

## 防雾抗菌聚乙烯薄膜的制备及性能

陈基玉<sup>1,2,3</sup>, 魏丽娟<sup>4</sup>, 杨福馨<sup>5</sup>

(1.乳业生物技术国家重点实验室, 上海 200436; 2.上海乳业生物工程技術研究中心, 上海 200436;  
3.光明乳业股份有限公司乳业研究院, 上海 200436; 4.上海创元化妆品有限公司, 上海 201402;  
5.上海海洋大学, 上海 201306)

**摘要:** 目的 制备一种具有抗菌和防雾效果的改性薄膜。方法 防雾添加剂选择聚甘油脂肪酸酯 (PGFE) 和实验室自制的母粒 (YS), 抗菌剂选择丙酸钙 (CP) 和脱氢乙酸钠 (以下称为 DHA-S), 将抗菌剂、防雾剂及 PE 粒子混合造粒, 然后在流延机上流延得到防雾抗菌聚乙烯 (PE) 活性包装薄膜, 并通过正交实验优化薄膜的制备配方。结果 与纯 PE 薄膜相比 (抗张强度为 8.64 MPa; 质量分数为 88.46%; 断裂伸长率纵向为 551.72%, 横向为 589.86%), 添加 YS (均以质量分数表示) (3%), PGFE (3%), DHA-S (1%) 和 CP (1%) 的薄膜具有较好的防雾性、抗张强度 (14.58 MPa) 以及对试验菌较好的抗菌性能, 但是薄膜透光率 (82.68%)、断裂伸长率 (纵向 272.20%, 横向 140.20%) 和阻隔性较差。结论 经过防雾剂和抗菌剂改性的聚乙烯薄膜, 因其抗菌和防雾效果较好, 以及其物理性能良好, 可以作为食品包装材料使用。

**关键词:** 聚乙烯; 聚甘油脂肪酸酯; 防雾母粒; 脱氢乙酸钠; 丙酸钙; 防雾; 物理性能; 抗菌性

**中图分类号:** TS206.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)01-0102-07

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.01.014

## Preparation and Properties of Antifogging and Antimicrobial Polyethylene Film

CHEN Ji-yu<sup>1,2,3</sup>, WEI Li-juan<sup>4</sup>, YANG Fu-xin<sup>5</sup>

(1.State Key Laboratory of Dairy Biotechnology, Shanghai 200436, China; 2.Shanghai Engineering Research Center of Dairy Biotechnology, Shanghai 200436, China; 3.Dairy Research Institute for Bright Dairy & Food Co., Ltd., Shanghai 200436, China; 4.Shanghai Chuangyuan Cosmetics Co., Ltd., Shanghai 201402, China; 5.Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**ABSTRACT:** The work aims to fabricate a kind of modified film with antifogging and antibacterial properties. Polyglycerol fatty acid esters (PGFE) and master batch (YS) made in laboratory were used as the antifogging additives and calcium propionate (CP) and sodium dehydroacetate (DHA-S) as the antimicrobial additives and then mixed and granulated with PE particles to prepare the antifogging and antibacterial polyethylene active packaging films through extrusion casting with a casting machine. Orthogonal experiments were used to optimize the formulation of the films. The addition of antimicrobial agent and antifogging agent was in mass fraction. Compared with pure PE film (8.64 MPa; mass fraction of 88.46%; elongation at break of 551.72% in longitudinal direction and 589.86% in transverse direction), the films with YS (3%), PGFE (3%), DHA-S (1%) and CP (1%) had better antifogging property, tensile strength (14.58 MPa) and more excellent antimicrobial properties against test bacteria, but had poor light transmittance (82.68%), elongation at break

收稿日期: 2020-03-11

基金项目: 上海市科委项目 (19DZ2281400)

作者简介: 陈基玉 (1991—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品包装材料。

(272.20% in longitudinal direction and 140.20% in transverse direction) and barrier property. Polyethylene films modified by antifogging agent and antimicrobial agent can be used as food packaging materials because of their antimicrobial and antifogging effects and good physical properties.

