

含石榴皮提取物的活性薄膜在猪肉保鲜中的应用研究

Preservative effect of active films containing pomegranate peel extract as antimicrobial agent on chilled pork

户帅锋¹ 谢庆超¹ 梁贤波² 李立¹

HU Shuai-feng¹ XIE Qing-chao¹ LIANG Xian-bo² LI Li¹

(1. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306; 2. 上海爱森肉食品有限公司, 上海 201408)

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. Shanghai Aic Pork Foodstuff Co., Ltd., Shanghai 201408, China)

摘要:以 1.5% 的石榴皮提取物 (pomegranate peel extract, PPE) 为抑菌剂, 以聚乙烯树脂 (PE) 和聚丙烯树脂 (PP) 为基材制备出 PE、PPE—PE、PP/PPE—PE 活性薄膜; 分别考察 3 种薄膜的抗张强度、透光率、雾度、透氧率等基本性能; 以 3 种薄膜分别包装新鲜猪肉, 置于 (4±1) °C 条件下进行冷藏保鲜, 期间每 2 d 测定样品的汁液流失率、感官品质、细菌菌落总数 (total viable counts, TVC)、挥发性盐基氮 (total volatile basic nitrogen, TVB-N) 值、pH 值、硫代巴比妥酸值 (thiobarbituric acid reactive substance, TBA value), 并对不同薄膜的保鲜效果进行评价。PPE—PE 薄膜的氧气透过量为 PE 薄膜的 1.96 倍, PP/PPE—PE 薄膜的 4 倍; PPE 的加入导致 PPE—PE 活性薄膜的透光率下降, 雾度和抗张强度上升。在第 6 天, 对照组 (PE 组) 猪肉样品的菌落总数从 3.54 lg(CFU/g) 上升至 6.54 lg(CFU/g), 而 PP/PPE—PE 和 PPE—PE 组猪肉样品的菌落总数在第 8 天超过 6 lg(CFU/g)。结果表明: 相对于 PE 薄膜, PP/PPE—PE 和 PPE—PE 活性薄膜能延长猪肉货架期 2~3 d, PP/PPE—PE 活性薄膜的综合保鲜效果优于 PPE—PE 活性薄膜。

关键词:石榴皮提取物; 猪肉; 货架期; 保鲜; 活性薄膜

Abstract: With 1.5% of pomegranate peel extract (PPE) as antimicrobial agent, polyethylene resin (PE) and polypropylene resin (PP) as base material, PE, PPE—PE, PP/PPE—PE active films were prepared and their basic properties were investigated. Pork stored at refrigeration (4±1) °C with PE, PPE—PE, PP/PPE—PE active packaging films, and the effects of preservation were evaluated by total viable count (TVC), total volatile basic nitrogen (TVB-N), pH

value, thiobarbituric acid (TBA) value, drip loss and sensory scores. PPE—PE film was 1.96 times the oxygen transmission rate of PE film, 4 times of PP/PPE—PE film. PPE caused the light transmittance of PE film decreased, haze and tensile strength increased. On 6th day, the total viable counts (TVC) of pork samples in PE group increased to 6.54 lg (CFU/g) from 3.54 lg (CFU/g), while TVC of pork samples in PP/PPE—PE and PPE—PE Group exceeded 6 lg (CFU/g) on day 8. PP/PPE—PE and PPE—PE active packaging films can extend the shelf life of by approximately 2~3 days, compared with control treatment. And the preservation effect of PP/PPE—PE active packaging film was relatively better than that of the PPE—PE active packaging film.

Keywords: pomegranate peel extract; chilled pork; shelf life; preservative; active film

猪肉在常温下易受到微生物的污染而腐败变质, 影响其货架期和食用价值。传统的猪肉低温冻藏和化学保鲜已经难以满足人们对食品品质和安全的要求^[1], 以安全的天然提取物取代化学保鲜剂已成为猪肉保鲜研究的热点^[2-3]。

