

抗菌食品包装纸的研究现状及发展趋势

赵亚珠, 郝晓秀, 孟婕, 魏娜

(天津职业大学, 天津 300410)

摘要: **目的** 对国内外食品抗菌包装纸的研究现状进行综述分析, 总结食品抗菌包装纸的技术发展趋势, 以为抗菌纸的研究提供有效参考。 **方法** 对抗菌食品包装纸的抗菌剂——无机型抗菌剂、化学合成型抗菌剂、天然抗菌剂及其主要抗菌机理进行阐述; 根据涂布、添加浆料、浸渍/喷淋、纤维改性等加工方法对抗菌食品包装纸进行分类; 分析和总结国内外食品抗菌包装纸的最新研究成果; 从高效安全抗菌剂及应用剂型的研发, 抗菌纸抗菌效果的持久性和作用方式的提升, 食品抗菌包装纸的产业化工艺技术的开发等方面指出今后食品抗菌包装纸的发展趋势。 **结果** 食品抗菌包装纸的开发仍处于初步阶段, 抗菌纸的产业化推广不够, 抗菌纸中抗菌剂的安全性、稳定性、可持久性还有待进一步改善。 **结论** 随着对绿色安全高效抗菌剂、应用剂型和抗菌纸加工技术的进一步研究, 食品抗菌包装纸必将得到更广泛的推广应用。

关键词: 抗菌剂; 抗菌机理; 抗菌食品包装纸; 研究现状; 发展趋势

中图分类号: TB484.1; TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)15-0088-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.15.013

Current Status and Development Trend of Antimicrobial Paper for Food Packaging

ZHAO Ya-zhu, HAO Xiao-xiu, MENG Jie, WEI Na
(Tianjin Vocational Institute, Tianjin 300410, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize and analyze the research status of antimicrobial packaging paper for food at home and abroad, and sum up its technical development trend, so as to provide effective reference for the research on antimicrobial paper. The antimicrobial agent used for food packaging paper, such as inorganic antimicrobial agent, chemo-synthetic antimicrobial agent, natural antimicrobial agent and its main antimicrobial mechanism were introduced. Antimicrobial paper for food packaging was classified according to different processing methods like coating, slurry addition, impregnation/spray and fiber modification. The latest research achievements of antimicrobial paper for food packaging at home and abroad were analyzed and summarized. The development trend of antimicrobial paper for food packaging in future was pointed out from such aspects as research and development of safe antimicrobial agents with high-efficiency and its application forms, the promotion of persistence and action mode of antimicrobial effect, and the development of industrial process technology of antimicrobial paper for food packaging. The results showed that the development of antimicrobial papers for food packaging was still in the preliminary stage. The industrialization popularization of the antimicrobial paper was insufficient. The safety, stability and durability of antimicrobial agents used in antimicrobial papers remained to be improved. In conclusion, antimicrobial packaging paper will be more widely applied in food packaging with further research on the green and safe antimicrobial agents with high-efficiency, application form and processing technology of antimicrobial paper.

KEY WORDS: antimicrobial agent; antimicrobial mechanism; antimicrobial paper for food packaging; research status; development trend

食品由于本身含有丰富的营养物质和水分, 极易 遭受微生物的侵染导致腐烂, 加上我国地域广, 冷链

收稿日期: 2018-03-21

基金项目: 天津职业大学科学研究基金 (20171108)

作者简介: 赵亚珠 (1985—), 女, 天津职业大学工程师, 主要研究方向为抗菌包装材料。

物流不发达,因此如何控制食品在物流过程中的腐烂是食品行业面临的一个难题。包装纸由于价格低廉,加工方便,成为了一种应用非常广泛的食物包装材料。最新研究表明,将抗菌剂添加至纸质材料中可以制备出对食品致腐微生物有显著抑制作用的食物抗菌包装纸,并在部分食品的保鲜应用中取得了一定的效果,可明显减少因腐烂造成的损失浪费。为了促进食物抗菌包装纸的研究,为抗菌纸包装的开发应用提供有效参考,文中对食物抗菌包装纸常用抗菌剂及其抗菌机理进行梳理和总结,分析国内外食物抗菌包装纸的最新研究动态,并总结食物抗菌包装纸的发展方向。

