

# 抗菌涂层和抗菌塑料在食品包装中的研究发展

罗坤明<sup>1</sup>, 吴志林<sup>2</sup>

(1.江西旅游商贸职业学院, 南昌 330000; 2.南昌大学, 南昌 330031)

**摘要:** **目的** 从可食用抗菌涂层和食品抗菌塑料包装的角度出发提升食品的品质安全, 满足消费者对安全优质食品的追求。**方法** 根据食物的腐烂周期和保质方式的特点, 系统性地总结目前可食用抗菌涂层的几种主要覆盖技术, 以及非食用性抗菌塑料的载体和制备方法, 并将其运用到食品的包装设计中。**结论** 针对保鲜周期短的易腐食品和保质期较长的常规食品提出了可行的包装方案, 对可食用抗菌涂层和非食用性抗菌塑料在未来食品包装领域的发展和研究做了指向性分析。

**关键词:** 可食用抗菌涂层; 非食用性抗菌塑料; 食品包装; 覆盖技术; 研究进展

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)03-0098-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.03.015

## Research and Development of Antimicrobial Coatings and Antimicrobial Plastics in Food Packaging

LUO Kun-ming<sup>1</sup>, WU Zhi-lin<sup>2</sup>

(1.Jiangxi Tourism & Commerce Vocational College, Nanchang 330000, China;

2.Nanchang University, Nanchang 330031, China)

**ABSTRACT:** The work aims to improve food quality and safety to meet the consumer's pursuit of safe and high-quality food, from the perspective of edible antibacterial coating and antibacterial plastic packaging. According to the characteristics of food decay cycle and shelf life, several main covering technologies of edible antibacterial coatings and carriers and preparation methods of non-edible antibacterial plastics, and how they were applied in food packaging design were systematically summarized. For perishable food with short shelf life and conventional food with long shelf life, a feasible packaging scheme is put forward. The development and research direction of edible antibacterial coating and non-edible antibacterial plastics in the field of future food packaging is analyzed.

**KEY WORDS:** edible antibacterial coatings; non-edible antimicrobial plastics; food packaging; coverage technology; research progress

食品的质量、安全和保质期是食品工业的首要因素。许多生鲜水产品、肉制品、瓜果蔬菜等易腐食品由于受到微生物污染及多种环境因素的影响, 在常温下容易发生腐败或变质<sup>[1]</sup>。除此之外, 保质期相对较长、贮藏方式多样的常规食品(如粮、油、米、面等)也需要安全可靠的塑料抗菌包装, 以抑制食品腐败,

延长食品保存期。

为了保证食品质量与品质安全, 在食品加工、贮藏和运输的流程中, 需严格把控各个环节。对于易腐食品, 食品工业一般采用传统的防腐技术, 例如热处理、盐腌或酸化等, 以抑制病原微生物的生长, 防止食品腐败变质, 但防腐剂的添加通常会导致食品营养

收稿日期: 2019-11-05

基金项目: 2019 年度江西省高校人文社会科学研究项目(YS19114)

作者简介: 罗坤明(1985—), 男, 硕士, 江西旅游商贸职业学院讲师, 主要研究方向为艺术设计理论与实践研究、包装设计、环境艺术设计。

价值的损失<sup>[2]</sup>。对于保质期较长的常规食品储存，目前最常用的方式就是使用抗菌塑料作为食品包装，但质量参差不齐的抗菌塑料又在另一方面为食品安全带来较大隐患。由此可见，减少防腐剂的使用和提高抗菌塑料的品质，从可食用抗菌涂层和食品抗菌包装的角度来提升食品的品质安全，以满足消费者对安全、优质食品的追求。

许多研究表明，不同的生物聚合物（例如蛋白质、脂质、多糖）可以应用于生产可食用的抗菌薄膜和抗菌涂层，抑制食品储存过程中的病原微生物生长，控制食品中的气体交换、水分渗透及氧化过程<sup>[3-4]</sup>，在易腐食品的包装领域均有广泛的应用<sup>[5-7]</sup>。为了保障食品内容物免受微生物侵蚀，且减少包装表面微生物的传播，抗菌包装塑料被广泛应用于食品包装领域<sup>[8]</sup>。

文中将根据食物的腐烂周期和食品保质方式的不同需求，从抗菌剂种类入手，再深入分析当前常用的几种可食用抗菌涂层覆盖技术和非食用性抗菌塑料的载体和制备方法，以及互相协同应用到食品包装设计中的。

## 1 抗菌剂的种类

抗菌剂会使微生物失活或生长周期滞后，从而降低其生长速率，达到抑制微生物生长、延长食物保质期的目的。目前，抗菌剂按来源可分为天然抗菌剂和非天然抗菌剂，按成分可分为有机抗菌剂和无机抗菌剂。其中天然抗菌剂基本上都属于有机抗菌剂范畴，天然抗菌剂一般可用作可食用抗菌涂层，而有机抗菌剂和无机抗菌剂在食品塑料包装中应用广泛。

### 1.1 有机抗菌剂

#### 1.1.1 天然抗菌剂

目前，可食用抗菌涂层主要使用天然抗菌剂发挥作用。天然抗菌剂是一种来源于自然界生物体，通过提取、分离、纯化等手段获得的具有抑菌活性的生物活性物质。按来源主要可分为植物天然抗菌剂、动物天然抗菌剂和微生物天然抗菌剂。天然抗菌剂具有安全性高、广谱、长效、应用广泛等优点，但其药效期短、耐热性能差，且受生产条件限制，难以广泛应用。表 1 列举了 3 类不同天然抗菌剂的主要活性物质及其作用机理。

#### 1.1.2 非天然类有机抗菌剂

有机抗菌剂是指通过合成的抗菌有机物，根据分子的大小和种类可分为高分子和低分子抗菌剂等两大类。有机抗菌剂具有种类多、杀菌快、成本低等优点，但其耐热性能较差，有一定的毒性，这在很大程度上限制了其应用。

表 1 天然抗菌剂化种类和作用机理  
Tab.1 Types of natural antimicrobial agents and mechanism of action