**KEY WORDS:** polyethylene; polyglycerol fatty acid esters; antifogging master batch; sodium dehydroacetate; calcium propionate; antifogging; physical properties; antimicrobial activity

理想的食品包装材料应具有良好的水蒸气阻隔性能、氧气阻隔性能、热稳定性、抗菌性能、力学性能以及防雾性能,并且不易受环境影响<sup>[1]</sup>。聚乙烯(PE)是最常见、用量最大的塑料包装材料,聚乙烯本身透明度高、加工容易、可储存时间长且成本低廉,因此其消费使用量相对较高,占整个塑料包装的40%<sup>[1-3]</sup>。聚乙烯等材料具有表面疏水性,当外界温度发生变化时,材料易出现结雾现象,防雾效果不佳会直接影响聚乙烯材料的应用。这些年,防雾材料逐渐走进人们的视野,其防雾效果引起了不同行业的包装研究者以及制造者的关注。提高聚合物防雾性能的方法有很多,如熔融共混法<sup>[4-5]</sup>、辐照<sup>[2]</sup>以及表面涂布法<sup>[6-7]</sup>。国内外关于防雾薄膜制备方法的研究集中在2个方向:表面附着和内部共混。表面附着的途径是通过喷涂设备将防雾剂涂覆在膜表面,此种方法的优点是操作简单,缺点是涂层不耐擦洗,防雾时间有限。内部共混是指将防雾剂加入树脂基体中进行共混挤出制备防雾薄膜<sup>[7-9]</sup>。与涂布法相比,共混法制备的薄膜具有更长的防雾时间,防雾效果更佳。防雾薄膜中的防雾剂具有表明活性,能够降低薄膜的表面张力,从而使水滴与薄膜之间的接触角变小形成水膜,达到防雾效果,提高了膜的透光率,改善了包装产品外观。

三聚甘油单硬脂酸酯(PGFE,  $C_{27}H_{54}O_8$ )是一种非离子型表面活性剂,能被人体从体内排出,具有高度的安全性<sup>[10]</sup>,已被广泛应用在药物、食品和化妆品的生产制备中<sup>[11-13]</sup>。除此之外,PGFE还可作为聚烯烃树脂的抗静电剂、润滑剂、防雾剂和增塑剂<sup>[7-9]</sup>。有研究称,PGFE还具有良好的抗菌性能<sup>[10]</sup>。自制防雾母粒(YS)是将十二烷基硫酸钠(SDS)加入聚合物基料中共混制得。SDS是一种阴离子型表面活性剂,具有优良的乳化、渗透、润湿、去污等性能。文献显示,很多表面活性剂都具有抗菌、防腐的作用<sup>[14]</sup>。

功能性食品包装的新趋势之一是在薄膜中加入食品抗菌剂、抗氧化剂<sup>[3,15-19]</sup>。抗菌包装通过减少食品与化学物质的直接接触而提高食品安全和质量。抗菌活性包装薄膜可以作为抗菌剂的载体,在食品储藏期间保持抗菌物质的可控释放<sup>[16-17,20]</sup>。已应用在食品包装中的抗菌物质有精油<sup>[16,20-22]</sup>、溶菌酶<sup>[23]</sup>、羧甲基纤维素和壳聚糖等<sup>[1]</sup>。

脱氢乙酸钠(DHA-S,  $C_8H_7NaO_4$ )作为一种新型食品防腐剂,对酵母、霉菌和细菌有较强抑制作

用<sup>[18,24]</sup>。Yan等<sup>[18]</sup>研究了薄膜中DHA-S质量分数 $\geq 0.1\%$ 时,能有效抑制大肠杆菌的繁殖,当DHA-S质量分数 $\geq 0.3\%$ 时能有效抑制黑曲霉的生产繁殖。DHA-S在水中可以逐渐降解为乙酸,无蓄积,对人体无害,不影响食品的风味和口感。丙酸钙(CP,  $(CH_3CH_2COO)_2Ca$ )是一种通用的化学无机保鲜剂,是食品和饲料的防霉剂<sup>[25-27]</sup>。蒋硕等<sup>[27]</sup>研究了CP改性聚乙烯醇包装薄膜的性能,结果表明,CP质量分数为0.025 g/mL时,薄膜对蜡芽芽孢杆菌、大肠杆菌和米曲霉菌有一定的抑制作用。DHA-S和CP都是联合国粮食农业组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)认可的食品用防腐保鲜剂,因而具有高度的安全性<sup>[18,26-27]</sup>。