1 抗菌食品包装纸主要抗菌剂及代表性抗菌机理

在抗菌食品包装纸的研究中,主要使用的抗菌剂包括无机抗菌剂、化学合成型有机抗菌剂、天然抗菌剂(植物精油、动物源抗菌剂、微生物源抗菌剂)等。

1.1 无机抗菌剂

由于很多金属离子具有杀菌作用,金属离子和金属离子氧化物是使用得最广泛的无机抗菌剂。目前应用于食物抗菌包装纸的无机抗菌剂主要有两大类:具有抗菌活性的金属离子,如 Ag^+ , Zn^{2+} , Cu^{2+} 等,通过一定的技术工艺固定在某种载体上所制得的无机金属离子型抗菌剂;具有抗菌作用的无机金属氧化物,如 AgO , TiO_2 , ZnO 等,其中采用纳米 AgO 、纳米 TiO_2 和纳米 ZnO 制备食物抗菌包装纸的研究比较广泛。在无机抗菌剂中,银离子的抗菌活性较强,使用历史最悠久,其研究及抗菌保鲜应用也最广泛^[1]。银离子的抗菌机理主要包括以下3个方面^[2]:银离子干扰微生物细胞膜蛋白或其他酶中的巯基或二硫键上的官能团;破坏微生物DNA的复制;通过活性氧产生催化氧化反应。

1.2 化学合成型有机抗菌剂

化学合成型有机抗菌剂主要有季铵盐类、双胍盐、醇类、酚类、卤化物类、有机酸、有机金属等。化学合成型有机抗菌剂对微生物的抗菌作用机制主要包括以下2种方式^[3]:穿透微生物细胞壁,造成细胞内核酸、蛋白质、钾离子等细胞内物质的泄露;与微生物细胞膜结合,扰乱细胞膜的结构组成,破坏细胞膜和蛋白质的合成系统等。

1.3 天然抗菌剂

1.3.1 抗菌植物精油

植物精油又称挥发油,一般可从植物的果实、花、叶、皮、根等部位以蒸馏的方式提取出来,很多植物精油都具有一定的抗菌作用,植物精油的抗菌活性在1881年就被报道过^[4]。由于人们对食品安全的重视程

度与日俱增,从食药同源植物中提取抗菌精油,对果蔬等生鲜农产品进行防腐保鲜可有效避免化学防腐保鲜剂残留对人体造成的伤害。在植物精油中,抗菌效果较强的精油主要有肉桂、牛至、丁香、百里香、柠檬草^[5-7]等。一般来说,植物精油中抗菌活性最强的是酚类化合物,其次依次为醛、酮、醇、醚和烃^[8]。植物精油对微生物的作用机制尚未完全阐明,不能归结为单一的机制。植物精油的抗菌机理大致可以包括以下几种^[9-10]:破坏微生物细胞壁;损伤微生物膜蛋白;改变微生物细胞膜的渗透性导致细胞内容物泄露,破坏微生物细胞质,使微生物细胞浆凝固;减少微生物细胞内ATP的合成。酚类的抗菌活性归因于羟基的酸性特征,这些化合物改变了细胞的通透性,干扰了能量产生所涉及的酶,并中断了蛋白质的合成,最终导致细胞死亡。此外,细菌的形状也可以对植物精油的抗菌活性产生影响,例如棒状细胞比球状更敏感^[11]。

1.3.2 动物源抗菌剂

动物源抗菌剂主要有抗菌肽、抗微生物酶、一些动物的多糖和脂质等^[12]。抗菌肽主要包括乳铁蛋白、防御素、鱼精蛋白^[13],抗微生物酶主要是指从蛋清、牛奶和血液中发现的具有溶菌作用的溶菌酶。有研究报道抗微生物酶能有效地对抗食物腐败微生物^[14-15],动物糖类中具有抗菌作用且应用最广泛的是壳聚糖。乳铁蛋白作为一种抗菌肽,对革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌均有抑制作用,乳铁蛋白被用作各种肉制品(主要是牛肉)的抗菌剂^[16]。关于乳铁蛋白的抗菌机理主要有2种解释:乳铁蛋白限制了微生物通过铁螯合物获得营养物质,从而致使微生物的铁离子缺失^[17];乳铁蛋白能够使革兰氏阴性细菌的外膜变得不稳定,导致具有增加膜通透性的脂多糖的释放^[18]。壳聚糖作为一种最具商业应用价值的动物源抗菌剂,对金黄色葡萄球菌、单核细胞增生李斯特菌、蜡状芽孢杆菌、大肠杆菌、沙门氏菌等均具有抑制作用,其中,壳聚糖对革兰氏阴性细菌的抗菌机理在于其可破坏细菌外膜的屏障功能^[19]。