石榴皮的主要活性成分为多酚类物质 (约占干物质质量的 12%), 如鞣花酸 (ellagic acid)、安石榴苷 (punicalagin)、石榴皮鞣素 (punicalin) 等。研究^[4-6]显示石榴皮不但抑菌效果显著, 还有明显抗氧化功效, 是一种具有应用潜力的绿色保鲜剂。Hayrapetyan 等^[7]发现多酚物质和黄酮类物质是石榴皮主要的抑菌活性物质, 在 4 °C 培养条件下, 在肉酱中接种 3.5 lg(CFU/g) 单增李斯特菌, 经 46 d 培养后, 添加 7.5 mL/100 mL 石榴皮提取物组李斯特菌落增长到 4.1 lg(CFU/g), 明显低于对照组的 9.2 lg(CFU/g)。张茜等^[8]的研究也表明多酚类物质是石榴皮提取物中的主要抗氧化物质, 提取物的抗氧化活性与其多酚含量, 提取剂的种类与添加量有关, 以水为提取溶剂制得的石榴皮提取液具有较高的多酚含量, 对 DPPH 自由基的清除能力最大。

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (编号: 2012AA0992301); 上海市教育委员会科研创新项目 (编号: 14YZ120)

作者简介: 户帅锋, 男, 上海海洋大学硕士研究生。

通讯作者: 李立 (1977—), 男, 上海海洋大学副教授。

E-mail: l-li@shou.edu.cn

收稿日期: 2016-01-02

聚乙烯树脂(PE)具有很好的加工流动性,是应用最广泛的包装软材料。PE薄膜的质地较柔软,半透明、有光泽,具有优良的化学稳定性、热封性,其主要缺点是对氧气的阻隔性较差,常用于复合软包装材料的内层薄膜。Park等^[9]将不同比例的壳聚糖添加至PE薄膜中,发现含0.7%,1.4%,2.1%的PE薄膜均能有效抑制单增李斯特菌、大肠杆菌、沙门氏菌的增长,能有效延长切片红肉的货架期。本研究拟将石榴皮提取物(PPE)以1.5%的比例添加到PE树脂中,通过挤出吹塑法制备出含有PPE的PE薄膜(PPE—PE薄膜),以PPE—PE薄膜作为内层材料,与纯聚丙烯(PP)薄膜复合,制备出PP/PPE—PE活性薄膜,研究不同薄膜对猪肉的保鲜效果,以期延长其货架期提供试验依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材 料

石榴皮提取物:多酚含量25%,陕西瑞康生物工程有限公司;

聚乙烯树脂(PE)、聚丙烯(PP):中国石化上海石油化工股份有限公司;

氯化钠:GR级,国药集团化学试剂有限公司;

三氯乙酸、硼酸、甲基红、轻质氧化镁、盐酸、2-巯代巴比妥酸:AR级,国药集团化学试剂有限公司;

平板计数培养基:杭州百思生物技术有限公司。

1.1.2 主要仪器设备

双螺杆挤出机:LSSL-20型,上海科创橡塑机械设备有限公司;

吹膜机:LSC-20型,上海科创橡塑机械设备有限公司;

转矩流变仪:XSS-300型,上海科创橡塑机械设备有限公司;

电动厚度测定仪:J-HDY04B(B)型,四川长江造纸仪器有限公司;

透光率/雾度测定仪:GBB-B型,上海精科仪器公司;

电脑测控抗张试验机:DCPKZ30型,四川成都名驰仪器有限公司;

超净工作台:Labconco型,美国Labconco公司;

凯氏定氮仪:Kjeltee2300型,丹麦福斯分析仪器公司;

pH计:PHS-3C型,上海仪电科学仪器股份有限公司;

分光光度计:UV2100型,上海尤尼柯仪器有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 活性薄膜的制备 将PPE粉末以1.5%的比例添加到低密度聚乙烯(LDPE)树脂中,混合搅拌均匀。第1~7区的挤出温度分别为150,160,165,170,170,165,160℃,转矩流变仪转速设定为25 r/min,通过双螺杆挤出进行共混改性,造粒机剪切,制得1.5% PPE—PE改性母粒。

第1~3区吹膜温度分别为165,170,170℃,挤出模头温度165℃,转速35 r/min的工艺条件下,制备纯PE膜,纯PP薄膜和1.5% PPE—PE薄膜。以聚氨酯为粘合剂,纯PP薄膜作为外层薄膜,1.5% PPE—PE薄膜为内层薄膜,通过

多层膜复合机制备双层膜PP/PPE—PE薄膜。

制备出3种不同的薄膜:PE薄膜(对照组);PPE—PE薄膜(PE+1.5% PPE);PP/PPE—PE薄膜(PP/PE+1.5% PPE)。其中1.5%为PPE相对于PE树脂的质量分数;PP/PPE—PE为双层复合膜,内层为添加有1.5% PPE的PE薄膜,外层为纯PP薄膜。

