作为涂膜保鲜剂被广泛应用在果蔬和肉类的保鲜上。目前,壳聚糖与其他物质(如聚乙烯醇、淀粉等)的共混改性已成为包装材料研究的新方向^[15]。

3 国内外抗菌包装材料的应用实例

3.1 抗菌包装膜

抗菌包装膜是将抗菌剂加入包装基材中制得的薄膜。其中抗菌剂可直接加入或制作成母粒再添加在包装材料内,也可经处理后涂抹在包装材料表面,还可以与高分子物质进行共混加工^[47]。

在众多食品抗菌包装膜当中,其中一部分的工作原理是依靠抗菌剂从包装材料中逐渐析出,释放到食品表面上来发挥抗菌作用。Gutiérrez等^[48]以肉桂精油为抗菌剂,将其固定在厚度为30 μm的微孔聚丙烯薄膜上,将焙烤食品的货架期延长了3~10 d。Miltz等^[49]以皮隔膜蛋白K4K20-S4与玉米淀粉的共混物作为抗菌剂,涂抹在80 μm厚的聚乙烯热收缩膜上,研究证明其对好氧菌和真菌的发育和繁殖有着很好的抑制作用,可用于包装保存新鲜黄瓜。

在抑制真菌的应用方面,Han等^[50]研制了复合质量分数为1.0%的山梨酸钾的LDPE膜,酵母的生长速率在其影响下显著降低,真菌生长的迟缓期也被延长。Chung等^[51]研究表明Styrene-acrylates(苯乙烯丙烯酸盐)能够抑制酿酒酵母(*S. cerevisiae*)的活性。Ming等^[52]通过研究得出抑霉唑可以作为塑料膜中的抗菌剂主要成分,它可以抑制霉菌的发育与繁殖。日本昭和公司研制出了

以载银磷酸锆系为抗菌剂的杀菌效果较强的聚苯乙烯(polystyrene, PS)膜,并广泛应用在了食品包装上^[53]。

壳聚糖及其衍生物因自身特性,已经作为优秀的抗菌剂被广泛使用在抗菌膜的生产上。在壳聚糖抗菌膜对水果的保存实验中,Sangsuwan等^[54]通过研究发现壳聚糖/甲基纤维素膜中加入香兰素之后,鲜切菠萝的乙醇产生量和呼吸速率被明显抑制,并且对*E. coli*(大肠杆菌)和*S. cerevisiae*产生了明显的抑菌作用。与此同时,这种抗菌膜的保湿和护色效果也较好,但会使菠萝中VC含量明显降低。Duan等^[55]以溶菌酶和壳聚糖作为抗菌剂研发出一种抗菌膜,它对*E. coli*、*L. monocytogenes*和荧光假单胞菌(*P. fluorescens*)均有良好的抑制作用。

纳米抗菌食品级塑料包装材料是一种新产品,邱竟^[56]添加了一定量的纳米无机抗菌剂到多层共挤包装材料中,使其具备了抗菌功能且安全无毒,可延长食品货架期。高艳玲等^[57]以LDPE作为包装基材,以纳米级ZnO作为抗菌剂添加到包装基材中,制得纳米改性聚烯烃复合材料,具有较强的、广谱的抗菌能力,可广泛应用于食品抗菌包装。

3.2 抗菌纸

抗菌纸是指具有抑制和杀灭微生物能力,并能延长被包装食品货架期的功能性纸张。目前,各种抗菌剂大多是通过湿部添加法、表面加工法和纤维抄造法3种方法添加到纸张当中的^[9-10]。

在银系抗菌纸的研究中,Tankhiwale等^[58]发现,在最佳引发时间15 min和最佳反应温度30 ℃条件下,将硝酸铈铵和丙烯酸胺与纤维素滤纸接枝共聚,再加载纳米银离子便可制得环保型食品抗菌纸。此法在整个生产过程中无需添加有机溶剂,并且反应条件要求较低,并且对*E. coli*的杀菌效果特别好。杨飞等^[59]通过离子交换法制得了载银量高达5.38%的抗菌纸,其抗菌效果较好,纸张强度基本不变,但白度略微降低。