种类	活性物质种类	作用机理
植物源天然抗菌剂 <sup>[9-10]</sup>	萜类化合物及其衍生物、木脂素、甾体、生物碱类、皂甙、氨基酸等	破坏病原菌细胞壁；破坏细胞质膜和膜蛋白质结构；让细胞质发生凝聚，减缓质子运动
动物源天然抗菌剂 <sup>[11-13]</sup>	壳聚糖、氨基酸类、高分子糖类、天然肽类等	阳离子型氨基吸引带负电的微生物细胞，破坏细胞壁的合成；阳离子活性物质吸附带有阴离子的物质，扰乱细胞正常生理代谢活动
微生物源天然抗菌剂 <sup>[14-16]</sup>	噬菌体、益生菌、抗生素、细菌素	分泌抗菌素；诱导宿主细胞产生抗性

1) 低分子抗菌剂。低分子有机抗菌剂的品种主要有醇类、双胍类、季磷盐、酚类、咪唑类和季铵盐类等。目前国际上使用最广泛的是季铵盐类有机杀菌剂。

2) 高分子抗菌剂。高分子有机抗菌剂的抗菌性能通过抗菌官能团单体以均聚、共聚或接枝的形式引入而取得，具有易贮存、易加工、使用寿命长、性能稳定等优点。

### 1.2 无机抗菌剂

无机纳米抗菌剂是一种纳米级、长效、耐热的抗菌剂，是一种新型抗菌产品，具有传统无机抗菌剂所无法比拟的优良抗菌性能，且安全性极高<sup>[17]</sup>。在食品包装领域，无机抗菌剂根据机理效应的差异可分为金属型纳米抗菌剂和光催化型纳米抗菌剂。光催化型纳米抗菌剂又可以细分为纳米二氧化钛颗粒、二氧化钛/金属纳米复合抗菌剂、二氧化钛/非金属纳米复合抗菌剂、二氧化钛纳米管等。这里列举了无机抗菌剂的种类、原理、作用机理和优点，见表 2。

## 2 可食用抗菌涂层覆盖技术及其应用

### 2.1 可食用抗菌涂层覆盖技术

可食用抗菌涂层能够利用不同的技术将其直接以液体形式包裹在食品外表面，具体指在食品外表面存在的可直接食用的具有抗菌效果的薄层，是可食用涂层的功能表现之一。只有当包括生物聚合物、增塑剂和其他添加剂在内的所有成分均为可食用成分时，才可以实现食品表面抗菌涂层的可食用性<sup>[24]</sup>。目前常用的有喷涂技术、浸渍技术与涂刷技术等，而不同技术的性能差异则主要体现在粘度、密度、表面张力等抗菌涂层的物理性质上<sup>[25]</sup>。

表2 无机抗菌剂的种类、特点以及作用机理  
Tab.2 Types, characteristics and mechanism of action of inorganic antimicrobial agents

无机抗菌剂	原理	原理示意图/结构图	优点
纳米二氧化钛颗粒	紫外线照射, TiO <sub>2</sub> 电子跃迁到高活性电子 e <sup>-</sup> , 产生空穴 h <sup>+</sup> 。吸附在 TiO <sub>2</sub> 面的 H <sub>2</sub> O 被 h <sup>+</sup> 氧化成羟基自由基, 可以氧化大多数污染物; 高活性电子 e <sup>-</sup> 与 O <sub>2</sub> 反生成过羟基, 直接或间接起到杀菌作用 <sup>[20]</sup>		抗菌能力强, 抗菌范围广, 安全可靠, 热稳定性好, 见效快
光催化型抗菌剂 <sup>[18-19]</sup>	二氧化钛/纳米金属	纳米银颗粒可使 TiO <sub>2</sub> 吸收光波扩大到可见光, 负载在 TiO <sub>2</sub> 表面会使银的比表面积最大化, 使 TiO <sub>2</sub> -Ag 的抗菌性得到显著提高	抗菌能力进一步增强, 抗菌范围广, 见效快
	二氧化钛/纳米非金属	选择合适的质量比, 将羟丙基纤维素 (HPC) 和二氧化硅 (SiO <sub>2</sub> ) 负载在 TiO <sub>2</sub> 纳米颗粒上, 可以提高 TiO <sub>2</sub> 薄膜的亲水性和光催化活性 <sup>[21]</sup>	抗菌能力进一步增强, 水性和光催化活性强
纳米二氧化钛管	TNT <sub>S</sub> 是 TiO <sub>2</sub> 的另一种存在形式, 具有比纳米 TiO <sub>2</sub> 颗粒更大的比表面积和特殊的管状结构		光催化性能得到极大提高和改善
金属型纳米抗菌剂 <sup>[22-23]</sup>	纳米银离子	接触式杀菌: 银离子穿过细胞膜后与蛋白质、羧基 (-COOH)、巯基 (-SH) 和氨基 (-NH <sub>2</sub> ) 等基团结合, 使得细菌蛋白质变质, 酶失去活性	抗菌能力强、效果持久
	纳米金离子	催化式杀菌: 在光作用下, 银离子催化水和氧气生成氧自由基, 进而氧化破坏细菌结构	不易产生耐药性
纳米金离子	修饰膜电荷, 抑制 ATP 合成酶的活性, 降低 ATP 的浓度, 减慢代谢过程; 防止因 tRNA 的核糖体亚基装配而导致的生物学功能障碍		作用方式相对安全, 抑制微生物的生长繁殖

1) 喷涂技术。喷涂技术是食品抗菌涂层最常用的技术手段, 喷雾系统通过形成细小的液滴来增加液体的表面积, 并通过一组喷嘴使其均匀分布在食品表面。喷涂技术的主要优点有涂层分布均匀, 涂层厚度容易控制, 且容易实现自动化流水线生产<sup>[26]</sup>。除此之外, 喷涂技术不会污染喷涂溶液, 容易实现温度控制, 因为温度将直接影响抗菌涂层溶液的持久性<sup>[27]</sup>。目前

常用的几种喷雾方式主要有空气喷雾雾化方式、压力雾化方式以及空气辅助雾化方式。从成本控制以及技术优势的角度而言, 利用喷雾方式覆盖食品表面形成涂层是一种高效、高质量且成本较低的方式。Peretto 等<sup>[28]</sup>使用喷涂技术将富含香芹酚和肉桂酸甲酯(天然抗菌剂)的可食用海藻酸盐涂层应用于新鲜草莓。结果表明, 与未喷涂涂层的样品相比, 该涂层在硬度、