该研究将抗菌剂、防雾剂及PE树脂熔融共混制备一种改性薄膜,该薄膜具有预期的抗菌和防雾的效果。在预实验的基础上,采用四因素二水平的正交设计进一步优化改性薄膜的制备工艺。对添加不同改性剂的薄膜进行性能测试分析,包括改性薄膜的物理性能、防雾性能以及抗菌性能等。

## 1 实验

### 1.1 材料

主要材料:低密度聚乙烯(LDPE),苏州新力隆塑化有限公司;防雾母粒(YS),实验室自制;三聚甘油单硬脂酸酯(PGFE),河南安瑞生物技术有限公司;脱氢乙酸钠(DHA-S,分子量208.15),南京京润生物科技;丙酸钙(CP),南京京润生物科技;TSA培养基和TSB培养基,南通凯恒生物科技发展有限公司;大肠杆菌(*Escherichia coli*)和金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*),农业部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(上海);一次性塑料培养皿(90 mm),万德广联医疗器械厂;一次性塑料杯,350 mL,上海华联超市售;牛津杯,6 mm×7.8 mm×10 mm(内径×外径×高度),江苏三爱思科学仪器有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

主要仪器:分析天平,AUW120D型,日本岛津;磁力搅拌器,DF-101S型,上海绪航科学仪器有限公司;透光率/雾度测定仪,WGT-S型,上海精科仪器有限公司;水蒸气透过率测试仪,PERMATRAN-W1/50

型,美国膜康有限公司;气体渗透测试仪, G2/132型, 济南思克测试技术有限公司;智能电子拉力试验机, XLW (EC) 型, 苏州亚诺天下仪器有限公司;塑料挤出装置, LSJ-20 型, 上海科创橡塑机械设备有限公司;双螺杆挤出装置, LSSHJ-20 型, 上海科创橡塑机械设备有限公司;转矩流变仪, XSS-300, 上海科创橡塑机械设备有限公司;接触角测试仪, JC2000D1 型, 得菲诺电子有限公司;色差仪, CR-400 型, 卓越仪器仪表有限公司。

### 1.3 防雾抗菌薄膜的制备

按照设计比例,将抗菌剂、防雾剂与 PE 粒子混合并搅拌,放入双螺杆挤出设备中造粒得到改性的母粒,然后将改性的母粒置于流延设备中,制备改性薄膜。双螺杆挤出设备和流延设备均有多个加热区,各区的温度相同,1区为 160℃;2~4区为 170℃;5~7区为 165℃。挤出设备转速为 40 r/min,流延设备转速为 70 r/min,后道薄膜的收卷速度为 7.8 r/min。

### 1.4 实验设计和数据分析

实验采用 4 因素 2 水平的  $L_8(2^7)$  正交实验,研究因素对薄膜接触角、防雾时间、透光率、抗张强度、水蒸气透过性 (WVP) 和氧气透过率 (OP) 的影响。除了接触角、水蒸气透过率和氧气透过率外,指标越大越好,用加权综合评分法对指标进行综合评价。接触角和防雾时间的权重为 0.2,其余 4 个指标 (透光率、抗张强度、水蒸气透过率和氧气透过率) 的权重都为 0.15。因素水平编码见表 1,正交实验设计见表 2。用 DPS7.5 分析试验数据,方差分析采用完全随机型,用 Duncan ( $P < 0.05$ ) 法进行多重检验。

