

涂布抑菌防霉包装纸及其性能研究

Study on coated antibacterial and mildew proof packaging paper and its properties

汪志强 杨福馨 陈晨伟

WANG Zhi-qiang YANG Fu-xin CHEN Chen-wei

(上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

摘要:将山梨酸钾、脱氢乙酸钠、苯甲酸钠分别溶于聚乙烯醇溶液制得抗菌液,再将抗菌液涂布于牛皮纸上制备得到包装用抑菌纸。采用抑菌圈法检验该抑菌纸对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果,研究了涂布抗菌液后对抑菌纸的抗拉强度、撕裂强度、水蒸气透过系数、氧气透过量和微观结构的影响。结果表明,抑菌纸的抗拉强度、撕裂强度、水蒸气透过系数、氧气透过量均有改善,微观结构更加致密均匀,且具有良好的抑菌性能,抑菌效果随抗菌剂浓度的增加而提高,可用于食品的包装。

关键词:涂布;抑菌;包装纸;性能

Abstract: The antibacterial liquid was prepared by dissolving potassium sorbate, sodium dehydroacetate and sodium benzoate in polyvinyl alcohol solution, and then the antibacterial liquid was applied to kraft paper to prepare antibacterial paper for packaging. The inhibitory effects of the antibacterial paper on *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were tested by the bacteriostatic circle method, and the effects of the coated antibacterial solution on the tensile strength, tear strength, water vapor permeability coefficient, oxygen permeability and microstructure of the antibacterial paper were studied as well. The results showed that the tensile strength, tear strength, water vapor permeability coefficient and oxygen permeability of the antibacterial paper were improved, and the microstructure was more compact and uniform, with good antibacterial properties. The bacteriostatic effect increased with the increase of the concentration of the antibacterial agent, and could be used for packaging of

foods.

Keywords: coating; bacteriostatic; wrapping paper; performance

食品在生产、流通和储藏的过程中很容易受到细菌、霉菌等微生物的污染,导致食品营养价值下降,品质变差,甚至危害人们的健康^[1]。因此,为了保证食品安全卫生,需要对食品进行合适的包装,以避免外来因素的侵害。

抑菌防霉功能是包装纸重要的研究课题,它影响着产品的保质期,目前这方面还缺乏研究。抑菌功能性包装纸通过缓慢释放具有抗菌防霉作用的成分,达到控制包装环境内微生物生长的目的。纸包装材料具有成本低廉、资源丰富、可回收再利用、易降解等特点,是前景广阔的绿色包装材料^[2]。抑菌纸的制备方法主要有涂布法、浸渍/喷淋法、浆内添加法、抗菌纤维技术等^[3]。其中,涂布法制备抑菌纸具有操作方法简便、生产成本低、均一性良好、便于控制用量、适合工业化生产等优点^[4]。聚乙烯醇(polyvinyl alcohol, PVA)是一种无毒无害无味的高分子聚合物,其分子链上有大量羟基,具有吸水性和生物可降解性^[5],并且对纤维素的粘着力强,成膜性好,在纸张表面涂布 PVA 可改善其光泽度、平滑度和其它的机械性能,同时使纸张具有热封性能。

本研究拟将常用的食品防腐剂与 PVA 结合,涂布于纸张表面制备得到抑菌防霉包装纸,可避免直接向食品中添加防腐剂,从根源上避免微生物污染食品。通过研究其抗菌性能、机械性能、阻隔性能和微观结构等,优化试验找到最佳的抑菌功能性包装纸,旨在为食品抗菌保鲜材料的研究与工业化生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

牛皮纸;克重为 80 g/m²,蚌埠天成包装科技股份有限公司;

基金项目:国家重点研发计划资助项目(编号:2018YFD0400701);上海市科委工程中心建设基金资助项目(编号:11DZ2280300);上海高校一流学科基金资助项目(编号:A2-2019-14-0003)