保色性和减重方面表现出了优异的性能。

2) 浸渍技术。浸渍技术将待加工品直接浸入抗菌涂料后借助室温或干燥剂进行风干,容易形成厚度较大的抗菌涂层,常被用于水果、蔬菜及肉制品上。其应用过程具体可分为 3 个阶段<sup>[29]</sup>:首先,将待加工品完整浸入抗菌涂料池中,并稍作停留;其次,通过沉积作用使抗菌涂料在待加工品表面形成薄层;最后,待表面涂料分布均匀后形成稳定的抗菌薄膜。可以看出,浸渍技术的难点在于,难以控制在待加工品表面分布的抗菌涂料量,干燥后多余的涂料难以处理,并且较厚的涂料层可能会对食品的正常存储状态造成影响。另外,涂料池中长时间浸渍产品所造成的涂料稀释、微生物堆积、浸渍池污染也是造成浸渍技术应用面相对较窄的重要原因之一。近年来,将传统的浸渍技术与真空技术相结合,所形成的真空浸渍技术也被越来越多的人研究和应用<sup>[30]</sup>。在真空条件下,水果蔬菜等食品表层的液体会挥发,在表面容易形成一些孔状结构,加之在真空状态下被浸渍的物体体积会有略微增大,导致细胞之间间距有所增大,更有利于浸渍液体在被浸渍物体表层中的渗入和扩散,与传统浸渍技术相比,真空浸渍技术能延长果蔬的保存和食用时间。李晗等<sup>[31]</sup>研究了鲜荸荠真空浸渍强化钙工艺,考察温度、真空度、真空浸渍时间和乳酸钙浓度对鲜荸荠浸渍钙含量的影响,并结合正交试验分析真空浸渍对鲜荸荠性质的影响,以确定真空浸渍的最佳条件。

3) 涂刷技术。涂刷技术具体指将涂料均匀涂刷在待加工食品表面的过程,食品表面涂层的厚度由刀片精确控制,并通过热空气循环将薄膜干燥,常应用

于多糖和蛋白质基薄膜的生产。涂刷技术在食品表面的涂层覆盖性能因其技术特点受多种因素的影响,如待加工食品表面的粗糙度和几何形状,加工环境的温湿度,以及涂料的粘度、表面张力和密度等因素<sup>[32]</sup>。其中,粘度对于涂料在待加工食品表面的扩散具有较大影响,使用高粘度的涂料不利于涂层的均匀性。根据涂膜剂的不同,其粘度和溶解性也会不同,所以每种涂膜剂的适合使用对象与最佳使用参数至关重要。当浓度太低时,在果蔬表面形成的膜太薄,阻气性不好;当浓度过高时,涂膜剂黏度较大,涂覆在果蔬表面不易干燥,容易造成涂膜不均,并滋生微生物<sup>[33]</sup>。目前涂刷多层复合膜已经成为食品包装保鲜过程中使用率日趋增加的涂刷方式<sup>[34]</sup>。多层复合膜能够实现将具有相反电性天然抗菌活性物质通过静电作用力固定在固体基质表面,用其包装果蔬可以较大限度地保存抗菌物质的活性,从而大大延长果蔬的货架期。

## 2.2 可食用抗菌涂层在易腐食品包装上的应用

可食用的薄膜或涂层作为抗菌剂的载体,通过保持食品表面上有效成分的活性来抑制食品腐败和致病细菌的繁殖,为提升食品的品质安全提供了有效的技术支撑,常应用于延长生鲜水产品、肉制品和蔬菜水果的保鲜期。列举了近年来抗菌涂层在易腐食品包装上的应用,见表 3。

1) 鱼产品。对于生鲜水产品尤其是鱼类产品,因其脂质含量高、水分流失速度快等,容易受到快速降解的影响,因此常采用基于蛋白质、多糖以及

表 3 抗菌涂层在易腐食品包装上的应用  
Tab.3 Application of antibacterial coating in perishable food packaging

食用种类	产品种类	抗菌剂	抗菌剂来源	文献
鱼产品	鱼肉香肠	壳聚糖或温水鱼胶	蒸煮汁中提取虾浓缩物	[35—36] [37] [38] [39]
	鱈鱼片	壳聚糖、乳清蛋白	乳过氧化物酶	
	鲷鱼	壳聚糖	没食子酸	
	印度鲑鱼	明胶	大蒜、青柠	
	银鲤鱼片	甲基纤维素	茴芹精油	
肉制品	烤牛肉	壳聚糖	月桂酸精氨酸酯、乳酸和乙酰丙酸	[40]
	猪肉	海藻酸钠、壳聚糖	百里香和丙酸、丁香油	[41,45]
	鸡胸肉	角叉菜胶和壳聚糖	芥末提取物	[42]
	火腿	大豆粉和黄原胶	乳过氧化物酶	[43]
蔬菜	西兰花	壳聚糖	生物活性化合物和精油	[44]
	花椰菜	麦芽糊精和甲基纤维素	乳酸,柑橘提取物,柠檬草精油	[45]
	胡椒	壳聚糖、普鲁兰多糖	柠檬草精油、乙醇提取物	[46—47]
	南瓜	玉米醇溶蛋白	苯甲酸	[48]
水果	苹果	海藻酸钠	柠檬草精油	[49]
	草莓	果胶和壳聚糖	苯甲酸钠,山梨酸钾	[50]
	菠萝	海藻酸钠	柠檬草精油	[51]
	西瓜	海藻酸钠、果胶和乳酸钙	反式肉桂醛	[52]

脂质原料作为抗菌涂层,通过减少表面的病原微生物来延长生鲜产品的保鲜期<sup>[53]</sup>。ALEMÁN A<sup>[54]</sup>采用虾浓缩物制作抗菌涂层,这种涂层极大地抑制了香肠中微生物的生长。

2) 肉制品。对于肉制品而言,其保质期最大的问题在于容易被单核细胞增生李斯特菌污染,尤其是生肉中的高水分含量以及丰富的营养成分为细菌繁殖生长提供了有利条件,而使用可食用抗菌涂层是改善肉类质量的有利举措,对于抑制大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和单核细胞增生李斯特菌等微生物病原体的活性均有益处。HE S<sup>[55]</sup>以壳聚糖为原料,通过添加丁香油或乙二胺四乙酸盐,在猪肉片上抗菌试验结果表明,其对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌具有很高的抑制效果。