## 2 性能测试

### 2.1 接触角测试

液体在薄膜表面上的接触角可以衡量该薄膜表面湿润性能,即亲水性。接触角值越小,薄膜的湿润性

表 1 因素水平编码  
Tab.1 Factors and levels coding

水平	质量分数/%			
	YS (A)	PGFE (B)	DHA-S (C)	CP (D)
1	3	2	1	0.5
2	2	3	3	1

能越好,即亲水性越好,也就意味着当水滴在薄膜表面的时候,水滴越容易铺展开来,越不易形成雾气<sup>[28]</sup>。具体方法是滴一滴去离子水在测试膜表面,然后测试水滴的接触角,取 5 次测试的平均值作为最终结果<sup>[8]</sup>。

### 2.2 高温防雾性能测试

高温防雾性能主要通过防雾持久性来判断。方法是将测试膜置于容易凝结雾气的环境下,文中实验通过高温 (60℃) 制造容易凝结雾气的环境。具体做法是将 300 mL 蒸馏水倒入干净的平口的塑料杯中,用试验膜包裹住杯口,并用皮筋固定,再将杯子置于恒温水浴锅内,杯子放到锅内的同时按下计时器。定时观察试验膜表面的凝水状况,当试验膜表面的水滴面积过半时,即可判断试验结束,即防雾性终止,记录时间<sup>[6]</sup>。

### 2.4 力学性能的测试

用抗张强度 (TS) 和断裂伸长率 (EB) 来表示薄膜的力学性能。参考 GB 1040—79 试验方法,试验温度设置为 25℃,环境湿度设置为 50%,用电子拉力机测试抗张强度和断裂伸长率。取样规格 (长×宽) 为 15 mm×80 mm。电子拉力机测试速度设置为 300 mm/min,夹距为 50 mm。每种试样膜测试 5 次,求其平均值<sup>[18-19, 28-29]</sup>。抗张强度和断裂伸长率计算公式为<sup>[16,19]</sup>:

$$\sigma = F/S \quad (2)$$

式中:  $\sigma$  为抗张强度 (MPa);  $F$  为样品断裂时的最大力值 (N);  $S$  为原试样横截面积 ( $\text{mm}^2$ )。

表 2 正交试验因素和水平设计  
Tab.2 Design of factors and levels for orthogonal experiments

编号	CP 质量分数 (D) /%	PGFE 质量分数 (B) /%	$B \times D$	DHA-S 质量分数 (C) /%	$C \times D$	空白组	YS 质量分数 (D) /%
1	0.5	2	1	1	1	1	3
2	0.5	2	1	3	2	2	2
3	0.5	3	2	1	1	2	2
4	0.5	3	2	3	2	1	3
5	1	2	2	1	2	1	2
6	1	2	2	3	1	2	3
7	1	3	1	1	2	2	3
8	1	3	1	3	1	1	2

$$E_B = (L/L_0) \times 100\% \quad (3)$$

式中： $E_B$  为断裂伸长率 (%)； $L$  为样品断裂时的位移 (mm)； $L_0$  为初始夹距，为 50 mm。

## 2.7 薄膜的抗菌性能测试 (牛津杯法测定)

### 2.7.1 菌种的培养

首先，活化大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌，然后在 TSA 平板上 37 °C 培养 18 h，紧接着挑取适量菌置于生理盐水试管中，生理盐水质量分数为 0.85%，小幅度摇晃试管至菌液浑浊，并调节其浓度为  $0.5 \times 10^7$  CFU/mL，待用。培养皿消毒后加入水琼脂 10 mL/只，静置待其凝固。然后将牛津杯 (已灭菌) 放在凝固的水琼脂上 (无菌操作)，取 1 mL 菌液加入到 20 mL TSA 培养基中 (已融化)，摇匀后倒入平皿中，避开牛津杯的孔，待其凝固，最后取出牛津杯。

### 2.7.2 薄膜抗菌性能测定

一次性培养皿中加入 0.27 g 薄膜样品，用紫外照射方式灭菌，为使灭菌充分，紫外照射时间需 1 h 以上。将灭完菌的薄膜置于 TSB 培养基中浸泡 7 d (培养基 10 mL)，温度为 4 °C<sup>[17]</sup>。吸取浸泡液 200 mL，倒入牛津杯中，再放到冰箱中过夜，冰箱温度为 4 °C。第 2 天再放到 37 °C 的培养箱中培养 24 h。每种样品