作者简介:汪志强,男,上海海洋大学在读硕士研究生。

通信作者:杨福馨(1958—),男,上海海洋大学教授,博士。

E-mail: fxyang@shou.edu.cn

收稿日期:2019-02-27

聚乙烯醇(PVA):聚合度 1 799,上海精析化工科技有限公司;

山梨酸钾:食品级,宁波玉龙科技股份有限公司;

脱氢乙酸钠:食品级,上海崇明生化制品厂有限公司;

苯甲酸钠:食品级,滕州市腾龙化工有限责任公司;

甘油:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

大肠杆菌(*Escherichia coli*, ATCC25922)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*, CCTCC AB 91093):农业部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室(上海);

LB 营养琼脂、胰蛋白胨大豆肉汤(TSB):青岛高科园海博生物技术有限公司。

1.1.2 仪器与设备

电子数显螺旋测微仪:L-0305 型,0~25 mm,桂林广陆数字测控有限责任公司;

涂膜器:AZY-SERIES 型,安卓源科技有限公司;

集热式恒温加热磁力搅拌器:DF-101S 型,邦西仪器科技(上海)有限公司;

电子天平:SZ-A30002 型,诸暨市超泽衡器设备有限公司;

电脑测控抗张实验机:DCP-KZ300 型,四川成都名驰仪器有限责任公司;

鼓风干燥箱:DHG-9140A 型,上海慧泰仪器制造有限公司;

纸板撕裂度仪:J-SLY16kA 型,四川长江造纸仪器有限公司;

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,济南兰光机电技术有限公司;

扫描电子显微镜:S-3400N II 型,Hitachi(日立)公司;

超净工作台:Labconco 型,美国 Labconco 公司;

恒温培养箱:MIR154 型,日本三洋电机生物医药株式会社。

1.2 方法

1.2.1 PVA 溶液的制备 准确称取 6 kg 聚乙烯醇颗粒,用蒸馏水洗净后置于恒温鼓风干燥箱中 60 ℃干燥 10 h,再将干燥后的聚乙烯醇颗粒倒入反应釜中,向反应釜中加入 44 L 蒸馏水,设置反应釜转速 40 r/min,温度 65 ℃,恒温溶胀 2 h。加入 2.5 kg 甘油作增塑剂,在 95 ℃恒温条件下连续搅拌 4.5 h 使聚乙烯醇颗粒完全融化,最后在一 0.1 MPa 下脱气 30 min,即制得 PVA 溶液^[6]。

1.2.2 聚乙烯醇抗菌液的制备 将山梨酸钾、脱氢乙酸钠、苯甲酸钠 3 种抗菌剂分别加入到适量上述制备的 PVA 溶液中,抗菌剂的质量分数分别为 0%,3%,6%,

9%,使用磁力搅拌器搅拌 60 min 进行混合均匀使之完全溶解,即制得聚乙烯醇抗菌液。

1.2.3 抑菌纸的制备 本试验采用表面涂布法进行制备。首先将牛皮纸裁切成 30 cm×20 cm 大小,用移液器吸取 15 mL 配制好的聚乙烯醇抗菌液于牛皮纸上,再用涂膜器在常温下涂布 30 s 使之均匀分布,涂布方向均为横向与纵向交替进行且涂布次数相同,然后在 60 ℃的烘箱中干燥 30 min,即制得抑菌纸。

1.2.4 厚度测量 使用电子数显螺旋测微仪在抑菌纸上选取 8 个点测量,结果取平均值。测得的厚度用于抗拉强度、水蒸气透过系数、氧气透过量的测试。

1.2.5 抗菌性能测定 采用抑菌圈法。该试验在超净工作台的无菌条件下进行,先用打孔器将抑菌纸打孔得到直径为 6 mm 的圆片并进行 2 h 紫外灭菌,再分别吸取 1 mL 浓度为 10⁵ CFU/mL 的大肠杆菌和金黄色葡萄球菌滴在对应的培养基上,用无菌玻璃涂布器涂布均匀,静置 10 min 使菌液扩散完全^[7]。用灭菌后的镊子将圆片样品贴于培养皿的中心位置,37 ℃培养箱中倒置培养 24 h,观察菌体生长情况并测量抑菌圈直径(包括样品直径)。未添加抗菌剂的样品做对照,每个样品 5 个平行,取平均值。