3) 蔬菜水果。对于蔬菜水果而言,大部分蔬菜水果富含维生素、矿物质和纤维素,同时也具有较高的水分含量,高水分含量也为微生物的生存繁殖提供了有利条件。为了延长蔬菜水果的保鲜期,在可食用涂层中添加抗菌剂同样能够抑制霉菌、肠炎沙门氏菌、大肠杆菌等的繁殖。

### 3 非食用性抗菌塑料制作和准备及在包装中的应用

#### 3.1 非食用性抗菌塑料的制作和准备

抗菌塑料是指添加一定的抗菌剂到塑料中,成为具有抑菌作用的塑料。抗菌塑料能够在一定时间内杀死或抑制与其接触的细菌、真菌等微生物,延长其内容物的保质期<sup>[56]</sup>。非食用性抗菌塑料主要包括无机抗菌塑料和有机抗菌塑料,其制备方法多种多样,目前,最常见的是将抗菌剂和塑料进行混合制备<sup>[57]</sup>。

1) 直接添加法。直接添加法是指将抗菌剂直接添加到塑料中,再混合均匀加工得到抗菌塑料制品的方法<sup>[58]</sup>。该方法的优点是操作简单,添加剂量可做到准确控制,缺点是很难实现抗菌剂在塑料中的均匀分布,抗菌性能也较差。

2) 抗菌母粒法。将抗菌剂与基体树脂(或与基体树脂有良好相容性的树脂)混合制备而直接形成抗菌塑料制品。该方法得到的抗菌塑料的抗菌浓度高,抗菌剂浓度一般是成品塑料中抗菌剂浓度的25~50倍<sup>[59]</sup>,分散性较好,生产过程污染较小,是目前抗菌制品的主要合成和生产方法。

3) 表面粘合法。将抗菌剂喷洒在制品成型模具表面,注塑时抗菌剂黏附在制品表面形成抗菌制品<sup>[60]</sup>。

4) 层压法。将塑料和抗菌剂混合制备成抗菌片材,在层压设备上热压叠合成抗菌制品,一般薄片厚度为0.5~1.0 mm。该方法制成的抗菌塑料具有制作方法简单、分散性较好等优点。

5) 后加工处理法。后加工处理法是指对已经制备

成功的塑料表面进行处理,使其具有抗菌性能,目前采用的主要方法有表面喷镀法和真空溅射表面喷镀法。

#### 3.2 非食用性抗菌塑料载体

1) 无机载体。抗菌剂的载体是抗菌材料的重要组成部分。抗菌剂的载体主要包括磷灰石、磷酸盐和二氧化硅等,无机载体的技术相对成熟。由于缺乏生物的兼容性,因此在生物、医学等领域的应用受到一定限制。

2) 有机载体。在抗菌塑料中,有机载体主要有壳聚糖、脂质体、聚合物等有机物。这些具有特殊性质和结构的载体可以负载抗菌剂(尤其是纳米无机抗菌剂),良好的生物兼容性使得纳米无机抗菌剂得到很好的发展。列举了无机载体和有机载体的主要种类、结构和特点,见表4。

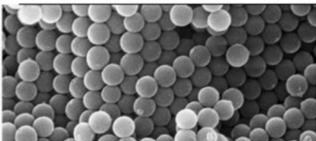
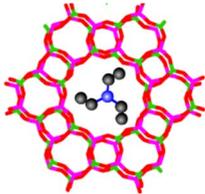
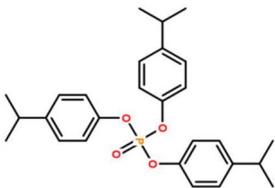
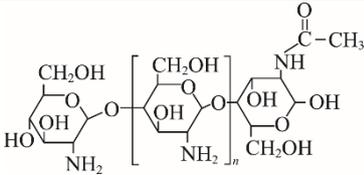
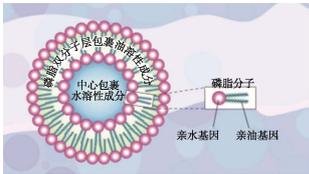
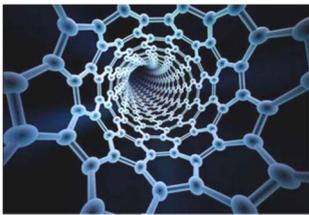
#### 3.3 非食用性抗菌塑料在食品包装中的应用

随着塑料制品的大规模应用,以及共享生活的到来。消费者对于塑料制品的抗菌性要求也会越来越高。再加上目前,各种病菌引起的疾病大范围爆发,对产品的卫生安全性要求就更加严格。非食用抗菌塑料是一类具备抑菌和杀菌性能的新型材料,通常是在塑料中添加一种或几种特定的抗菌剂而制得,其在食品包装中的应用十分广泛。根据抗菌塑料所添加的抗菌添加剂的不同,可将非食用性抗菌塑料分为无机抗菌塑料和有机抗菌塑料,国内外大量学者分别对其进行了研究,下面主要介绍其在食品包装中的应用。

##### 3.3.1 无机抗菌塑料在食品包装中的应用

无机抗菌塑料在食品包装领域应用较为普遍,肖华等<sup>[65]</sup>首次采用悬浮法制备分散均匀的抗菌母粒,具体是将纳米二氧化钛和自制母粒等按照比例加入高抗冲聚苯乙烯混合均匀后螺杆挤出,得到抗菌塑料粒。实验得到的抗菌塑料的稳定性能好、抗菌能力强。李杰等<sup>[66]</sup>采用熔融共混法,以PP材料为基体,采用3种不同的抗菌剂成功制备了抗菌PP材料。实验结果表明,使用聚六亚甲基胍盐酸盐/无机蒙脱土作为复合抗菌剂的PP材料对大肠杆菌和金黄葡萄球菌的杀菌率均可达99.9%。纳米抗菌作为目前的研究热点之一,广泛应用于各种食品抗菌包装中。Li等<sup>[67]</sup>将纳米氧化锌粉末和聚氯乙烯薄膜合成为一种新型的纳米包装,并测试了新型包装下鲜切苹果的果实腐烂率。结果表明,新型纳米包装能够抑制乙烯含量的上升,并且苹果中的多酚氧化酶和邻苯三酚过氧化物酶活性均有所降低。Yang等<sup>[68]</sup>将纳米粉末(纳米银颗粒、高岭土和二氧化钛)与聚乙烯混合制成了一种相对湿度较低且氧气透过率较低的新型纳米包装材料,能够显著抑制草莓中总可溶性固形物、可滴定酸度和抗坏血酸含量的下降。