1.3.3 微生物抗菌剂

在微生物抗菌剂中使用较多的有细菌素、溶菌酶等^[20]。细菌素主要包括乳酸链球菌素、乳链球菌素、乳酸片球菌素等,其中乳酸链球菌素(Nisin)的杀菌效果最强,且对人体安全无害,是美国和中国都允许使用的食品添加剂^[21-22]。许多研究已经表明乳酸链球菌素在食品中的微生物生长控制方面具有非常大的潜力,Shi等^[23]研究发现Nisin对金黄色葡萄球菌的抗菌机理在于乳酸链球菌素可对细菌膜造成损伤,破坏细胞膜结构,引起细胞成分如蛋白质和一些必需分子的损失,并因此导致细胞死亡。溶菌酶对很多微生物也具有较强的抗菌活性,Güçbilmez^[24]将溶菌酶添加至玉米蛋白膜中制备成抗菌材料,对大肠杆菌具有较强的抗菌效果。

2 食品抗菌包装纸的种类及国内外研究现状

2.1 食品抗菌包装纸的主要种类

食品抗菌包装纸的种类很多,形式多样,按照制备工艺主要可以分为涂布抗菌纸、浆料添加型抗菌纸、浸渍/喷淋抗菌纸、纤维改性抗菌纸。

2.1.1 涂布抗菌纸

在食品抗菌包装纸的制备方法中,涂布法使用得最为广泛,其技术工艺主要利用涂布机将含有抗菌剂的涂料均匀涂布于原纸上。涂布抗菌包装纸的操作方法简便,且质地性能均一,生产成本较低,适合大规模工业化生产。

2.1.2 浆料添加型抗菌纸

将抗菌剂添加到抄造纸张的浆料中可制备出浆料添加型抗菌纸,其特点在于不用更改现有的生产工艺,不需增加额外的设备,非常适于产业化推广。同时,也存在一些问题,例如抗菌剂容易在纸张抄造过程中分解^[25],也容易与浆料中的其他成分发生反应,对纸张的性能造成影响,采用这种方法生产抗菌纸相比涂布法需要消耗更多的抗菌剂,此外,添加抗菌剂

可能会增加废水处理的难度。

2.1.3 浸渍/喷淋抗菌纸

将抗菌剂稀释液浸渍或喷洒到原纸上可制得浸渍/喷淋抗菌纸。浸渍/喷淋抗菌纸的优点为抗菌剂利用率高、操作简单、生产成本较低,但也存在一些问题,例如性能不稳定,质地不均一,产品质量难以控制,容易出现断纸的现象^[26],不适合大规模工业化生产。

2.1.4 纤维改性抗菌纸

对原纸的纤维进行化学或物理改性制备出纤维改性抗菌纸。化学改性主要是指对原纸纤维的羟基进行接枝等^[27]处理得到抗菌纤维,进而抄造出抗菌纸。物理改性主要通过将抗菌剂与植物纤维进行共混制备抗菌纸^[28]。纤维改性抗菌纸的优点在于抗菌剂分散均匀,留着率高,不易挥发,但也存在技术难度较高,产业化推广难度较大等。

2.2 国外食品抗菌包装纸最新研究成果及特点

在食品抗菌包装纸研究领域,国外科研工作者进行了很多研究,主要集中在法国、意大利、西班牙、韩国、印度、埃及等国家,采用的主要方法有表面涂布、添加浆料以及纤维改性等,见表 1^[29—38]。