1.2.2 样品前处理 根据格桑卓玛等^[10]的方法,修改如下:将所用的刀具和案板经75%的酒精棉球擦拭,消毒。选取同一生鲜猪后股肉,去掉筋膜及多余的脂肪,切成2.1 cm×2.5 cm×1 cm的片状,随机分成每份质量为100 g,分别装于PE、PPE—PE及PP/PPE—PE 3种不同保鲜薄膜制成的包装袋内,以PE保鲜膜包装的样品为对照组,热封后将这些装有猪肉的保鲜袋置于4℃条件下冷藏,每隔2 d从每组分别抽取3袋样品(取样至第12天),进行猪肉各鲜度指标的测定分析^[11]。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 薄膜的基本性能测试 采用电动厚度测定仪测定薄膜的厚度,采用透光率/雾度测定仪对薄膜的透光率和雾度进行测试。

根据ASTM D882-09采用XLW智能电子拉力试验机对薄膜的抗张强度进行测试,设定夹具50 mm,拉伸速率为50 mm/min。

用专用裁刀裁取Φ97 mm圆形试样作为压差法试样,使用VAC-VBS压差法气体渗透仪,设置试验温度23℃,进行试验,参考GB/T 1038—2000测定样品的氧气透过量。

1.3.2 汁液流失率的测定 参考Özogul等^[12]的方法,修改如下:记录样品的质量 m_1 后,用保鲜袋包装,封口。测试指标前,小心打开包装袋将贮藏中的样品取出,剪开保鲜袋,将猪肉样品表面汁液吸干,称重(m_2),然后根据式(11)计算汁液流失率:

$$c = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——汁液流失率,%;

m_1 ——包装袋内样品的初始重量,g;

m_2 ——检测时去除表面汁液后的重量,g。

1.3.3 感官评定 根据Chamanara等^[13]的方法,略作修改:猪肉样品由9人(5男4女)感官评定小组进行感官评价。猪肉样品,按照5分—嗜好程度(1分,很差;2分,差;3分,合格;4分,良好;5分,很好)对样品的色泽、气味、质构以及总体可接受度进行感官评价,3分是最低可接受值。

1.3.4 菌落总数的测定 按GB 47892—2010《食品微生物学检验菌落总数的测定》执行。参考标准:新鲜肉<4.0 lg(CFU/g),次鲜肉4.0~6.0 lg(CFU/g),变质肉>6.0 lg(CFU/g)。

1.3.5 挥发性盐基氮(TVB-N)的测定 根据半微量凯氏定氮的原理,利用Kjeltee2300自动凯氏定氮仪对猪肉进行TVB-N测定^[14]。参考标准:新鲜肉≤15.00 mg/100 g,次鲜肉≤20.00 mg/100 g,变质肉>20.00 mg/100 g。

1.3.6 pH 值的测定 将样品猪肉绞碎后称取 10.0 g 于烧杯中,加入新鲜冷却煮沸的蒸馏水 100 mL,用高速匀浆机匀浆 1 min,匀浆结束后,静置 30 min,用 PHS-3C 型 pH 计进行测定^[15]。参考标准:新鲜肉 pH 5.8~6.2,次鲜肉 pH 6.3~6.6,变质肉 pH>6.7。

1.3.7 TBA 值的测定 参照文献^[16],结果以每 100 g 猪肉中所含丙二醛(MDA)的含量表示。

1.3.8 数据分析 所有分析均重复 3 次,每次作 3 个平行($n=3\times 3$),结果以平均值±标准差(mean±SD)表示,所有数据均通过 SPSS 20.0 进行单因素方差分析。显著性差异检验采用最小显著差数法(LSD),以 $P<0.05$ 表示具有显著性差异。