1.2.6 抗菌剂的选择 将 3 种聚乙烯醇抗菌液分别涂布于牛皮纸上制得 3 种抑菌纸,采用抑菌圈法检验 3 种抑菌纸对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑制效果,选择抑菌圈最大的抑菌纸做机械性能、阻隔性能、微观结构的研究。

1.2.7 抗拉强度测定 参考 ASTM D1003-61 的方法,并做调整,具体步骤:首先将抑菌纸裁切成宽为 15 mm 的长条状,设置夹距 50 mm,环境相对湿度 50%,温度 25 ℃,拉伸速率 100 mm/min,使用电脑测控抗张实验机进行测试,每个样品测试 6 次,取平均值。按式(1)计算抗拉强度。

$$T_s = \frac{F}{S}, \quad (1)$$

式中:

T_s ——抗拉强度,MPa;

F ——试样断裂时所承受的最大张力,N;

S ——试样的横截面积,m²。

1.2.8 撕裂度测定 试验前先对仪器进行调试,按照 GB/T 450—2008《纸和纸板样品的采取》规定采取并处理试样,尺寸为 63 mm×50 mm,长边分别为纸纤维的横向和纵向。测定的方法为:先将扇形摆体置于待撕位置,指针靠住指针调节板;采用标准试样层数(4 层),试样短边平放并夹持在 2 组夹纸器钳口内;按下切刀,对试样切口,切口长度 20 mm;按下测试按键,令摆做 1 次全程摆动,扇形摆体回程时,用手顺摆动方向轻握扇形摆体,并

放回待撕位置;读取指针示值,每种样品测 5 次取平均值。按式(2)计算撕裂度值。

$$F_i = \frac{4}{n} \times S, \tag{2}$$

式中:

F_i ——被测试样撕裂度值,mN;

n ——被测试样的层数;

S ——标尺读数,mN。

1.2.9 水蒸气透过系数测试 参考魏丽娟等^[8]的方法,使用水蒸气透过率测试仪对抑菌纸进行测试。试验条件为:温度 37.8℃,湿面相对湿度 100%,干面相对湿度 10%,每种样品测试 5 次(每次测试的误差要求<5%),结果取平均值。按式(3)计算水蒸气透过系数。

$$WVP = WVTR \times \frac{d}{\Delta P}, \tag{3}$$

式中:

WVP ——水蒸气透过系数,g/(m·s·Pa);

$WVTR$ ——仪器测得的水蒸气透过值,g/(m²·d);

d ——纸的厚度,mm;

ΔP ——测试压力 0.2 MPa。

1.2.10 氧气透过量测试 按照 GB/T 1038—2000 的方法,用气体渗透测试仪测定抑菌纸的氧气透过量。试验温度 25℃,相对湿度 65%,每个样品测 5 次,结果取平均值^[9]。

1.2.11 微观结构分析 用来表征抑菌纸的微观结构。首先将抑菌纸样品裁切成 10 mm×6 mm 大小,垂直粘贴在样品盘上,再用离子溅射仪抽真空,并在 20 mA 电流下喷金处理 30 s,然后用加速电压 3.4 kV 的扫描电子显微镜放大 600 倍观察样品横切面的微观结构并拍照^[10]。

1.3 数据处理

各项试验结果采用 SPSS Statistics 22.0 进行数据统计分析,运用方差分析法(ANOVA)进行显著性检验,显著差异水平取 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 抗菌剂种类对抑菌纸抗菌性能的影响