表 1 食品抗菌纸国外研究现状

Tab.1 Research status of antimicrobial paper for food packaging at aboard

制备方法	抗菌剂	抗菌纸主要研究成果	研发人员
涂布	香芹酚	将香芹酚采用大豆分离蛋白(100 g/L)包合后涂布于定量为 70 g/m ² 的原纸上制备出一种抗菌纸,并对抗菌纸中香芹酚的释放率进行测试,涂布纸在 50 d 后香芹酚残留量介于 0.6~0.7 g/m ²	法国 Afef
	香芹酚	采用蒙脱石、小麦蛋白与香芹酚制备抗菌乳液,使用薄层色谱涂布器将涂布液涂布在纸张上制得抗菌纸,抗菌纸对大肠杆菌有明显的抗菌作用,此外研究了蒙脱石含量和湿度变化对香芹酚表观扩散系数的影响,发现香芹酚的抗菌效果与其释放速率有关	意大利 Mascheroni
	肉桂精油	以含有肉桂精油的石蜡乳液为抗菌涂层,以纸张为基材制备出一种对水果致腐微生物有抗菌作用的包装纸,该抗菌纸对草莓具有明显的防腐保鲜作用	西班牙 Rodriguez 等
	野蔷薇精油、孜然精油	将石蜡乳液、野蔷薇精油与孜然精油等组成的混合液涂布于纸张上制备出抗菌包装纸,当抗菌涂层中的野蔷薇精油质量分数为 4%~6%时,该抗菌纸对金黄色葡萄球菌、李斯特菌、假单胞菌、沙门氏菌均具有明显的抗菌作用	西班牙 Akrami
	壳聚糖、纳米银	将壳聚糖、淀粉和纳米银乳剂组成的抗菌涂层涂布于纤维素纸上,并且测试它们的力学性能、吸水性、耐油性以及抗菌和抗真菌性,该抗菌纸对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、青霉均具有明显的抑制作用	韩国 Jung 等
	山梨酸钾、焦亚硫酸钾	将山梨酸钾、焦亚硫酸钾和乙烯清除剂(高锰酸钠)涂布于包装纸上制成抗菌保鲜包装纸,用于单独包装桃,可以保持桃的新鲜度	印度 Rudra 等
添加浆料	壳聚糖、蜂胶提取物	通过在浆料中添加壳聚糖和蜂胶提取物制备出一种对李斯特菌具有明显抗菌作用的抗菌包装纸	意大利 Rollini 等
	TiO ₂	制备了一种 TiO ₂ /海藻酸钠纳米复合材料,并将其添加到未漂白的甘蔗浆中制备抗菌纸,当 TiO ₂ /海藻酸钠纳米复合材料的质量分数为 15%时,对白色念珠菌和沙门氏菌具有明显的抗菌效果	埃及 Rehim
浸渍	苦配巴油	将直径为 16 mm 定量为 80 g/m ² 的多孔纸圆片在 25 ℃下浸入苦配巴油 1 h,并在相同温度和相对湿度为 50%的条件下干燥 4 d,制备出一种对枯草芽孢杆菌具有明显抗菌效果的浸渍抗菌纸	法国 Morelli
接枝改性	纳米银	使用柠檬酸盐作为稳定剂将纳米银附着在接枝丙烯酸酯的蔗渣浆纸片上,制备出一种对金黄色葡萄球菌、假单胞菌、铜绿假单胞菌等微生物具有明显抗菌作用的抗菌包装纸	埃及 Kame

2.3 国内食品抗菌包装纸最新研究成果及特点

国内关于食品抗菌包装纸的研究制备方法主要集中在涂布法、浆料添加法、纤维改性法、喷淋法等，所使用的抗菌剂包括天然抗菌剂（肉桂精油、壳聚糖、溶菌酶等）、无机抗菌剂（纳米二氧化钛）等，见表 2^[39—47]。

与国外食品抗菌包装纸的研究相比，国内制备抗菌包装纸大多集中于涂布、喷淋及其应用方面，对于抗菌成分的释放规律尚未得到深入研究，而国外对于

食品抗菌包装纸的研究则更加深入。例如 Afef^[29]对抗菌纸中香芹酚的释放规律进行了研究，测试出涂布纸在 50 d 后香芹酚残留量介于 0.6~0.7 g/m²。近年来，我国关于抗菌纸的研究也越来越深入，并出现了跨国家多单位参与研究的现象，例如我国的福建农林大学、天津科技大学与加拿大新不伦瑞克大学合作研究^[48]将纳米原纤化纤维素（NFC）用作承载三氯生（TCS）的底物，然后将其作为活性涂层提升纸张的抗菌性能，同时还提高了纸张的力学强度。

表 2 食品抗菌纸国内研究现状
Tab.2 Research status of antimicrobial paper for food packaging at home