2 结果与讨论

2.1 薄膜的基本性能

由表 1 可知,PE 薄膜的透光率显著高于 PPE—PE 活性

薄膜($P<0.05$),而雾度显著低于 PPE—PE 活性薄膜($P<0.05$)。PPE 的加入影响保鲜膜的光学性能的原因可能是 PPE 中的多酚物质和黄酮类物质在高温下发生反应,从而影响了光的透过量。PPE 颗粒在薄膜内均匀分散,并起到异相成核作用,使其四周形成细化的球晶,球晶与晶态基体构成了漫反射,使得薄膜的雾度明显上升,且包合物含量越高,雾度越大;此外,PPE 颗粒的加入可能导致薄膜表面粗糙,在薄膜中形成“漫射核”,使薄膜对光的反射和折射作用加强,导致薄膜雾度增大,这与池圣贤等^[17]的研究结果一致。PP/PPE—PE 活性薄膜的透光率和雾度均显著小于 PPE—PE 活性薄膜($P<0.05$),是因为 PP/PPE—PE 活性薄膜为双层复合膜,PP 薄膜表面较为光滑,表面漫反射减少,雾度降低,而 PP 薄膜和 PPE—PE 薄膜结合的部位出现界面反射,导致透光率下降。

表 1 薄膜的透光率、雾度、抗张强度和氧气透过量[†]

Table 1 The thickness, light transmittance, haze, tensile strength and oxygen transmission rate of films

组别	透光率/%	雾度/%	抗张强度/MPa	氧气透过量/ ($10\text{ cm}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{MPa}^{-1}$)
PE	93.73 ± 0.63^a	8.49 ± 0.32^b	19.34 ± 2.68^b	1 084.86
PPE—PE	80.83 ± 0.43^b	17.08 ± 0.59^a	21.20 ± 1.70^b	2 121.78
PP/PPE—PE	77.40 ± 0.45^c	8.35 ± 0.14^b	23.09 ± 0.03^a	530.02

† 同列的数值后面标注不同的字母表示显著差异($P<0.05$)。

表 1 显示 PE 薄膜与 PPE—PE 活性薄膜抗张强度的差异不显著($P>0.05$),可能是 PPE 在薄膜中的分布比较均匀,而且含量较少,渗透进非结晶区,PE 的结晶结构未被破坏^[18];而 PP/PPE—PE 活性薄膜的抗张强度显著高于 PE 薄膜和 PPE—PE 活性薄膜($P<0.05$),是由于 PP/PPE—PE 活性薄膜外层为 PP 薄膜,增大了薄膜的抗张强度。

3 种薄膜的氧气透过量排序为:PPE—PE 活性薄膜>PE 薄膜>PP/PPE—PE 活性薄膜,PPE—PE 活性薄膜的氧气透过量为 PE 薄膜的 1.96 倍、PP/PPE—PE 活性薄膜的 4 倍。包装材料的气体阻隔性对于食品保鲜是一个重要影响因素,包装体系对氧气的阻隔能够增加食品的货架期和保持食品质量^[19]。由于 PPE 中的主要活性成分多酚类物质是极性物质,1.5% 的 PPE 的加入使 PE 和非极性氧之间的结合减弱,增大了聚合物链之间的空隙,使氧能够通过空隙进入包装内;PPE 的加入也可能会影响 PE 的结晶结构,降低了对氧气的阻隔性^[20-22]。因此 PPE—PE 活性薄膜的氧气透过量大于 PE 薄膜,而 PP/PPE—PE 活性薄膜的外层为纯 PP 薄膜,使其氧气透过量小于 PE 薄膜和 PPE—PE 活性薄膜。

2.2 感官评定

表 2 为猪肉样品气味、质构、颜色及总体可接受度的感官评定结果。由表 2 可知,所有样品的感官评分值都随着贮藏时间的增长而降低,PPE—PE 和 PP/PPE—PE 两组样品的腐败速率显著低于 PE 薄膜组($P<0.05$)。在冷藏第 2 天,PE、PPE—PE、PP/PPE—PE 3 组样品的气味和质构的差异均不显著($P>0.05$),PPE—PE、PP/PPE—PE 两组颜色和总