表 4 抗菌塑料载体的种类  
Tab.4 Types of antimicrobial plastic carriers

类别	结构	特点
纳米 SiO <sub>2</sub> 颗粒		极高的表面活性和多孔结构，具有生理惰性、高吸附性，可吸附抗菌离子
无机载体 <sup>[61]</sup>	沸石 	内部存在大量 0.3~1 nm 的均匀微细空洞，比表面积大，结构稳定
	磷酸盐系 	耐高温（使用温度可达 1000 °C）、无变色、安全稳定
有机载体 <sup>[62—64]</sup>	壳聚糖 	无抗原性，与生物相容性能好，广谱抗菌性，杀菌作用强
	脂质体 	具有亲水亲脂两亲性，可负载水溶性物质和脂溶性物质
	聚合物 	兼具银纳米粒子抗菌性和高分子材料的特性

### 3.3.2 有机抗菌塑料在食品包装中的应用

目前，由于有机抗菌塑料存在不耐热的缺点，而在塑料加工过程中往往会经历高温过程，导致有机抗菌剂易出现降解，因此其在塑料包装方面应用较少。段婷婷等<sup>[69]</sup>成功利用三丁基磷和对氯甲基苯乙烯为原料生成了对乙烯基苄基三丁基氯化磷和低密度聚乙烯混合造粒，当合成的季磷盐质量分数为 2.13% 时，该材料对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抗菌率分别达到 96.0% 和 99.0%。葛一兰等<sup>[70]</sup>利用固相悬浮法合成了以聚氯乙烯为骨架聚合物、甲基丙烯酸酯氧乙基三甲基氯化铵为支链的接枝共聚物（PVC-g-DMC），当 PVC-g-DMC 的添加量（质量分数）为 10% 时，检测证明抗菌塑料的抗菌效果十分显著。Laila 等<sup>[71]</sup>将壳聚糖-氧化锌纳米颗粒复合涂层应用于食品活性包

装中，使大肠杆菌、小肠链球菌和金黄色葡萄球菌培养物的活力降低了 99.9%。

## 4 未来发展方向

1) 针对蔬菜水果、肉制品、生鲜水产品等保鲜周期短的易腐食品。一方面，可以使用富含抗菌剂的新型可食用涂料来抑制微生物（如革兰氏阴性和革兰氏阳性细菌，霉菌和酵母菌）的生长和繁殖；另一方面，可以直接从生物质（蛋白质，脂质和多糖）或其组合中提取食用生物聚合物（如精油，细菌素），减少易腐食品的污染和分解。

2) 针对粮油米面等保质期较长、贮藏方式多样的常规食品。一方面，可以融合无机抗菌塑料和有机

塑料,通过2种塑料间的协同作用和优势互补,提高抗菌剂的性能和适用范围。另一方面,可以对纳米材料进行处理和改善,开发分散剂好、稳定性强的纳米材料,保证食品的贮藏质量。

## 5 结语

随着消费者对食品品质要求的日益提升,食品保鲜技术已成为食品包装行业的重要课题之一。以可食用抗菌涂层和非食用性抗菌塑料为落脚点,文中重点探究了抗菌剂的种类、抗菌涂层的喷涂技术手段、可食用性抗菌涂层在易腐食品表面的生成技术、非食用性抗菌塑料的制备及其在食品包装设计领域的应用。综上所述,可食用抗菌涂层技术和非食用性抗菌塑料技术已成为食品保鲜和包装领域不可或缺的技术手段,而今后的研究将更多地围绕抗菌性的开发与选择,涂层覆盖技术的改良,以及探究抗菌涂层及抗菌塑料与食品本身的相互作用等几方面展开。