在生产抗菌剂为Nisin的抗菌纸研制过程中,Kim等^[60]将Nisin分别与聚丙烯酸和醋酸盐-乙烯聚合物混合后涂布在纸上,检测Nisin涂层的抗菌效果和迁移情况后发现,Nisin与醋酸盐-乙烯聚合物混合后能更快地迁移到食物所含的水溶液中,抑制金黄色葡萄球菌ATCC10240的能力也较为良好;而在水中添加盐、糖和柠檬酸后,Nisin在聚丙烯酸中的扩散程度明显减弱。在10 ℃条件下将Nisin混合涂层与巴氏牛奶和橘子汁接触,发现其对好氧菌的抑制作用较为明显,对酵母菌则没有显著的抑制作用。在另一项研究中,Lee等^[61]用醋酸盐-乙烯聚合物作为媒介,将Nisin和壳聚糖分别以3%的添加量涂抹于纸上,制得抗菌纸,发现Nisin能更有效地抑制革兰氏阳性菌的生长,如*L. monocytogenes*,但后者更能有效地抑制*E. coli*的生长,而将Nisin和壳聚糖混合在纸上涂布则能加强对

上述两种细菌的抗菌能力,并能增强牛奶和橘子汁在10℃贮藏的稳定性。

在天然抗菌剂方面,Rodríguez等^[62]分别检测了抗菌剂为肉桂、丁香和牛至天然精油的果蔬包装抗菌纸抗菌活性,发现富含肉桂醛的肉桂精油抗菌性和耐久性最好,使被包装食品的保质期得以延长。韩国化学工业实验研究协会则从5种天然芳香型植物中提取了抗菌物质并确定了其安全性,用其抄造的抗菌食品包装纸有很强的防治霉菌和其他微生物生长的功能^[63]。

在国内,陈慧文等^[64]制得了一种具有较好抗菌性能的光触媒食品包装纸,并研究了TiO₂纳米粒子的选择、分散、加工工艺、测试方法及抗菌性能。

4 结 语

随着社会的不断进步,消费者对食品质量的要求越来越高,采用抗菌技术进行包装的食品在市场上所占比例也在不断提高。发达国家早在20世纪60年代就开展了抗菌包装的应用研究,尤其是欧美和日本,在20世纪80年代后已将抗菌包装的研究成果应用到了商业化生产当中。我国虽然在20世纪90年代中后期才开始进行抗菌材料的产业化研究,起步较晚,但正朝着健康、高效、便捷、廉价的方向快速发展。虽然抗菌包装的发展也面临着生产成本高、操作较复杂等问题,而且很多包装技术及配套生产设备仍处在实验阶段,但抗菌包装因具有减少或防止食品遭受微生物污染并延长保质期等多重优点,在食品工业中已经具备了普通包装不可替代的作用,并引起了学术界与工商业界的广泛关注。目前,国内大多数研究尚停留在实验室阶段,虽然取得了一些令人鼓舞的实验成果,但距离工业化大规模生产仍有许多问题需要解决。

在这些问题当中,寻找新型抗菌剂一直是研究的热点方向。抗菌剂的合理使用可以有效地减少由微生物引起的食品变质腐败,提高食品的质量,保证被包装食品的安全,并进一步减少由变质食品引起的疾病发病率。特别是将天然活性物质(如植物精油等)运用于抗菌包装以及多种抗菌方法的联用,已经成为行业发展的一大趋势。然而新型抗菌剂的生产成本普遍较高,如何改善配套生产工艺来降低新型抗菌剂的添加应用成本是亟需解决的重要课题。同时,抗菌剂自身的透明度、色泽和气味等物理性质,抗菌剂与载体包装材料之间的相容性、热稳定性等安全性能,以及抗菌剂及材料基质是否会和食品本身或其含有的其他添加剂发生反应,亦是生产过程中所必须注意的关键点。此外,抗菌剂由食品包装材料向食物中扩散的动态变化过程等问题,也都需要进行严谨的实验来寻找规律。