膜测试 3 组平行，最后结果以抑菌圈直径表示<sup>[1,18-19]</sup>。

## 3 结果与讨论

### 3.1 正交实验结果

用极差分析方法分析实验结果，目的是确认实验设计中最优组合以及各因素中最优因素。极差分析的结果及部分实验数据见表 2。如表 2 所示，极差值最大的因素为 C (即 DHA-S)，即 23.69，也就说明在实验中对综合评分影响较大，应引起重视。方差分析结果 (表 3) 显示，所有因素对综合评分的影响都不显著 ( $F < F_{0.05}, P > 0.05$ )。分析结果可知，各因素对综合评价的影响效果由大到小分别为 DHA-S > PGFE 和 CP 交互 > DHA-S 以及 CP 交互 > PGFE > CP > YS。该研究中的最优组合是  $A_2B_2C_1D_2$ ，此组合在正交设计中没有出现，但是与实验组 3, 5, 7, 8 的组合相似，结合实验结果和实际情况分析确定最佳配方为第 7 组  $A_1B_2C_1D_2$ ，即 YS (2%) + PGFE (3%) + DHA-S (1%) + CP (1%)，此时复合薄膜的接触角为 18.21°，高温防雾时间为 120 h，薄膜透光率为 82.68%，抗张强度为 14.58 MPa，水蒸气透过系数为  $2.49 \times 10^{-13}$  g/(m·s·Pa)，氧气透过率为 2648.56 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>·d·0.1 MPa)，此时综合评分值最高为 38.24 分。

表 3 正交设计结果和极差分析  
Tab.3 Results of orthogonal design and range analysis

编号	D	B	B×D	C	C×D	空列	A	CAM	时间/h	透光率/%	抗张强度 (MD)/MPa	WVP( $\times 10^{-13}$ )/ $(g \cdot m^{-1} \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-1})$	OP/( $cm^3 \cdot m^{-2} \cdot d^{-1} \cdot (0.1 MPa)^{-1}$ )	评分
1	1	1	1	1	1	1	1	25.32	96	79.18	13.37	2.54	2118.23	23.24
2	1	1	1	2	2	2	2	32.56	75	61.68	14.6	2.72	2206.43	3.71
3	1	2	2	1	1	2	2	21.34	108	80.92	13.85	2.59	2115.93	32.19
4	1	2	2	2	2	1	1	23.31	83	66.98	11.54	3.35	3567.92	-21.65
5	2	1	2	1	2	1	2	45.65	50	83.7	14.11	2.4	2312.65	5.57
6	2	1	2	2	1	2	1	22.66	89	67.28	12.91	3.1	2773.99	-1.12
7	2	2	1	1	2	2	1	18.21	120	82.68	14.58	2.49	2648.56	38.24
8	2	2	1	2	1	1	2	15.64	112	60.82	14.46	2.41	2670.29	23.56
				0				90.12	0.08	88.46	8.64	2.35	2386.57	
$K_1$	37.49	31.4	88.75	99.24	77.87	30.72	38.71							
$K_2$	66.25	72.34	14.99	4.5	25.87	73.02	65.03							
$k_1$	9.37	7.85	22.19	24.81	19.47	7.68	9.68							
$k_2$	16.56	18.08	3.75	1.12	6.47	18.25	16.26							
$R$	7.19	10.23	18.44	23.69	13	10.57	6.58							

较优组合:  $A_1B_2C_1D_2$

注: CAM 为接触角(°);  $K_i, i=1,2$ , 表示每个因素  $i$  水平的总和;  $k_i, i=1, 2$ , 表示每个因素  $i$  水平的均值;  $k_i=K_i/4$ ;  $R$  为极差

表4 方差分析  
Tab.4 Analysis of variance

因素	平方和	自由度	均方	F 值
CP	103.39	1	103.39	0.46
PGFE	209.51	1	209.51	0.94
PGFE×CP	680.06	1	680.06	3.04
DHA-S	1121.96	1	1121.96	5.02
DHA-S×CP	338.00	1	338.00	1.51
YS	86.59	1	86.59	0.38
误差	223.66	1	223.66	
总平方和	2763.17	7		