### 参考文献:

- [1] EGODAGE D P, JAYALATH HTS, SAMARASEKARA A M P B, et al. Novel Antimicrobial Nano Coated Polypropylene Based Materials for Food Packaging Systems[C]// Proceedings of the 2017 Moratuwa Engineering Research Conference (Mercon), 2017: 25—30.
- [2] LUCERA A, COSTA C, CONTE A, et al. Food Applications of Natural Antimicrobial Compounds[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2012, 3(8): 287.
- [3] MELLINAS C, VALDES A, RAMOS M, et al. Active Edible Films: Current State and Future Trends[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2015, 133(2): 1—15.
- [4] 姜楠楠, 陈小亮. 抗菌膜在食品包装中的应用及发展趋势[J]. *塑料包装*, 2016, 26(4): 21—23.  
JIANG Nan-nan, CHEN Xiao-liang. Application and Development Trend of Antimicrobial Membrane in Food Packaging[J]. *Plastic Packaging*, 2016, 26(4): 21—23.
- [5] 邓雯瑾, 蒋汶龙, 陈安均, 等. 百里香精油抗菌涂层包装对鲜切生菜货架期内理化品质及微生物的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(7): 247—253.  
DENG Wen-jin, JIANG Wen-long, CHEN An-jun, et al. Effects of the Antimicrobial Coating of Thyme Essential Oil on the Physical and Chemical Quality and Microorganisms in Fresh Cut Lettuce Shelf Life[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2016, 42(7): 247—253.
- [6] 吕飞. 生物抗菌包装体系及其对黑鱼品质影响的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009: 25—30.  
LYU Fei. Study on Antibacterial Packaging System and Its Effect on Black Fish Quality[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009: 25—30.
- [7] MATIACEVICH S, ACEVEDO N, LÓPEZ D. Characterization of Edible Active Coating Based on Alginate-thyme Oil-propionic Acid for the Preservation of Fresh Chicken Breast Fillets[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2016, 39(6): 2792—2801.
- [8] 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.  
HE Chen, WANG Zhen, MEI Ting, et al. Progress and Trends in Food Active Packaging Research[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2011, 29(3): 40—44.
- [9] 陈美梅, 郭荣辉. 抗菌材料的研究进展[J]. *纺织科学与工程学报*, 2019, 36(1): 155—157.  
CHEN Mei-mei, GUO Rong-hui. Research Progress of Antibacterial Materials[J]. *Journal of Textile Science and Engineering*, 2019, 36(1): 155—157.
- [10] 刘治平, 杨华明. 植物源性消毒与抗菌制剂发展现状[J]. *中国消毒学杂志*, 2019, 36(4): 302—303.  
LIU Zhi-ping, YANG Hua-ming. The Development Status of Plant-based Disinfection and Antibacterial Preparation[J]. *Chinese Journal of Disinfection*, 2019, 36(4): 302—303.
- [11] 符旭东, 郭家平. 壳聚糖类水凝胶在组织工程领域的研究进展[J]. *中国医院药学杂志*, 2010, 30(15): 1308—1310.  
FU Xu-dong, GUO Jia-ping. Advances in the Study of Chitosan Hydrogels in Tissue Engineering[J]. *Chin Hosp Pharm J*, 2010, 30(15): 1308—1310.
- [12] 李艳萍, 李卓荣. 多肽类抗菌剂研究进展[J]. *国外医药(抗生素分册)*, 2009, 30(4): 148—153.  
LI Yan-ping, LI Zhuo-rong. Research Development of Polypeptides Antibacterial Agents[J]. *World Notes on Antibiotics*, 2009, 30(4): 148—153.
- [13] 金学平, 唐启明, 余磊, 等. 氨基酸衍生物——一类安全性能好的抗菌剂[J]. *化学与生物工程*, 2019, 36(11): 8—11.  
JIN Xue-ping, TANG Qi-ming, YU Lei, et al. Amino Acid Derivatives—a Kind of Antibacterial Agent with High Safety[J]. *Chemistry & Bioengineering*, 2019, 36(11): 8—11.
- [14] 袁玉玉, 丛聪, 王丽丽, 等. 噬菌体与抗菌剂联合应用研究进展[J]. *中国抗生素杂志*, 2017, 42(10): 842—848.  
YUAN Yu-yu, CONG Cong, WANG Li-li, et al. The Combined Application of Bacteriophage and Antimicrobial Agents[J]. *Chinese journal of antibiotics*, 2017, 42(10): 842—848.
- [15] 肖纯凌. 益生菌——后抗生素时代的曙光[J]. *沈阳医学院学报*, 2017, 19(6): 461—465.  
XIAO Chun-ling. Probiotics—the Dawn of the Post-antibiotic Era[J]. *Journal of Shenyang Medical College*, 2017, 19(6): 461—465.
- [16] JANKOVIC I, SYBESMA W, PHOTHIRATH P, et al. Application of Probiotics in Food Products-challenges

- and New Approaches[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2010, 21(2): 175—181.
- [17] 陈美婉, 彭新生, 吴琳娜, 等. 纳米银抗菌剂的研究和应用[J]. *中国消毒学杂志*, 2009, 26(4): 424—426.  
CHEN Mei-wan, PENG Xin-sheng, WU Lin-na, et al. Research and Application of Nano Silver Antibacterial Agents[J]. *Chinese Journal of Toxicology*, 2009, 26(4): 424—426.
- [18] 张相辉. La 掺杂改性  $\text{Bi}_2\text{WO}_4$  纳米材料的制备及其光催化性能[J]. *材料工程*, 2018, 46(11): 57—62.  
ZHANG Xiang-hui. Preparation and Photocatalytic Properties of La Doped  $\text{Bi}_2\text{WO}_6$  Nanomaterials[J]. *Journal of Materials Engineering*, 2018, 46(11): 57—62.
- [19] 吴玉胜, 王昱征. 光催化型抗菌材料及抗菌陶瓷的研究现状[J]. *中国陶瓷工业*, 2016, 23(6): 19—23.  
WU Yu-sheng, WANG Yu-zheng. Research Status of Photocatalytic Antibacterial Materials and Antibacterial Ceramics[J]. *China Ceramic Industry*, 2016, 23(6): 19—23.
- [20] 王小健, 乔学亮, 陈建国, 等. 无机抗菌剂的研究现状及发展趋势[J]. *陶瓷学报*, 2003, 24(4): 239—244.  
WANG Xiao-Jian, QIAO Xue-liang, CHEN Jian-guo, et al. Research Status and Development Trend of Inorganic Antimicrobial Agents[J]. *Journal of Ceramics*, 2003, 24(4): 239—244.
- [21] ZHAO G, TIAN Q, LIU Q, et al. Effects of Hpc on the Microstructure and Hydrophilicity of Sol-Gel-Derived  $\text{TiO}_2$  Films[J]. *Surface & Coatings Technology*, 2005, 198(1): 55—58.
- [22] 毛勇, 邓玉明. 纳米抗菌材料的研究进展[J]. *塑料制造*, 2011(9): 58—62.  
MAO Yong, DENG Yu-ming. The Research Development of Nano-antibacterial Materials[J]. *Plastics Manufacture*, 2011(9): 58—62.
- [23] DASTJERDI R, MONTAZER M. A Review on the Application of Inorganic Nano-structured Materials in the Modification of Textiles: Focus on Anti-microbial Properties[J]. *Colloids and Surfaces B, Biointerfaces*, 2010, 79: 5—18.
- [24] FALGUERA V, QUINTERO J P, JIMÉNEZ A, et al. Edible Films and Coatings: Structures, Active Functions and Trends in Their Use[J]. *Trends Food Sci Technol*, 2011, 22: 292—303.
- [25] MARTÍN-BELLOSO O, ROJAS-GRAÜ M A, Soliva-fortuny R. Delivery of Flavor and Active Ingredients Using Edible Films and Coatings[M]. New York: Springer, 2009: 295—313.
- [26] ANDRADE R D, SKURTYS O, OSORIO F A. Atomizing Spray Systems for Application of Edible Coatings[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2012, 11(3): 323—337.
- [27] MARINA R, ALFONSO J, MERCEDES P, et al. Characterization and Antimicrobial Activity Studies of Polypropylene Films with Carvacrol and Thymol for Active Packaging[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 109: 513—519.
- [28] PERETTO G, DU W X, AVENA-BUSTILLOS R J, et al. Electrostatic and Conventional Spraying of Alginate-based Edible Coating with Natural Antimicrobials for Preserving Fresh Strawberry Quality[J]. *Food Bioprocess Technol*, 2017, 10: 165—174.
- [29] SCHNELLER T, WASER R, KOSEC M, et al. Chemical Solution Deposition of Functional Oxide Thin Films[M]. Vienna: Springer, 2013: 160—170.
- [30] 孙亚楠, 刘冠楠. 真空浸渍技术在果蔬加工与贮藏中的应用[J]. *江西农业*, 2018(22): 38.  
SUN Yan-nan, LIU Guan-nan. Application of Vacuum Impregnation Technology in Processing and Storage of Fruits and Vegetables[J]. *Jiangxi Agriculture*, 2018(22): 38.
- [31] 李晗, 江琳玲, 范方宇, 等. 鲜荸荠真空浸渍强化钙工艺研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(13): 117—123.  
LI Han, JIANG Lin-ling, FAN Fang-yu, et al. Study on the Process of the Calcium-fortified Fresh Water Chestnut by Vacuum Impregnation[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(13): 117—123.
- [32] KUMAR G, PRABHU K N. Review of Non-reactive and Reactive Wetting of Liquids on Surfaces[J]. *Adv Colloid Interface Sci*, 2007, 133: 61—89.
- [33] 胡晓亮, 沈建. 壳聚糖及其衍生物在水产品贮藏保鲜中的应用[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(8): 226—230.  
HU Xiao-liang, SHEN Jian. Application of Chitosan and Its Derivatives on the Preservation of Aquatic Products[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2012, 38(8): 226—230.
- [34] HUANG W, XU H, XUE X, et al. Layer-by-layer Immobilization of Lysozyme-chitosan-organic Rectorite Composites on Electrospun Nanofibrous Mats for Pork Preservation[J]. *Food Research International*, 2012, 48(2): 784—791.
- [35] JASOUR M S, EHSANI A, MEHRYAR L, et al. Chitosan Coating Incorporated With The Lactoperoxidase System: an Active Edible Coating for Fish Preservation[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2015, 95(6): 1373—1378.
- [36] SHOKRI S, EHSANI A, JASOUR M S. Efficacy of Lactoperoxidase System-whey Protein Coating on Shelf-life Extension of Rainbow Trout Fillets During Cold Storage(4 °C)[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2015, 8(1): 54—62.
- [37] WU C, FU S, XIANG Y, et al. Effect of Chitosan Gallate Coating on the Quality Maintenance of Refrigerated (4 °C) Silver Pomfret (*Pampus Argentus*)[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2016, 9(11): 1—9.
- [38] THAKER M, HANJABAM M D, GUDIPATI V, et al.