从长远来看,只是简单从食品包装的角度进行实验探究是比较狭隘的,应该将微生物学、工程和材料学等多学科与之结合,由各行业的专家共同协作来促进抗菌包装的研究与发展。同时,抗菌包装的设计研制也应符合国内外相关食品法规,严格遵守审查机制,并最终扩大形成一个完整的抗菌包装科研产业链。随着科学技术的发展,食品抗菌包装必将在食品工业中发挥越来越重要的作用。

参考文献:

- [1] TANKHIWALE R, BAJPAI S K. Preparation, characterization and antibacterial applications of ZnO-nanoparticles coated polyethylene films for food packaging[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2012, 90: 16-20.
- [2] BALASUBRAMANIAN A, ROSENBERG L E, YAM K, et al. Antimicrobial packaging: potential vs. reality: a review[J]. Journal of Applied Packaging Research, 2009, 3(4): 193-221.
- [3] 王洪江,孙城,曲颖. 食品包装复合材料现状及发展趋势[J]. 包装与食品机械, 2009, 27(1): 58-62.
- [4] 贺琛,王臻,梅婷,等. 食品活性包装研究的进展与趋势[J]. 包装与食品机械, 2011, 29(3): 40-44.
- [5] 安美清. 抗菌材料在食品包装中的应用[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2009, 26(3): 295-297.
- [6] 赵俊燕,罗世永,许文才. 抗菌包装研究进展[J]. 包装工程, 2012, 33(5): 132-137.
- [7] 毕海丹. 抗菌包装技术及其在肉类保鲜中的应用[J]. 肉类研究, 2009, 23(2): 57-61.
- [8] 张红. 抗菌剂及其在食品包装纸中的应用[J]. 黑龙江造纸, 2009, 37(2): 26-27.
- [9] 杨开吉,苏文强,陈京环. 多功能抗菌纸的开发与应用[J]. 中国造纸, 2007, 26(9): 44-46.
- [10] 黄崇杏,鲍若璐,段丹丹. 抗菌纸的研究进展[J]. 包装学报, 2009, 1(1): 34-38.
- [11] 杨开吉,苏文强. 纸张抗菌剂的研究进展[J]. 造纸化学品, 2006, 18(5): 26-29.
- [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.
- [13] 王健. 无机抗菌剂的应用研究展望[J]. 陶瓷科学与艺术, 2005, 39(6): 34-37.
- [14] 孙淼,郝喜海,邓靖,等. 抗菌包装薄膜的研究进展[J]. 包装学报, 2011, 3(3): 6-10.
- [15] 李婷,钟泽辉,邵杰,等. 食品抗菌包装材料的研究进展[J]. 包装学报, 2011, 3(2): 34-36.
- [16] 尹彦娜,刘全,许文才,等. 抗菌剂在抗菌纸中的应用研究[J]. 北京印刷学院学报, 2013, 21(2): 14-18.
- [17] 王利娜,冷小京. 可食性抗菌膜的研究进展[J]. 食品科技, 2011, 36(10): 97-101.
- [18] YOUNG D H, KAUSS H. Release of calcium from suspension-cultured *Glycine max* cells by chitosan, other polycations, and polyamines in relation to effects on membrane permeability[J]. Plant Physiology, 1983, 73(3): 698-702.
- [19] MUZZARELLI R, JEUAIAUC C, GOODAY G W. Chitin in nature and technology[M]. New York: Plenum Press, 1985: 210.
- [20] 吕飞,叶兴乾,刘东红. 食品抗菌包装系统的研究与展望[J]. 农业机械学报, 2009, 40(6): 138-142.
- [21] NATRAJAN N, SHELDON B W. Efficacy of nisin-coated polymer