制备方法	抗菌剂	抗菌纸主要研究成果	研发单位和人员
涂布	肉桂精油	采用涂布的方式将 β-环糊精肉桂精油微胶囊（使用量为 1.2 g/(50 mL)）与聚乙烯醇（使用量为 0.02 g/mL）制备的抗菌涂料涂布在保鲜纸上，制得抗菌保鲜纸，对圣女果具有较好的保鲜效果	华南农业大学 岳淑丽等
	葡萄糖氧化酶、溶菌酶	将葡萄糖氧化酶和溶菌酶复配（葡萄糖氧化酶和溶菌酶的用量分别为 4000，10 000 U/g 绝干浆），用涂布的方法将其涂布到纸张表面，制备出一种抗菌纸，对大肠杆菌抗菌效果较好	陕西科技大学 杜飞等
	纳米羧甲基壳聚糖	通过离子交换反应制备纳米羧甲基壳聚糖，然后将其涂布于纸张表层，制备出抗菌包装纸，并且其机械强度也得到提升	湖南工业大学 洪英等
	壳聚糖	将淀粉和壳聚糖涂布于纸张表面，抗菌纸的最佳配方：涂布液中壳聚糖和淀粉的含量依次为 15 和 2.25 g/L；涂布量为 2.02 g/m ² 。该抗菌纸对金黄色葡萄球菌抗菌效果明显	齐齐哈尔大学 胡芳等
添加浆料	壳聚糖-甲基异噻唑啉酮	利用离子交联法制备出一种由微纤化纤维素、壳聚糖-甲基异噻唑啉酮纳米微球组成的抗菌剂，将其添加至浆料中制备出一种对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌都具有明显抗菌效果的抗菌纸	福建农林大学 林新兴等
	硝酸银	以硝酸银为抗菌剂，纤维为载体，首先制备出原位负载银粒子的复合纤维悬浊液，随后再抄造成抗菌纸，当硝酸银与硼氢化钠质量比为 1：4 时，该抗菌纸对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌具有明显的抗菌效果	东北林业大学 王丽等
喷淋	纳米银	将纳米载银抗菌粉和无机载银抗菌粉组成的混合液喷在纸张表面制成抗菌纸，该抗菌纸对金黄色葡萄球菌、大肠杆菌等具有较好的抗菌效果	广东轻工职业技术学院林润惠等
	壳聚糖	采用消毒后的喷瓶将纳米壳聚糖溶液喷淋到抄造的空白纸表面直至纸张全部湿润（但无抗菌液滴落），制备出喷淋抗菌纸，当纳米壳聚糖质量分数为 1%时，该方法制备的抗菌纸对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌的抗菌圈直径分别为 8.0，6.8，2.1 mm	天津科技大学 马滢等
接枝改性	纳米二氧化钛	采用十六烷基三甲氧基硅烷接枝改性纳米二氧化钛，并采用层层自组装的技术工艺将壳聚糖与改性后的纳米二氧化钛沉积在纤维表面制得一种接枝改性的抗菌纸，该抗菌纸对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抗菌率分别达到 93.3%和 90.4%，用其包装熟牛肉可以明显减缓牛肉的腐烂，阻碍牛肉微生物的生长，延长其货架期	昆明理工大学 李盼等

3 食品抗菌包装纸技术发展趋势

3.1 开发更加高效安全的抗菌剂及应用剂型

目前应用于食品抗菌包装纸的抗菌剂主要有无

机抗菌剂、化学合成型抗菌剂以及天然抗菌剂。在食品抗菌包装纸中使用较多的无机抗菌剂，如纳米银、纳米铜等的安全性存在较多争议，与食品接触的包装纸中长期使用无机抗菌剂对人体健康存在一定的食品安全风险。化学合成型有机抗菌剂的化学稳定性

差、耐热性差,在某些特定情况下可能会产生有毒的分解物等特点。由于国家对食品接触材料的要求日益规范,属于食品接触材料的抗菌包装纸必须符合 GB 4806.1 和 GB 4806.8 关于卫生安全的要求,其所用抗菌剂必须符合 GB 9685 的要求。天然抗菌剂例如植物精油、壳聚糖、茶多酚、Nisin 等对人体相对安全,对食品中常见腐烂微生物具有较好的抗菌效果,但也存在热稳定性差、加工工艺受限、抗菌效果难以持久等问题。由此,开发安全、高效、可产业化应用的抗菌剂及应用剂型任重而道远。

3.2 提升抗菌效果的持久性和作用方式

目前的抗菌纸存在以下 2 个方面的问题:抗菌纸的抗菌效果不稳定且有效期短,随着时间的延长,抗菌效果衰减较明显;抗菌纸在空间上的作用范围小,大多抗菌纸仅对与其直接接触部分具有抗菌作用,无法满足食品包装的要求。在今后的抗菌纸研发过程中,需要着重解决其抗菌效果不稳定和抗菌效果衰减的问题,同时也要提升抗菌效果的有效作用范围。由此,对抗菌纸中所用抗菌剂的剂型进行研究以提升其抗菌效果的稳定性,实现抗菌纸中抗菌剂的可控释放,将是未来抗菌纸的重要技术攻关点。