- Protective Effect of Fish Gelatin-based Natural Antimicrobial Coatings on Quality of Indian Salmon Fillets during Refrigerated Storage[J]. *Journal of Food Process Engineering*, 2017, 40(1): 1—10.
- [39] ARIAI P, TAVAKOLIPOUR H, REZAEI M, et al. Effect of Methylcellulose Coating Enriched With Pimpinella Affinis Oil on the Quality of Silver Carp Fillet during Refrigerator Storage Condition[J]. *Journal of Food Processing & Preservation*, 2015, 39(6): 1647—1655.
- [40] WANG L, LIANG Z, JING Y, et al. Application of A Novel Antimicrobial Coating on Roast Beef for Inactivation and Inhibition of *Listeria Monocytogenes* During Storage[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2015, 211: 66—72.
- [41] SÁNCHEZ-ORTEGA I, GARCÍA-ALMENDÁREZ B E, SANTOS-LÓPEZ E M, et al. Characterization and Antimicrobial Effect of Starch-Based Edible Coating Suspensions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 52: 906—913.
- [42] OLAIMAT A N, FANG Y, HOLLEY R A. Inhibition of *Campylobacter Jejuni* on Fresh Chicken Breasts by K-carrageenan/chitosan-based Coatings Containing Allyl Isothiocyanate or Deodorized Oriental Mustard Extract[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2014, 187(18): 77—82.
- [43] LEE H, KIM J E, MIN S C. Quantitative Risk Assessments of the Effect of An Edible Defatted Soybean Meal-based Antimicrobial Film on the Survival of *Salmonella* on Ham[J]. *Journal of Food Engineering*, 2015, 158: 30—38.
- [44] ALVAREZ M V, PONCE A G, MOREIRA M D R. Antimicrobial Efficiency of Chitosan Coating Enriched With Bioactive Compounds to Improve the Safety of Fresh Cut Broccoli[J]. *Lwt-food Science and Technology*, 2013, 50(1): 78—87.
- [45] BOUMAIL A, SALMIERI S, ST-YVES F, et al. Effect of Antimicrobial Coatings on Microbiological, Sensorial and Physico-chemical Properties of Pre-cut Cauliflowers[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2016, 116: 1—7.
- [46] ALI A, NOH N M, MUSTAFA M A. Antimicrobial Activity of Chitosan Enriched With Lemongrass Oil Against Anthracnose of Bell Pepper[J]. *Food Packaging & Shelf Life*, 2015, 3(3): 56—61.
- [47] KRAŚNIEWSKA K, GNIEWOSZ M, SYNOWIEC A, et al. The Use of Pullulan Coating Enriched With Plant Extracts from *Satureja Hortensis L* to Maintain Pepper and Apple Quality and Safety[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2014, 90(2): 63—72.
- [48] AKSU F, URAN H, DULGER ALTINER D, et al. Effects of Different Packaging Techniques on the Microbiological and Physicochemical Properties of Coated Pumpkin Slices[J]. *Food Science and Technology*, 2016, 36(3): 549—554.
- [49] SALVIA-TRUJILLO L, ROJAS-GRAÜ M A, SOLIVA-FORTUNY R, et al. Use of Antimicrobial Nanoemulsions as Edible Coatings: Impact on Safety and Quality Attributes of Fresh-cut Fuji Apples[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2015, 105: 8—16.
- [50] GUERREIRO A C, GAGO C M L, FALEIRO M L, et al. The Use of Polysaccharide-based Edible Coatings Enriched With Essential Oils to Improve Shelf-life of Strawberries[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2015, 110: 51—60.
- [51] AZARAKHSH N, OSMAN A, GHAZALI H M, et al. Lemongrass Essential Oil Incorporated Into Alginate-based Edible Coating for Shelf-life Extension and Quality Retention of Fresh-cut Pineapple[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2014, 88(1): 1—7.
- [52] SIPAHI R E, CASTELLPEREZ M E, MOREIRA R G, et al. Improved Multilayered Antimicrobial Alginate-based Edible Coating Extends the Shelf Life of Fresh-cut Watermelon (*Citrullus Lanatus*)[J]. *Lwt-food Science and Technology*, 2013, 51(1): 9—15.
- [53] NOORIHASHEMABAD Z, OJAGH S M, ALISHAHI A. A Comprehensive Surviving on Application and Diversity of Biofilms in Seafood[J]. *International Journal of Biosciences*, 2015: 40(2): 540—550.
- [54] ALEMÁN A, GONZÁLEZ F, ARANCIBIA M Y, et al. Comparative Study Between Film and Coating Packaging Based on Shrimp Concentrate Obtained from Marine Industrial Waste for Fish Sausage Preservation[J]. *Food Control*, 2016, 70: 325—332.
- [55] HE S, YANG Q, REN X, et al. Antimicrobial Efficiency of Chitosan Solutions and Coatings Incorporated With Clove Oil and/or Ethylenediaminetetraacetate[J]. *Journal of Food Safety*, 2014, 34(4): 345—352.
- [56] 王志东, 康桂芝. 抗菌塑料的开发应用[J]. *聚氯乙烯*, 2001(3): 43—47.  
WANG Zhi-dong, KANG Gui-zhi. Development and Application of Antibacterial Plastics[J]. *Pvc*, 2001(3): 43—47.
- [57] 孙振玲, 刘俊龙. 抗菌塑料的制备及应用研究进展[J]. *塑料科技*, 2007, 35(10): 102—107.  
SUN Zhen-ling, LIU Jun-long. Advances in the Preparation and Application of Antibacterial Plastics[J]. *Plastics Technology*, 2007, 35(10): 102—107.
- [58] 聂颖. 塑料抗菌剂的开发现状与发展前景[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.
- [59] 张立娟. 抗菌塑料的研究进展简述[J]. *广州化学*, 2016, 41(1): 76—79.  
ZHANG Li-Juan. A Brief Introduction to the Progress of Antimicrobial Plastics Research[J]. *Guangzhou Chemistry, Trends in Biochemical Sciences*, 2016,