- films to inactivate *Salmonella typhimurium* on fresh broiler skin[J]. Journal of Food Protection, 2000, 63(9): 1189-1196.
- [22] COMA V, SEBTI I, PARDON P, et al. Antimicrobial edible packaging based on cellulosic ethers, fatty acids, and nisin incorporation to inhibit *Listeria innocua* and *Staphylococcus aureus*[J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(4): 470-475.
- [23] SIRAGUSA G R, CUTTER C N, WILLETT J L. Incorporation of bacteriocin in plastic retains activity and inhibits surface growth of bacteria on meat[J]. Food Microbiology, 1999, 16(3): 229-235.
- [24] AN D S, KIM Y M, LEE S B, et al. Antimicrobial low density polyethylene film coated with bacteriocins in binder medium[J]. Food Science and Biotechnology, 2000, 9(1): 14-20.
- [25] KIM Y M, LEE N K, PAK H D, et al. Migration of bacteriocin from bacteriocin-coated film and its antimicrobial activity[J]. Food Science and Biotechnology, 2000, 9(5): 325-329.
- [26] MING X, WEBER G H, AYRES J W, et al. Bacteriocins applied to food packaging materials to inhibit *Listeria monocytogenes* on meats[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(2): 413-415.
- [27] HOFFMAN K L, HAN I Y, DAWSON P L. Antimicrobial effects of corn zein films impregnated with nisin, lauric acid, and EDTA[J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(6): 885-889.
- [28] 邓霄禹, 胡明军, 江明锋. 反刍动物胃溶菌酶的研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2012, 39(9): 143-147.
- [29] 刘益丽, 邓霄禹, 江明锋. 溶菌酶抑菌活性及检测方法研究进展[J]. 中国畜牧兽医, 2013, 40(8): 189-194.
- [30] 胡林峰, 许明录, 朱红霞. 植物精油抑菌活性研究进展[J]. 天然产物研究与开发, 2011, 23(2): 384-391.
- [31] 李殿鑫, 江琳琳, 朱娜, 等. 植物精油在食品保鲜中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 396-400.
- [32] 李国林, 张忠, 毕阳, 等. 八种植物精油体外抑菌效果的比较[J]. 食品工业科技, 2013, 34(7): 130-133.
- [33] 周晓薇, 王静, 顾晓. 植物精油对果蔬防腐保鲜作用研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 427-430.
- [34] KNOBLOCH K, WEIS N, WEIGAND H. Mechanism of antimicrobial activity of essential oils[J]. Planta Medica, 1986, 6: 555-556.
- [35] BARD M, ALBRECHT M R, GUPTA N, et al. Geranial interferes with membrane functions in strains of *Candida* and *Saccharomyces*[J]. Lipids, 1988, 23(6): 534-538.
- [36] COX S D, MANN C M, MARKHAM J L, et al. The mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil)[J]. Journal of Applied Microbiology, 2000, 88(1): 170-175.
- [37] CARSON C F, MEE B J, RILEY T V. Mechanism of action of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil on *Staphylococcus aureus* determined by time-kill, lysis, leakage, and salt tolerance assays and electron microscopy[J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 2002, 46(6): 1914-1920.
- [38] BRODY A L, STRUPINSKY E R, KLINE L R. Active packaging for food applications[M]. New York: CRC Press LLC, 2001: 11.
- [39] 王长安, 邹永德, 陈晓翔. 抗菌食品包装研究进展[J]. 包装工程, 2009, 30(10): 121-124.
- [40] 刘冰. 抗菌技术及其在食品包装中的应用[J]. 湖南包装, 2008(2): 21-23.
- [41] APPENDINI P, HOTCHKISS J H. Review of antimicrobial food packaging[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2002, 3(2): 113-126.
- [42] HAN J H. Antimicrobial food packaging[J]. Food Technology, 2000, 54(3): 56-65.