体可接受度的差异不显著,而 PE 薄膜差异显著;在第 4 天之后,PE、PPE—PE、PP/PPE—PE 3 组之间的差异均显著,PP/PPE—PE 组的感官评定优于 PPE—PE 组,而 PPE—PE 组优于 PE 组;至第 6 天,PE 薄膜组的感官评分低于最低可接受值 3,PPE—PE 与 PP/PPE—PE 两组至第 8 天低于最低可接受值 3,较 PE 组延长近 2 d。感官评定结果与菌落总数、TVB-N、TBA 等结果相吻合。分析此结果认为是 PE 薄膜中猪肉氧合肌红蛋白被氧化为高铁肌红蛋白,颜色变深呈褐色,而 PPE—PE、PP/PPE—PE 活性薄膜中 PPE 抑制了这一变化,加之多酚类抗菌物质起到了抑制猪肉腐败的作用,以及 PP/PPE—PE 薄膜的气体阻隔性能优于 PPE—PE 薄膜,进而抑制了微生物的生长和营养物质的分解和氧化。感官评定结果表明,PPE—PE、PP/PPE—PE 活性薄膜均能延长猪肉的货架期 2 d,而 PP/PPE—PE 活性薄膜的感官评定结果要优于 PPE—PE 活性薄膜。

2.3 汁液流失率

由图 1 可知,在冷藏过程中 3 组猪肉样品的汁液流失率都呈逐渐上升趋势,PE 组的汁液流失率在 4~10 d 显著高于 PPE—PE 和 PP/PPE—PE 两组($P<0.05$),而 PPE—PE 与 PP/PPE—PE 之间无显著差异($P>0.05$)。这可能是 PE 薄膜中细菌的生长繁殖速度快,使营养物质氧化和水解导致^[23],PPE—PE 活性薄膜和 PP/PPE—PE 活性薄膜中加入的 PPE 中含有的多酚类物质能够抑制细菌的生长繁殖,营养物质氧化和水解的程度较低,故汁液流失率低于 PE 组。结果表明,PPE—PE 与 PP/PPE—PE 的保鲜效果优于 PE 薄膜。

表2 在4℃冷藏期间猪肉的感官变化[†]
Table 2 Changes of sensory score of pork during chilled storage at 4℃

贮藏时 间/d	气味			质地		
	PE	PPE-PE	PP/PPE-PE	PE	PPE-PE	PP/PPE-PE
0	5.00±0.00 ^a					
2	4.80±0.14 ^a	4.88±0.10 ^a	4.90±0.08 ^a	4.71±0.15 ^a	4.83±0.11 ^a	4.81±0.15 ^a
4	3.74±0.17 ^c	4.09±0.20 ^b	4.66±0.14 ^a	3.82±0.12 ^c	4.31±0.20 ^b	4.71±0.09 ^a
6	2.83±0.19 ^c	3.25±0.15 ^b	4.01±0.12 ^a	2.93±0.13 ^c	3.73±0.14 ^b	3.91±0.10 ^a
8	1.49±0.27 ^c	2.11±0.19 ^b	3.20±0.19 ^a	1.73±0.21 ^c	2.31±0.11 ^b	3.05±0.22 ^a
10	NA	1.23±0.21 ^b	2.05±0.25 ^a	NA	1.65±0.27 ^b	2.36±0.25 ^a

贮藏时 间/d	颜色			总体可接受度		
	PE	PPE-PE	PP/PPE-PE	PE	PPE-PE	PP/PPE-PE
0	5.00±0.00 ^a					
2	4.52±0.10 ^b	4.77±0.08 ^a	4.80±0.15 ^a	4.60±0.12 ^b	4.83±0.10 ^a	4.85±0.11 ^a
4	3.70±0.19 ^c	4.06±0.12 ^b	4.50±0.18 ^a	3.81±0.11 ^c	4.20±0.23 ^b	4.52±0.16 ^a
6	2.85±0.08 ^c	3.60±0.16 ^b	3.81±0.12 ^a	2.91±0.18 ^c	3.61±0.16 ^b	3.86±0.08 ^a
8	1.45±0.23 ^c	2.49±0.12 ^b	2.92±0.12 ^a	1.61±0.25 ^c	2.40±0.12 ^b	2.87±0.13 ^a
10	NA	1.38±0.21 ^b	1.92±0.20 ^a	NA	1.42±0.20 ^b	1.98±0.22 ^a

† 同行的数值后面标注不同的字母表示显著差异(P<0.05);NA. 没有分析。

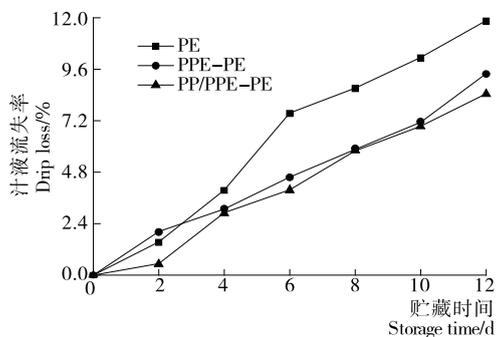


图1 在4℃冷藏期间猪肉汁液流失率的变化
Figure 1 Changes of drip loss of pork during chilled storage at 4℃