3.3 探索食品抗菌包装纸的产业化工艺技术

在今后食品抗菌包装纸的研发领域,需要对其产业化推广应用作出更多的技术探索。例如不同的果蔬、冷鲜肉类、糕点等具有不同的致病菌,所需抗菌纸的种类也应有差异。在食品抗菌包装纸的产业化推广过程中有以下 2 个方面仍需努力:减少抗菌纸生产加工过程对抗菌剂的影响,尽量避免其损失;针对不同食品的致腐微生物进行分析,开发出针对性更加明确、效果更加明显的专用抗菌包装纸。

4 结语

随着人们环保意识和对食品安全关注程度的上升,对人体安全无毒的抗菌纸质材料将被更加广泛地应用于食品领域。近年来,食品抗菌包装纸的研究取得了一定的成果,但也存在一些问题,例如抗菌纸中抗菌剂的安全性、稳定性、可持久性还有待解决,产业化推广还处于起步阶段,开发绿色、安全、高效的食品用抗菌包装纸任重而道远。研发更加高效安全的抗菌剂及应用剂型,提升抗菌纸抗菌效果的持久性和作用方式,开发食品抗菌包装纸的产业化工艺技术将是未来食品抗菌包装纸发展的重要方向。

参考文献:

[1] 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.

ZHAO Jun-yan, LUO Shi-yong, XU Wen-cai. Research Development of Antimicrobial Packaging[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(5): 132—137.

[2] DUNCAN T V. Applications of Nanotechnology in Food Packaging and Food Safety: Barrier Materials, Antimicrobials and Sensors[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2011, 363: 1—24.

[3] 张葵花, 林松柏, 谭绍早. 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, TAN Shao-zao. Present & Future of Organic Antibacterial Agent[J]. Paint Coatings Industry, 2005, 35(5): 45—49.

[4] BAJPAI V K, BAEK K H, KANG S C. Control of Salmonella in Foods by Using Essential Oils: a Review [J]. Food Research International, 2012, 45: 722—734.

[5] KWON S J, CHANG Y, HAN J. Oregano Essential Oil-based Natural Antimicrobial Packaging Film to Inactivate Salmonella Enterica and Yeasts/Molds in the Atmosphere Surrounding Cherry Tomatoes[J]. Food Microbiology, 2017, 65: 114—121.

[6] JU J, XU X M, XIE Y F. Inhibitory Effects of Cinnamon and Clove Essential Oils on Mold Growth on Baked Foods[J]. Food Chemistry, 2018, 240: 850—855.

[7] DONS F, FERRARI G. Essential Oil Nanoemulsions as Antimicrobial Agents in Food[J]. Journal of Biotechnology, 2016, 233: 106—120.

[8] KALEMBA D, KUNICKA A. Antibacterial and Antifungal Properties of Essential Oils[J]. Current Medicinal Chemistry, 2003, 10(10): 813—829.

[9] KHORSHIDIAN N, YOUSEFI M, KHANNIRI E, et al. Potential Application of Essential Oils as Antimicrobial Preservatives in Cheese[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2018, 45: 62—72.

[10] HUANG W, WANG J Q, SONG H Y, et al. Chemical Analysis and in Vitro Antimicrobial Effects and Mechanism of Action of Trachyspermum Copticum Essential Oil Against Escherichia Coli[J]. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, 2017, 10(7): 663—669.

[11] NAZZARO F, FRATIANNI F, DE M L, et al. Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria[J]. Pharmaceuticals, 2013, 6(12): 1451—1474.

[12] PISOSCHI A M, POP A, GEORGESCU C, et al. An Overview of Natural Antimicrobials Role in Food[J]. European Journal of Medicinal Chemistry, 2018, 143: 922—935.

[13] HOSKIN D W, RAMAMOORTHY A. Studies on Anticancer Activities of Antimicrobial Peptides[J]. Biochim Biophys Acta, 2008, 1778: 357—375.