抑菌圈法是根据抑菌样品在琼脂培养皿中抑制细菌生长形成的透明圈大小来定性测定抑菌效果的方法^[11]。抑菌圈越大,则抑菌能力越强;反之,抑菌圈小,则抑菌能力越弱。试验中使用的大肠杆菌是革兰氏阴性菌的代表,金黄色葡萄球菌是革兰氏阳性菌的代表^[12]。表 1 为分别加入质量分数为 6% 的抗菌剂制备的抑菌纸的抑菌效果。由表 1 可知,添加相同浓度的 3 种食品防腐剂,使用脱氢乙酸钠制备的抑菌纸的抑菌圈直径最大,即在该试验中的抑菌效果最好。因此选择脱氢乙酸钠抑菌纸进行性能测定。

表 1 相同浓度下不同抗菌剂的抑菌效果[†]

Table 1 Antibacterial effects of different antibacterial agents at the same concentration mm

抗菌剂的种类	抑菌圈直径	
	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌
山梨酸钾	8.28±0.16 ^b	7.34±0.15 ^b
脱氢乙酸钠	8.54±0.11 ^a	9.48±0.13 ^a
苯甲酸钠	6.98±0.24 ^c	7.08±0.13 ^c

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 抑菌纸的抗拉强度

纸张的抗拉强度反映的是纸张抵抗破坏(断裂)的能力,是纸张机械性能的一项指标。表 2 为牛皮纸和不同浓度抑菌纸的抗拉强度。由表 2 可知,抑菌纸的厚度比原牛皮纸增加了约 0.02 mm,为一层抗菌 PVA 膜。纸张纵向的抗拉强度均大于横向,由于纸纤维是纵向排列的,试验中测试纸张的纵向抗拉强度需要拉断纤维,而测试横向抗拉强度主要是破坏纤维与纤维之间的联结力,因此纵向抗拉强度大于横向抗拉强度。使用抗菌液对牛皮纸涂布处理之后得到的抑菌纸的抗拉强度较原纸有明显提高,是因为抑菌纸表面有一层 PVA 膜,聚乙烯醇分子间作用力与聚乙烯醇与纸纤维作用力以及纸纤维间作用力之和要大于单一的纸纤维间作用力。添加不同质量分数的抗菌剂对抗拉强度无明显影响。

表 2 抑菌纸的抗拉强度[†]

Table 2 Tensile strength of antibacterial paper

组别	厚度/mm	抗拉强度/MPa	
		纵向	横向
原纸	0.099 8±0.002 1 ^b	67.87±0.67 ^b	58.65±0.77 ^c
0%	0.119 9±0.001 2 ^a	78.99±0.84 ^a	67.28±0.67 ^a
3%	0.120 3±0.001 5 ^a	78.22±0.65 ^a	66.16±0.74 ^{ab}
6%	0.119 9±0.001 7 ^a	78.08±1.87 ^a	65.91±1.37 ^{ab}
9%	0.120 1±0.002 0 ^a	77.82±0.81 ^a	65.47±1.70 ^b

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.3 抑菌纸的撕裂强度

撕裂强度是衡量包装材料耐撕裂性能的一项指标,其值越大越能抵抗外力的撕裂作用。表 3 为牛皮纸和不同浓度抑菌纸的撕裂强度。由表 3 可知,纸张横向的抗拉强度均大于纵向,同样是由于纸纤维排列方向的原因,测定横向的撕裂强度需要撕断纤维,而测定纵向撕裂强度只需要破坏纤维之间的联结力。涂布抗菌 PVA 溶液得到的抑菌纸的撕裂强度同样有所提高;添加不同质量分数抗菌剂的抑菌纸的撕裂强度差异不显著,即对撕裂强度无明显影响。

表 3 抑菌纸的撕裂强度[†]