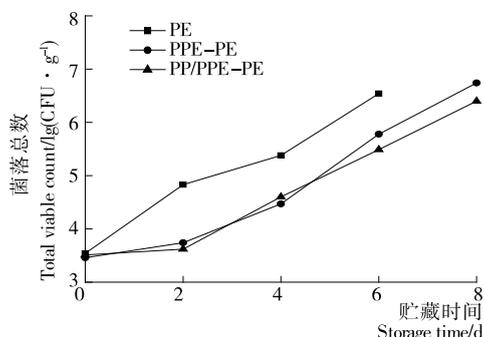


图2 在4℃冷藏期间猪肉菌落总数(TVC)的变化
Figure 2 Changes of total viable counts of pork during chilled storage at 4℃

2.4 菌落总数的变化

中国冷却猪肉行业标准(NY/T 632—2002)规定可食用冷却肉菌落总数 $\leq 1 \times 10^6$ CFU/g。由图2可知,3组猪肉样品的初始菌落总数分别为3.54,3.46,3.51 lg(CFU/g),差异不显著(P>0.05)。在第2天对照组(PE组)的细菌总数已经超过4.01 lg(CFU/g),为次鲜肉,PPE-PE、PP/PPE-PE两组猪肉样品的菌落总数分别为3.74,3.62 lg(CFU/g),仍符合新鲜肉标准;对照组(PE组)与PPE-PE、PP/PPE-PE两组差异显著(P<0.05)。在第6天,对照组(PE组)的细菌总数为6.54,超过6.01 lg(CFU/g),已经腐败;PPE-PE组菌落总数为5.78 lg(CFU/g)、PP/PPE-PE组菌落总数为5.49 lg(CFU/g),各组间的差异显著(P<0.05)。PPE-PE、PP/PPE-PE两组在冷藏第8天,菌落总数均超过6.01 lg(CFU/g),比对照组延迟2 d。分析是因为在冷藏过程中,PPE-PE、PP/PPE-PE两组薄膜中PPE含有的抗菌成分如生物碱、有机酸、黄酮类等释放到猪肉表面,发挥了抑菌和杀菌作用。Furneri等^[24]的研究表明,PPE中的多酚物

质主要通过抑制菌体的己糖磷酸途径,破坏菌体细胞蛋白和大分子量蛋白的合成,从而减少菌体分裂,使菌体表面及内部结构均发生改变,细胞壁被破坏,最终使菌体的生长繁殖受到抑制而死亡。结果表明,相对于PE薄膜,PPE-PE、PP/PPE-PE两种活性薄膜均具有良好的抗菌性能。

2.5 挥发性盐基氮(TVB-N)的变化

挥发性盐基氮(TVB-N)指动物性食品由于酶和细菌的作用,在腐败过程中,使蛋白质分解而产生氨以及胺类等碱性含氮物质,是判断动物性食品鲜度的一个重要指标。鲜(冻)畜肉卫生标准(GB 9959.1—2001)规定鲜、冻片猪肉挥发性盐基氮的含量 ≤ 20 mg/100 g。由图3可知,3组猪肉样品的初始TVB-N值为6.75 mg/100 g,表明样品为新鲜猪肉。PE组的TVB-N值在第6天为18.41 mg/100 g,大于15 mg/100 g,为次鲜肉;PPE-PE和PP/PPE-PE组的TVB-N值分别为13.54,11.90 mg/100 g,与对照组的差异显著(P<0.05),但PPE-PE与PP/PPE-PE两组差异不显著(P>0.05)。PPE-PE和PP/PPE-PE组在第8天的TVB-N