[14] POTTER R, HANSEN L T, GILL T A. Inhibition of Foodborne Bacteria by Native and Modified Protamine: Importance of Electrostatic Interactions[J]. In-

- ternational Journal of Food Microbiology, 2005, 103: 23—34.
- [15] TIWARI B, VALDRAMIDIS V, O'DONNELL C, et al. Application of Natural Antimicrobials for Food Preservation[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57: 5987—6000.
- [16] JUNEJA V K, DWIVEDI H P, YAN X. Novel Natural Food Antimicrobials[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2012, 3: 381—403.
- [17] GONZALEZ C S A, AREVALO G S, RASCON C Q. Lactoferrin: Structure, Function and Applications[J]. International Journal of Antimicrobial Agents, 2009, 33(4): 301—308.
- [18] ORSI N. The Antimicrobial Activity of Lactoferrin: Current Status and Perspectives[J]. Biometals, 2004, 17(3): 189—196.
- [19] HELANDER I M, NURMIAHO-LASSILA E L, AHVENAINEN R, et al. Chitosan Disrupts the Barrier Properties of the Outer Membrane of Gramnegative Bacteria. International Journal of Food Microbiology, 2001, 71(2): 235—244.
- [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.
LYU Fei, YE Xing-qian, LIU Dong-hong. Review of Antimicrobial Food Packaging[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(6): 138—142.
- [21] KHAN I, OH D H. Integration of Nisin into Nanoparticles for Application in Foods[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2016, 34: 376—384.
- [22] GB 1886.231—2016, 食品安全国家标准 食品添加剂 乳酸链球菌素[S].
GB 1886.231—2016, Standard of National Food Safety, Food Additives Nisin[S].
- [23] SHI C, ZHAO X C, MENG R Z, et al. Synergistic Antimicrobial Effects of Nisin and P-Anisaldehyde on Staphylococcus Aureus in Pasteurized Milk[J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 84: 222—230.
- [24] GÜCBILMEZ M C, YEMENICIOGLU A, ARSLANOGLU A, et al. Antimicrobial and Antioxidant Activity of Edible Zein Films Incorporated with Lysozyme, Albumin Proteins and Disodium EDTA[J]. Food Research International, 2007, 40(1): 80—91.
- [25] 侯欣宇, 王丽, 李爽, 等. 抗菌纸的研究进展[J]. 纸和造纸, 2017, 36(4): 26—29.
HOU Xin-yu, WANG Li, LI Shuang, et al. Research Progress of Antibacterial Paper[J]. Paper and Paper Making, 2017, 36(4): 26—29.
- [26] 曾旭, 张红杰, 胡稳, 等. 高效抗菌纸的研究进展[J]. 纸和造纸, 2015, 34(5): 54—60.
ZENG Xu, ZHANG Hong-jie, HU Wen, et al. New Development of the High-efficient Antibacterial Papers[J]. Paper and Paper Making, 2015, 34(5): 54—60.
- [27] 方燕. 抗菌纸的制备及其性能探究[J]. 纸和造纸, 2013, 32(8): 45—48.
FANG Yan. Preparation and Performance of Antibacterial Paper[J]. Paper and Paper Making, 2013, 32(8): 45—48.
- [28] 申前锋, 张美云, 刘鑑. 抗菌技术及其在造纸行业中的应用[J]. 上海造纸, 2007(1): 59—61.
SHEN Qian-feng, ZHANG Mei-yun, LIU Liu. Antibiotic Technology and Application in the Papermaking industry[J]. Shanghai Paper Making, 2007(1): 59—61.
- [29] AFEF B A, YASINEE C, LAURENCE P B. Coating Papers with Soy Protein Isolates as Inclusion Matrix of Carvacrol[J]. Food Research International, 2007, 40: 22—32.
- [30] MASCHERONI E, GUILLARD V, GASTALDI E, et al. Anti-microbial Effectiveness of Relative Humidity-controlled Carvacrol Release from Wheat Gluten/montmorillonite Coated Papers[J]. Food Control, 2011, 22: 1582—1591.
- [31] RODRÍGUEZ A, BATLLE R, NERÍN C. The Use of Natural Essential Oils as Antimicrobial Solutions in Paper Packaging[J]. Part II. Progress in Organic Coatings, 2007, 60: 33—38.
- [32] AKRAMI F, RODRÍGUEZ-LAFUENTE A, BENTAYEB K, et al. Antioxidant and Antimicrobial Active Paper Based on Zataria (Zataria multiflora) and Two Cumin Cultivars (Cuminum Cyminum)[J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 60: 929—933.
- [33] JUNG J, KASI G, SEO J. Development of Functional Antimicrobial Papers Using Chitosan/Starch-silver Nanoparticles[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 112: 530—536.
- [34] RUDRA S G, SINGH V, JYOTI S D, et al. Mechanical Properties and Antimicrobial Efficacy of Active Wrapping Paper for Primary Packaging of Fruits[J]. Food Bioscience, 2013, 3: 49—58.
- [35] ROLLINI M, MASCHERONI E, CAPRETTI G, et al. Propolis and Chitosan as Antimicrobial and Polyphenols Retainer for the Development of Paper Based Active Packaging Materials[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2017, 14: 75—82.
- [36] REHIM M H A, EL-SAMAHY M A, BADAWY A A, et al. Photocatalytic Activity and Antimicrobial Properties of Paper Sheets Modified with TiO₂/Sodium Alginate Nanocomposites[J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 148: 194—199.
- [37] MORELLI C L, MAHROUS M, BELGACEM M N, et al. Natural Copaiba Oil as Antibacterial Agent for Bio-based Active Packaging[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 70: 134—141.
- [38] KAMEL S. Rapid Synthesis of Antimicrobial Paper under Microwave Irradiation[J]. Carbohydrate Polymers, 2012, 90: 1538—1542.
- [39] 岳淑丽, 万达, 张义珂. 肉桂精油微胶囊抗菌纸的研