注:  $F_{0.05}(1,1)=161.4$

### 3.2 高温防雾性能及接触角

接触角测试结果及高温防雾结果见表3。由表3可知,由于防雾剂的加入,薄膜表面水滴的接触角从 $90.12^\circ$ (空白组)降到 $15.64^\circ$ (样品8),表明测试膜能使水滴铺展,不聚集,即膜表面有亲水性。样品组与空白组(5 min)相比,防雾时间明显延长,7组薄膜防雾时间最长可达120 h。由此可知,经过防雾剂改性的薄膜表面有了亲水性,可以一定程度上避免膜表面水滴聚集,形成雾气。

### 3.3 薄膜的抗菌性能

薄膜的抗菌性能主要以金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抗菌效果来表示,结果见表5。由表5可知,对照组薄膜呈现的抑菌圈直径为0,与对照组相比,试验膜(含有抗菌剂)对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌有明显的抑制效果。第7组试验膜的抑菌圈直径最大,对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑菌圈直径分别

表5 薄膜的抗菌特性  
Tab.5 Antimicrobial properties of films

样品	抑菌圈直径/cm	
	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌
0	0	0
1	1.23±0.115	1.06±0.153
2	1.37±0.312	1.21±0.082
3	1.28±0.081	1.19±0.224
4	1.44±0.231	1.34±0.301
5	1.32±0.435	1.03±0.072
6	1.61±0.204	1.52±0.136
7	1.80±0.212	1.45±0.341
8	1.66±0.283	1.36±0.373

为1.45 cm和1.80 cm。具有抗菌性能的试验膜对金黄色葡萄球菌的抑制作用不及对大肠杆菌的抑制作用,这是由于大肠杆菌对抗菌剂更加敏感。Yan等<sup>[19]</sup>研究称,大肠杆菌对DHA-S敏感,因为薄膜中含有抗菌剂DHA-S,可能对大肠杆菌有较强的抑制作用。DHA-S的抗菌机理同部分抗菌剂的作用机理类似,即抗菌剂通过渗透作用进入微生物的细胞体内,影响其呼吸作用。CP是一种酸性的食品防腐剂,在酸性环境中能够产生游离酸,对大肠杆菌有较强的抑制作用。

## 4 结语

通过熔融共混将抗菌剂和防雾剂与PE母粒混合,流延得到具有抗菌和防雾作用的改性聚乙烯薄膜。改性薄膜与普通薄膜相比,抗张强度、防雾性能、水蒸气透过系数提高,并对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌具有一定的抗菌效果。同时,改性薄膜出现了透光率下降现象,主要是因为改性薄膜呈现姜黄色。改性薄膜的断裂伸长率也有下降趋势。通过正交实验分析得出薄膜最佳配方为YS(3%),PGFE(3%),DHA-S(1%)和CP(1%),在此配方下,改性薄膜的抗菌和防雾效果最佳。此时,防雾性能达120 h,接触角为 $18.21^\circ$ ,金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的抑菌圈直径分别为1.45 cm和1.80 cm,且物理力学性能较好。该薄膜可以作为一种食品包装材料使用,相比于普通薄膜,可以一定时间内防止薄膜表面结雾,还可通过抑菌来延长内容物的保质期。

### 参考文献:

- [1] HU D Y, WANG H X, WANG L J. Physical Properties and Antibacterial Activity of Quaternized Chitosan/Carboxymethyl Cellulose Blend Films[J]. LWT-food Science and Technology, 2016, 65: 398—405.
- [2] HAN Y C, LEE S, AHN B H, et al. Preparation of Anti-fogging Low Density Polyethylene Film by Using  $\gamma$ -irradiation[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2007, 126(1): 266—270.
- [3] 杨文忠, 伍杰锋, 冯润财, 等. 聚乙烯薄膜加工方法及BOPE新产品[J]. 塑料工业, 2013, 41(3): 116—119.  
YANG Wen-zhong, WU Jie-feng, FENG Run-cai, et al. Processing Method of Polyethylene Film and New Products of BOPE[J]. Plastics Industry, 2013, 41(3): 116—119.
- [4] 白景美, 李树材, 庞明娟. 助剂对聚乙烯防雾滴膜性能的影响[J]. 塑料科技, 2005(3): 4—6.  
BAI Jing-mei, LI Shu-cai, PANG Ming-juan. Effect of