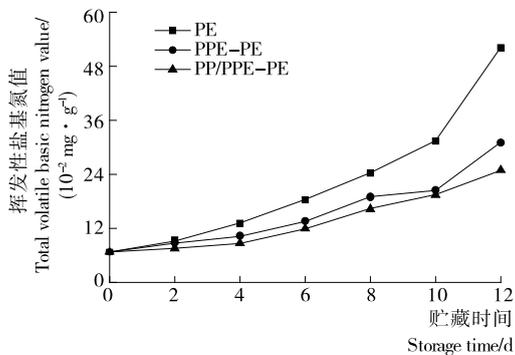


图 3 在 4 °C 冷藏期间猪肉挥发性盐基氮(TVB-N)的变化

Figure 3 Changes of TVB-N value of pork during chilled storage at 4 °C

值为 19.05, 16.41 mg/100 g, 大于 15 mg/100 g, 降为次鲜肉; PE 组的 TVB-N 值在第 8 天大于 20 mg/100 g, PPE-PE 和 PP/PPE-PE 组 TVB-N 值的增加较 PE 组缓慢, PPE-PE、PP/PPE-PE 两组在第 12 天的 TVB-N 值大于 20 mg/100 g, 表明 PPE-PE 活性薄膜和 PP/PPE-PE 活性薄膜的保鲜效果优于 PE 薄膜。分析原因可能在于 PPE 中的多酚类物质如鞣花酸、安石榴苷、石榴皮鞣素等抑制了细菌的生长, 从而抑制了蛋白质的分解, 此结果与菌落总数试验结果相吻合; PP/PPE-PE 活性薄膜保鲜效果优于 PPE-PE 活性薄膜的原因可能是 PP/PPE-PE 活性薄膜保鲜膜的氧气透过量较 PPE-PE 活性薄膜小, 降低了好氧细菌对蛋白质的降解速率。

2.6 pH 值的变化

由图 4 可知, 在冷藏期间, 3 个包装组猪肉的 pH 值都呈现先下降后上升趋势。主要原因是在贮藏初期, 猪肉肌肉中糖元经无氧酵解途径形成乳酸, 其下降一直延续至糖酵解酶的活性被抑制为止^[25], 之后随着蛋白质被分解为碱性小分子, pH 上升。在第 2 天, PP/PPE-PE 组猪肉样品的 pH 值 (5.5) 明显低于 PE 和 PPE-PE 两组, 可能是 PP/PPE-PE 活性薄膜的氧气透过量较低, 使糖原更快地无氧酵解形成乳酸, 薄膜中的抗菌活性物质又抑制了细菌的生长繁殖, 使碱性含氮小分子的生成减少。PPE-PE 组在第 4 天, pH 值降至最低, 显著低于 PE 和 PP/PPE-PE 两组的 pH 值 ($P < 0.05$), 可能是产生的碱性物质相对 PE 组少。在第 6 天, 所有样品的 pH 值均小于 6.2, 在第 10 天, PE 组的 pH 大于 6.7, 呈腐败状态; PPE-PE 和 PP/PPE-PE 组样品的 pH 值低于 6.7, 且两组样品 pH 差异不显著。在贮藏期间, PPE-PE 和 PP/PPE-PE 两种活性薄膜均能有效延缓 pH 的变化, 保鲜效果优于 PE 薄膜。

2.7 TBA 的变化

丙二醛为脂肪氧化的产物, 每 100 g 猪肉中所含的丙二醛的毫克数即 TBA 值, 可以用来反映肉中脂肪的最终氧化程度, TBA 值越大, 说明脂肪氧化程度越高, 猪肉的腐败程度越高^[26]。冷藏期间, 各组猪肉的 TBA 值变化见图 5。在冷藏 4~10 d, PP/PPE-PE 组的 TBA 值均显著低于 PE 和 PPE-PE 两组 ($P < 0.05$)。分析可能是 PP/PPE-PE 活性薄