- 制及对圣女果的保鲜效果研究[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 47—51.
- YUE Shu-li, WAN Da, ZHANG Yi-ke. Development of Microcapsule Antibacterial Paper Made of Cinnamon Oil and Its Application for Preservation of Cherry Tomato[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(13): 47—51.
- [40] 杜飞, 李志健, 王吉庆, 等. 复合生物酶制备抗菌纸的研究[J]. 中国造纸, 2016, 35(2): 19—23.
- DU Fei, LI Zhi-jian, WANG Ji-qing, et al. Manufacture of Antibacterial Paper by Using Combined Enzyme[J]. China Pulp & Paper, 2016, 35(2): 19—23.
- [41] 洪英, 钟泽辉, 郑朝位, 等. 纳米羧甲基壳聚糖抗菌纸的制备及其力学性能研究[J]. 包装工程, 2015, 36(19): 50—53.
- HONG Ying, ZHONG Ze-hui, ZHENG Chao-wei, et al. Preparation and Mechanical Performance of Antibacterial Paper Coated by Nano-carboxymethyl-chitosan[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(19): 50—53.
- [42] 胡芳, 张惠君, 王亮, 等. 壳聚糖-淀粉涂布抗菌纸的制备及性能研究[J]. 中国造纸, 2013, 32(2): 1—5.
- HU Fang, ZHANG Hui-jun, WANG Liang, et al. Preparation and Properties of Antibacterial Paper with Chitosan-starch Coating[J]. China Pulp & Paper, 2013, 32(2): 1—5.
- [43] 林新兴, 刘凯, 陈礼辉, 等. 微纤化纤维素吸附壳聚糖载药微球及其在抗菌纸中的应用[J]. 纸和造纸, 2015, 34(12): 58—61.
- LIN Xin-xing, LIU Kai, CHEN Li-hui, et al. Adsorption of Drug-loaded Chitosan Microsphere Loaded on Microfibrillated Cellulose and Its Application in Antibacterial Paper[J]. Paper and Paper Making, 2015, 34(12): 58—61.
- [44] 王丽, 侯欣宇, 李爽, 等. 纳米银粒子的纸内合成及其抗菌活性研究[J]. 林产工业, 2017, 44(8): 30—33.
- WANG Li, HOU Xin-yu, LI Shuang, et al. Synthesis Nano Silver in the Paper and Its Antibacterial Properties[J]. China Forest Products Industry, 2017, 44(8): 30—33.
- [45] 林润惠, 骆雪萍, 冯秋燕, 等. 银系广谱抗菌纸的研究[J]. 造纸科学与技术, 2004(6): 44—45.
- LIN Run-hui, LUO Xue-ping, FENG Qiu-yan, et al. Research on Silver-based Broad-spectrum Antimicrobial Paper[J]. Paper Science and Technology, 2004(6): 44—45.
- [46] 马滢. 壳聚糖及其衍生物纳米粒子的制备以及在抗菌纸中的应用[D]. 天津: 天津科技大学, 2010.
- MA Ying. Chitosan and Its Derivatives Nanoparticles: Preparation and Application in Antibacterial Paper[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2010.
- [47] 李盼. 环保型超疏水、抗菌纸包装材料的研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2017.
- LI Pan. Research on Environment-friendly Superhydrophobic and Antibacterial Paper Packaging Materials[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2017.
- [48] LIU K, CHEN L H, HUANG L L, et al. Enhancing Antibacterium and Strength of Cellulosic Paper by Coating Triclosan-loaded Nanofibrillated Cellulose (NFC)[J]. Carbohydrate Polymers, 2015, 117: 996—1001.