- 41(1): 76—79.
- [60] 孙振玲, 刘俊龙. 抗菌塑料的制备及应用研究进展[J]. 塑料科技, 2007(10): 102—107.  
SUN Zhen-ling, LIU Jun-long. Research Progress on Preparation and Application of Antibacterial Plastic[J]. Plastic Science and Technology, 2007(10): 102—107.
- [61] 秦嘉旭, 张亚涛, 陈义丰, 等. 无机纳米抗菌剂及其载体[J]. 材料导报, 2011, 25(18): 67—72.  
QIN Jia-xu, ZHANG Ya-tao, CHEN Yi-feng, et al. Inorganic Nano-antibacterial Agent and Its Carriers[J]. Material Review, 2011, 25(18): 67—72.
- [62] 付海丽, 张雯, 张华, 等. 壳聚糖/有机锂皂石纳米复合材料的制备及抗菌性能研究[J]. 无机材料学报, 2016, 31(5): 479—484.  
FU Hai-li, ZHANG Wen, ZHANG Hua, et al. Preparation and Antibacterial Activity of Chitosan/Organic Laponite Nanocomposites[J]. Journal of Inorganic Materials, 2016, 31(5): 479—484.
- [63] JONATHAN J R, EDMUND R S K. The SLC25 Mitochondrial Carrier Family: Structure and Mechanism[J]. Trends in Biochemical Sciences, 2019, 12: 1—12.
- [64] CECIL N M O, PHILLIMON M M, DMITRI B. Catalytic Dehydrogenation Onset of Liquid Organic Hydrogen Carrier, Perhydro-dibenzyltoluene: The Effect of Pd and Pt Subsurface Configurations[J]. Computational Materials Science, 2020, 172: 109332.
- [65] 肖华, 陈春宝, 谢飏, 等. 银锌复合抗菌剂及纳米抗菌塑料的制备[J]. 塑料制造, 2006(5): 11—14.  
XIAO Hua, CHEN Chun-bao, XIE Biao, et al. Preparation of Silver Zinc Compound Antimicrobial Agents and Nano Antibacterial Plastics[J]. Plastic manufacturing, 2006(5): 11—14.
- [66] 李杰, 张师军, 初立秋, 等. PHMG/MMT 复合抗菌剂改性聚丙烯[J]. 合成树脂及塑料, 2012, 29(6): 9—12.  
LI Jie, ZHANG Shi-Jun, CHU Li-qiu, et al. Phmg/Mmt Compound Antimicrobial Modified Polypropylene[J]. Synthetic Resins and Plastics, 2012, 29(6): 9—12.
- [67] LI X, LI W, JIANG Y, et al. Effect of Nano-Zno-Coated Active Packaging on Quality of Fresh-cut & Lsquo; Fuji & Rsquo; Apple[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2011, 46(9): 1947—1955.
- [68] YANG F M, LI H M, LI F, et al. Effect of Nano-packing on Preservation Quality of Fresh Strawberry (Fragaria Ananassa Duch Cv Fengxiang) during Storage At 4 Degrees C[J]. Journal of Food Science, 2010, 75(3): C236—C240.
- [69] 段婷婷, 刘文涛, 宋伟强, 等. 对乙烯基苜基三丁基氯化磷及其杀菌活性研究[J]. 现代塑料加工应用, 2012, 24(3): 27—30.  
DUAN Ting-ting, LIU Wen-tao, SONG Wei-qiang, et al. Study on Ethylbenzyl Tributyl Chloride Scales and Their Bactericidal Activity[J]. Modern Plastic Processing Applications, 2012, 24(3): 27—30.
- [70] 葛一兰, 李青山, 崔占全, 等. PVC-G-DMC 抗菌聚合物的制备及其在 PVC 中的应用[J]. 中国塑料, 2010(3): 72—78.  
GE Yi-lan, LI Qing-shan, CUI Zhan-quan, et al. Preparation of Pvc-G-Dmc Antibacterial Polymer and Its Application In Pvc[J]. Chinese Plastics, 2010(3): 72—78.
- [71] LAILA A-N, SERGEY D, JOYDEEP D. Chitosan-Zinc Oxide Nanoparticle Composite Coating for Active Food Packaging Applications[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 38: 231—237.