Table 3 Tear strength of antibacterial paper

组别	撕裂强度/mN	
	纵向	横向
原纸	1 640±41.83 ^b	2 130±34.64 ^b
0%	1 810±38.08 ^a	2 316±50.30 ^a
3%	1 816±32.09 ^a	2 308±25.88 ^a
6%	1 824±18.17 ^a	2 320±30.82 ^a
9%	1 798±37.01 ^a	2 302±34.93 ^a

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

2.4 抑菌纸的水蒸气透过系数和氧气透过量

微生物的生长繁殖需要水分和氧气,因此包装材料的阻隔性很大程度影响着包装效果。牛皮纸本身为非匀质材料,且其纤维网络是多孔结构,水蒸气和氧气可从纸张的孔隙穿过,使测试仪器无法测得水蒸气透过系数和氧气透过量。表 4 为添加不同质量分数抗氧菌剂的抑菌纸的水蒸气透过系数和氧气透过量。由表 4 可知,在牛皮纸表面涂布抗菌 PVA 后,阻隔性显著增强,是由于纸表面的 PVA 膜具有良好的气体阻隔性能。当添加的抗菌剂的质量分数增大时,水蒸气透过系数和氧气透过量有所降低,即阻隔性有所增强,可能是抗菌剂填充到 PVA 膜孔隙中使得抑菌纸更加紧密,从而阻隔性更好。

表 4 抑菌纸的水蒸气透过系数和氧气透过量[†]

Table 4 Water vapor permeation coefficient and oxygen permeation of antibacterial paper

抗菌剂添加量/%	水蒸气透过系数/($\times 10^{-8}$ g·m ⁻¹ ·s ⁻¹ ·MPa ⁻¹)	氧气透过量/($\text{cm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{MPa}^{-1}$)
0	3.386 4±0.083 7 ^a	9 794.492 0±118.563 1 ^a
3	3.138 0±0.084 6 ^b	9 224.743 2±101.069 0 ^b
6	2.984 0±0.074 4 ^c	9 059.946 5±91.466 9 ^c
9	2.867 6±0.067 2 ^d	8 897.590 3±93.111 1 ^d

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

2.5 抑菌纸的微观结构

图 1 为添加不同质量分数抗菌剂的抑菌纸微观结构图。在 600 倍扫描电镜下可以观察到抑菌纸的表面覆盖一层均匀的胶状聚合物,而其内部结构无明显变化。添加的抗菌剂与聚乙烯醇溶液相容性强,能均匀分布。胶状聚合物是 PVA 抗菌液烘干后的抗菌 PVA 膜,使得牛皮纸的阻隔性能显著增强。

2.6 添加不同浓度抗菌剂的抑菌纸抗菌性能

表 5 为添加不同质量分数抗菌剂的抑菌纸的抑菌效果。由表 5 可知,未添加抗菌剂的试验组未出现抑菌圈,抗菌剂浓度越高的试验组抑菌圈越大,抑菌效果越好。脱氢乙酸钠抑菌纸对金黄色葡萄球菌的抑制能力相对于

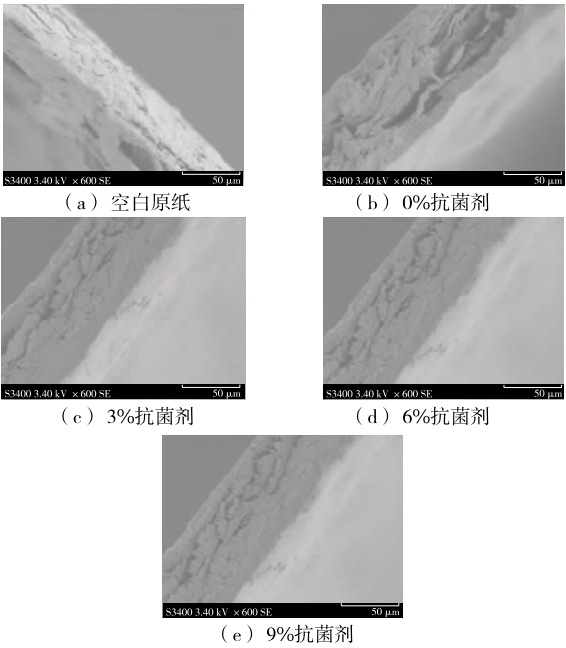


图 1 牛皮纸和不同质量分数抑菌纸的微观结构图
Figure 1 Microstructure of kraft paper and different mass fraction of antibacterial paper (×600)