- [43] 徐斐燕, 陈健初, 吴丹. 食品抗菌包装技术进展[J]. 粮油加工与食品机械, 2004(6): 64-65.
- [44] BOWER C K, MCGUIRE J, DAESCHEL M A. Suppression of *Listeria monocytogenes* colonization following adsorption of nisin onto silica surfaces[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1995, 61(3): 992-997.
- [45] 郑安呐, 周强. 分子组装抗菌技术在塑料包装材料领域的应用[J]. 中国包装, 2002, 22(3): 92-93.
- [46] 胡命宝, 荆怀远. 食品抗菌包装技术及应用[J]. 食品工程, 2006, 31(1): 14-16.
- [47] COMA V. Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products[J]. Meat Science, 2008, 78(1): 90-103.
- [48] GUTIÉRREZ L, SÁNCHEZ C, BATLLE R, et al. New antimicrobial active package for bakery products[J]. Trends in Food Science & Technology, 2009, 20(2): 92-99.
- [49] MILTZ J, RYDLO T, MOR A, et al. Potency evaluation of a dermaseptin S4 derivative for antimicrobial food packaging applications[J]. Packaging Technology and Science, 2006, 19(6): 345-354.
- [50] HAN J H, FLOROS J D. Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity[J]. Journal of Plastic Film and Sheeting, 1997, 13(4): 287-298.
- [51] CHUNG D, CHIKINDAS M L, YAM K L. Inhibition of *Saccharomyces cerevisiae* by slow release of propyl paraben from a polymer coating[J]. Journal of Food Protection, 2001, 64(9): 1420-1424.
- [52] MING X, WEBER G H, AYRES J W, et al. Bacteriocins applied to food packaging materials to inhibit *Listeria monocytogenes* on meats[J]. Journal of Food Science, 1997, 62(2): 413-415.
- [53] 丁浩, 童忠良, 杜高翔. 纳米抗菌技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 101.
- [54] SANGSUWAN J, RATTANAPANONE N, RACHTANAPUN P. Effect of chitosan/methyl cellulose films on microbial and quality characteristics of fresh-cut cantaloupe and pineapple[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(3): 403-410.
- [55] DUAN J, PARK S I, DAESCHEL M A, et al. Antimicrobial chitosan-lysozyme (cl) films and coatings for enhancing microbial safety of mozzarella cheese[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(9): 355-362.
- [56] 邱竟. 纳米抗菌包装材料和防锈包装材料[J]. 塑料包装, 2009, 19(3): 51.
- [57] 高艳玲, 姜国伟, 张少辉. 纳米ZnO/LDPE抗菌食品包装材料研制[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 102-105.
- [58] TANKHIWALE R, BAJPAI S K. Graft copolymerization onto cellulose-based filter paper and its further development as silver nanoparticles loaded antibacterial food-packaging material[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2009, 69(2): 164-168.
- [59] 杨飞, 陈克复, 杨仁党, 等. 抗菌剂及其在抗菌纸中的应用[J]. 中国造纸, 2006, 25(8): 51-55.
- [60] KIM C H, WAN C S. Development of functional additives and packaging paper for prolonging freshness of cut flowers[J]. Journal of Korea Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 2002, 34(2): 32-41.
- [61] LEE C H, AN D S, PARK H J, et al. Wide-spectrum antimicrobial packaging materials incorporating nisin and chitosan in the coating[J]. Packaging Technology and Science, 2003, 16(3): 99-106.
- [62] RODRÍGUEZ A, BATLLE R, NERIN C. The use of natural essential oils as antimicrobial solutions in paper packaging. Part II [J]. Progress in Organic Coatings, 2007, 60(1): 33-38.
- [63] 袁麟, 钱学仁. 国内外抗菌纸的研发现状与发展趋势[J]. 中国造纸, 2013, 32(2): 56-60.
- [64] 陈慧文, 杨桂珍, 刘耿, 等. 光触媒抗菌食品包装纸的试制[J]. 造纸科学与技术, 2006, 25(2): 16-19.