- Additives on The Properties of Polyethylene Anti-fogging Film[J]. *Plastics Technology*, 2005(3): 4—6.
- [5] 韦佳程, 罗学刚, 林晓艳, 等. 单油酸甘油酯对聚乙烯棚膜的防雾性影响[J]. *高分子材料科学与工程*, 2013, 29(5): 71—73.  
WEI Jia-cheng, LUO Xue-gang, LIN Xiao-yan, et al. The Effect of Monooleic Glyceride on The Anti-fogging Property of Polyethylene Film[J]. *Polymer Materials Science and Engineering*, 2013, 29(5): 71—73.
- [6] 刘晓妍, 周立国, 王玉兵, 等. 双子硬脂酸聚甘油酯的防雾滴性能研究[J]. *安徽农业科学*, 2010(14): 7564—7565.  
LIU Xiao-yan, ZHOU Li-guo, WANG Yu-bing, et al. Study on The Antifogging Performance of Polyglycerol Gemini Stearate[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2010(14): 7564—7565.
- [7] ZHANG L, LYU C L, LI Y F, et al. Fabrication of Biomimetic High Performance Antireflective and Antifogging Film by Spin-coating[J]. *Journal of Colloid and Interface Science*, 2012, 374(1): 89—95.
- [8] ESHAGHI A, MOHAMMADREZA M. Fabrication of Antireflective Antifogging Nano-porous Silica Thin Film on Glass Substrate by Layer-by-layer Assembly Method[J]. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2014, 405: 148—152.
- [9] PLASMAN V, CAULIER T, BOULOS N. Polyglycerol Esters Demonstrate Superior Antifogging Properties for Films[J]. *Plastics Additives Compounding*, 2005, 7(2): 30—33.
- [10] 周燕霞, 崔正刚, 陈莉. 聚甘油脂肪酸酯合成及应用[J]. *粮食与油脂*, 2008, 7(8): 6—10.  
ZHOU Yan-xia, CUI Zheng-gang, CHEN Li. Synthesis and Application of Polyglycerol Fatty Acid Esters[J]. *Grains and Oils*, 2008, 7(8): 6—10.
- [11] SAKAMOTO M, OHBA A, KURIYAMA J, et al. Influences of Fatty Acid Moiety and Esterification of Polyglycerol Fatty Acid Esters on The Crystallization of Palm Mid Fraction in Oil-In-Water Emulsion[J]. *Colloids Surface B: Biointerfaces*, 2004, 37(1): 27—33.
- [12] AI S, ISHITOBI M. Effects of The Number of Fatty Acid Residues on The Phase Behaviors of Decaglycerol Fatty Acid Esters[J]. *Journal of Colloid Interface Science*, 2006, 296(2): 685—689.
- [13] 杨坤于, 蒋文伟, 褚钰宇. 聚甘油脂肪酸酯的表面性能研究[J]. *日用化学品科学*, 2010, 33(5): 25—28.  
YANG Kun-yu, JIANG Wen-wei, CHU Yu-yu. Study on The Surface Properties of Polyglycerol Fatty Acid Esters[J]. *Daily Chemical Science*, 2010, 33(5): 25—28.
- [14] ROSE A L, REGIS A P P, RAJENDRAN S, et al. Mutual Influence of Sodium Dodecyl Sulphate and Calcium Propionate in Biocidal Activity and Corrosion Inhibition of Carbon Steel[J]. *Arabian Journal for Ence and Engineering*, 2012, 37(5): 1313—1325.
- [15] PEREIRA D A, LOSADA P P, MAROTO J, et al. Natural Antioxidant Active Packaging Film and Its Effect on Lipid Damage in Frozen Blue Shark (*Prionace Glauca*)[J]. *Innovative Food Ence & Emerging Technologies*, 2011, 12(1): 50—55.
- [16] BENAVIDES S, VILLALOBOS-CARVAJAL R, REYES J E. Physical, Mechanical And Antibacterial Properties of Alginate Film: Effect of The Crosslinking Degree and Oregano Essential Oil Concentration[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 110(2): 232—239.