表 5 添加不同质量分数抗菌剂的抑菌效果[†]

Table 5 Antibacterial effect of adding different mass fraction antibacterial agents

抗菌剂添加量/%	抑菌圈直径/mm	
	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌
0	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d
3	7.08±0.19 ^c	7.94±0.24 ^c
6	8.54±0.11 ^b	9.48±0.13 ^b
9	10.16±0.27 ^a	11.82±0.29 ^a

[†] 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

大肠杆菌更强,与潘晓倩等^[13]和邱艳娜等^[14]的研究一致。

3 结论

(1) 将牛皮纸涂布抗菌 PVA 溶液处理后得到的抑菌纸进行抗菌性能、机械性能、阻隔性能、微观结构表征的研究结果表明:抑菌纸相较于原牛皮纸,其抗拉强度和撕裂强度都有着一定程度的提高,对水蒸气和氧气的阻隔性显著增强。扫描电镜的结果显示抗菌 PVA 膜在纸的表面均匀覆盖,说明具有抗菌均一性。

(2) 将分别添加 3 种抗菌剂得到的抑菌纸进行抑菌圈试验,脱氢乙酸钠抑菌纸的抑菌圈最大,抑菌效果最佳。添加抗菌剂的质量分数越高,抑菌效果越好。相同浓度的脱氢乙酸钠抑菌纸对金黄色葡萄球菌的抑菌效果优于大肠杆菌。

(下转第 167 页)

- terephthalate and poly (ethylene 2, 6-naphthalate) with poly (ethylene covinylac)[J]. *Polymer Engineering & Science*, 1995, 35(8): 680-692.
- [11] LAGARÓN J M, GIMÉNEZ E, GAVARA R, et al. Study of the influence of water sorption in pure components and binary blends of high barrier ethylene vinyl alcohol copolymer and amorphous polyamide and nylon- containing ionomer[J]. *Polymer*, 2001, 42(23): 9 531-9 540.
- [12] 王莉梅, 王治洲, 刘孟禹, 等. PBAT/EVOH 共混薄膜的制备及其包装特性[J]. *塑料科技*, 2018, 46(9): 99-103.
- [13] 魏丽娟. 防雾抗菌聚乙烯薄膜的制备及对生鲜香菇保鲜包装应用的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017.
- [14] 石启龙, 王相友, 王娟, 等. 包装材料对双孢蘑菇贮藏保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2005, 26(6): 253-256.
- [15] 马宏飞, 卢生有, 韩秋菊, 等. 紫外分光光度法测定五种果蔬中维生素 C 的含量[J]. *化学生物工程*, 2012, 29(8): 92-94.
- [16] LOPEZ BRIONES G, VAROQUAUX P, BUREAU G, et al. Modified atmosphere packaging of common mushroom[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 1993, 28(1): 57-68.
- [17] ARES G, PARENTELLI C, GAMBARO A, et al. Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, 41: 191-197.
- [18] JIANG Tian-jia, LUO Sha-sha, CHEN Qiu-ping, et al. Effect of integrated application of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on physicochemical and microbiological properties of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*)[J]. *Food Chemistry*, 2010, 122(3): 761-767.
- [19] 李海红. EVOH 及高性能材料的研究[D]. 长春: 吉林大学, 2009: 22-24.
- [20] ANTMANN G, ARES G, LEMA P, et al. Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2008, 49(1): 164-170.
- [21] ZIVANOVIC S, BUSHER R W, KIM K S. Textural changes in mushrooms (*Agaricus bisporus*) associated with tissue ultrastructure and composition[J]. *Journal of Food Science*, 2000, 65(8): 1 404-1 408.
- [22] JIANG Tian-jia, FENG Li-fang, WANG Yan-bo. Effect of alginate/nano-Ag coating on microbial and physicochemical characteristics of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) during cold storage[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(2): 954-960.
- [23] 贾小丽, 韩艳, 孙艳辉, 等. 滁菊叶提取物对鲜香菇的涂膜保鲜效果研究[J]. *赤峰学院学报: 自然科学版*, 2014, 30(7): 56-57.
- [24] TECHAVUTHIPORN C, NAKANO K, MAEZAWA S. Prediction of ascorbic acid content in broccoli using a model equation of respiration[J]. *Postharvest Biology & Technology*, 2008, 47(3): 373-381.