- [17] MURIEL-GALET V, LÓPEZ-CARBALLO G, GAVARA R, et al. Antimicrobial Food Packaging Film Based on The Release of LAE from EVOH[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2012, 157(2): 239—244.
- [18] YAN Q Q, ZHANG J L, DONG H Z, et al. Properties and Antimicrobial Activities of Starch-sodium Alginate Composite Films Incorporated with Sodium Dehydroacetate or Rosemary Extract[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 127(3): 1951—1958.
- [19] MOHAMED C, CLEMENTINE K A, DIDIER M, et al. Antimicrobial and Physical Properties of Edible Chitosan Films Enhanced by Lactoperoxidase System[J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 30(2): 576—580.
- [20] SEYDIM A C, SARIKUS G. Antimicrobial Activity of Whey Protein Based Edible Films Incorporated with Oregano, Rosemary and Garlic Essential Oils[J]. *Food Research International*, 2006, 39(5): 639—644.
- [21] MAIZURA M, FAZILAH A, NORZIAH M H, et al. Antibacterial Activity and Mechanical Properties of Partially Hydrolyzed Sago Starch-alginate Edible Film Containing Lemongrass Oil[J]. *Journal of Food Science*, 2007, 72(6): 324—330.
- [22] 杨辉, 杨福馨, 欧丽娟, 等. 植物精油-EVOH 活性包装膜对草鱼鱼肉保鲜效果的研究[J]. *食品科学*, 2014(22): 62.  
YANG Hui, YANG Fu-xin, OU Li-juan, et al. Study on The Preservation Effect of Plant Essential Oil EVOH Active Packaging Film on Grass Carp Meat[J]. *Food Science*, 2014(22): 62.
- [23] CIGDEM M G, AHMET Y, ALPER A. 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.
- [24] SAKAGUCHI Y, SUGA S, OSHIDA K, et al. Anti-coagulant Effect of Sodium Dehydroacetate (DHA-S) in Rats[J]. *Journal of Applied Toxicology*, 2008, 28(4): 524—529.
- [25] 连军强, 王金涛. 脱氢醋酸钠复合防腐剂在低温肉制品中的应用[J]. *食品工业科技*, 2008(11): 219—221.  
LIAN Jun-qiang, WANG Jin-tao. Application of Sodium Dehydroacetate Composite Preservative in Low Temperature Meat Products[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2008(11): 219—221.
- [26] BELZ M C, MAIRINGER R, ZANNINI E, et al. The Effect of Sourdough and Calcium Propionate on The Microbial Shelf-Life of Salt Reduced Bread[J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2012, 96(2): 493—501.
- [27] 蒋硕, 杨福馨, 张燕, 等. 改性抗菌聚乙烯醇包装薄膜的性能研究[J]. *食品与机械*, 2014(3): 35.  
JIANG Shuo, YANG Fu-xin, ZHANG Yan, et al. Study on Properties of Modified Antibacterial Polyvinyl Alcohol Packaging Film[J]. *Food and Machinery*, 2014(3): 35.
- [28] 蒋硕, 杨福馨, 张燕, 等. 丙酸钙改性聚乙烯醇包装薄膜性能研究[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(2): 308—312.  
JIANG Shuo, YANG Fu-xin, ZHANG Yan, et al. Study on The Properties of PVA Packaging Film Modified by Calcium Propionate[J]. *Food Industry Technology*, 2015, 36(2): 308—312.
- [29] PARK S I, ZHAO Y Y. Incorporation of a High Concentration of Mineral or Vitamin into Chitosan-based Films[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2004, 52(7): 1933—1939.