(上接第 142 页)

(3) 本研究将 PVA 和食品防腐剂结合起来应用于普通牛皮纸制备出新型抑菌防霉包装纸, 兼具安全性、环保易降解、抑菌防霉功能以及良好的机械性能和阻隔性能, 可作为食品包装材料。但本试验尚有遗留的问题, 后续将从以下方面进行研究: 研究不同聚合度的 PVA 对抑菌防霉包装纸性能的影响; 研究食品防腐剂复配作用对包装纸抑菌防霉功能的影响。

参考文献

- [1] 陈基玉. 聚乙烯醇改性无纺布抗菌复合膜的制备及其对干鱼片抗菌保脆效果的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 11.
- [2] 杨立颖. 高阻隔性抗氧化抗菌食品包装纸的研制[D]. 天津: 天津科技大学, 2015: 8.
- [3] 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.
- [4] 赵亚珠, 郝晓秀, 孟婕, 等. 抗菌食品包装纸的研究现状及发展趋势[J]. *包装工程*, 2018, 39(15): 88-94.
- [5] 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, 30(3): 114-117, 136.
- [6] 陈基玉, 杨福馨, 魏丽娟, 等. 聚乙烯醇改性无纺布抗菌复合膜的制备及其性能研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(12): 124-127.
- [7] 丁晓彤, 杨福馨, 邱艳娜, 等. 丙酸钙改性 CP-EF 抗菌防霉薄膜的制备及性能研究[J]. *塑料工业*, 2018, 46(1): 147-151.
- [8] 魏丽娟, 杨福馨, 武军, 等. PGFE/BOPP 防雾薄膜的制备与性能研究[J]. *食品与机械*, 2016, 32(6): 185-188.
- [9] HU Dong-ying, WANG Hai-xia, WANG Li-juan. Physical properties and antibacterial activity of quaternized chitosan/carboxymethyl cellulose blend films [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2016, 65: 398-405.
- [10] GHASEMLOU M, KHODAIYAN F, OROMIEHIE A. Physical, mechanical, barrier, and thermal properties of polyol-plasticized biodegradable edible film made from kefirin[J]. *Carbohydr Polym*, 2011, 84(1): 477-483.
- [11] 谭才邓, 朱美娟, 杜淑霞, 等. 抑菌试验中抑菌圈法的比较研究[J]. *食品工业*, 2016, 37(11): 122-125.
- [12] 黄崇杏, 鲍若璐, 王磊, 等. ϵ -聚赖氨酸抗菌剂的制备及其在食品包装纸中的应用[J]. *包装工程*, 2010, 31(21): 37-40, 44.
- [13] 潘晓倩, 张顺亮, 乔晓玲, 等. 复配抑菌剂对两种腐败菌抑制效果评价[J]. *中国食物与营养*, 2015, 21(9): 48-52.
- [14] 邱艳娜, 杨福馨, 丁晓彤, 等. 抗菌聚乙烯醇薄膜的制备及性能研究[J]. *塑料工业*, 2017, 45(12): 125-128, 132.