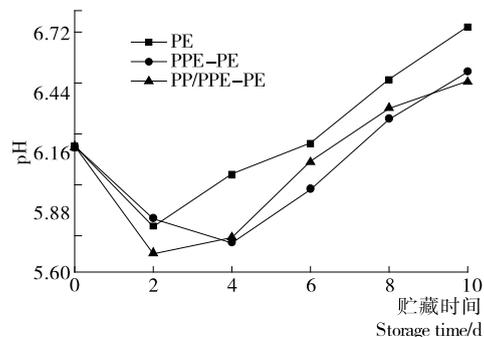


图 4 在 4 °C 冷藏期间猪肉 pH 值的变化

Figure 4 Changes of pH value of pork during chilled storage at 4 °C

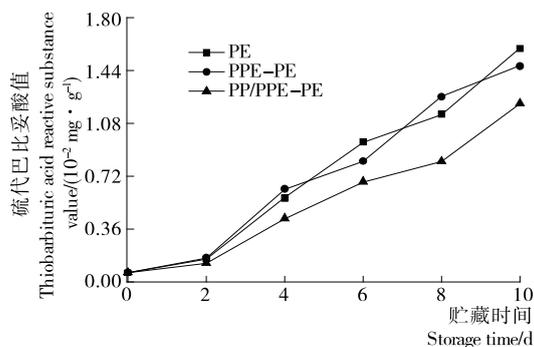


图 5 在 4 °C 冷藏期间猪肉 TBA 值的变化

Figure 5 Changes of TBA value of pork during chilled storage at 4 °C

膜为复合膜, 氧气透过量为 PE 薄膜的 1/4 和 PPE-PE 活性薄膜的 1/2, 能够有效阻止氧气进入包装袋内, 而膜中的 PPE 含有较多的多酚类物质和鞣花酸, 能有效清除自由基起到抗氧化作用, 从而抑制脂肪的氧化腐败; 而 PPE-PE 活性薄膜虽然包埋有 PPE, 但氧气透过量大, 不能有效阻止氧气进入包装袋内, 因此 PPE-PE 活性薄膜的脂肪氧化程度较高, 与 PE 薄膜差异不显著 ($P > 0.05$)。此结果与李建科等^[27]的研究结论吻合, 该研究发现, 石榴皮多酚对超氧阴离子自由基的清除能力随着总酚浓度的提高而增强。TBA 的变化表明, 相对于 PE 和 PPE-PE 两种薄膜, PP/PPE-PE 具有良好的氧气阻隔性, 其保鲜效果更好。

3 结论

(1) 相对于 PE 薄膜, PPE 的加入使 PPE-PE 活性薄膜的抗张强度增强, 但光学性能和对氧气的阻隔性降低。以 PP 薄膜为外层薄膜, 能有效提高 PP/PPE-PE 活性薄膜的机械氧气阻隔等性能, PP/PPE-PE 活性薄膜的氧气透过量为 PPE-PE 活性薄膜的 1/4 倍, 为 PE 薄膜的 1/2 倍,

(2) 1.5% PPE 的 PP/PPE-PE 活性薄膜和 PPE-PE 活性薄膜包装的新鲜猪肉在冷藏期间的各项品质指标均优于 PE 薄膜, 能够延长猪肉货架期 2~3 d; 由于 PP/PPE-PE 活性薄膜具有优良的氧气阻隔性, 其保鲜效果相对优于 PPE-PE 活性薄膜。1.5% PPE 的加入使两种活性薄膜具有良好的抗菌性能, 可以作为一种新型的食品抗菌包装材料。

(3) 由于 PPE 中的有效成分种类较多,对其有效成分的释放机理研究不足,不能充分说明 PPE 中的哪种成分起主要抑菌作用。今后的研究重点是探讨 PPE—PE 在食品模拟液中的释放动力学研究,并确定 PPE—PE 活性薄膜的抑菌机理。

参考文献

[1] 王连玮. 化学添加剂对食品安全的危害及检测方法研究概况[J]. 科学技术与工程, 2011, 16(11): 3 735-3 745.

[2] 夏秀芳, 孔保华, 于长青. 几种天然香辛料提取物延长冷却肉货架期的研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(3): 55-59.

[3] 石亚中, 伍亚华, 许晖, 等. 竹叶黄酮与 V_C、V_E 复配对冷却猪肉品质的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 180-183.

[4] Mirdehghan S H, Rahemi M. Seasonal changes of mineral nutrients and phenolics in pomegranate (*Punicagranatum L.*) fruit [J]. *Scientia Horticulturae*, 2007, 111(2): 120-127.

[5] Bell C, Hawthorne S. Ellagic acid, pomegranate and prostate cancer: a mini review[J]. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2008, 60(2): 139-144.

[6] 饶凤, 陈祥贵, 刘振平, 等. 鞣花酸和石榴皮多酚提取物抗氧化活性的比较[J]. 食品工业科技, 2012, 33(12): 111-113, 117.

[7] Hayrapetyan H, Hazeleger W C, Beumer R R. Inhibition of *Listeria monocytogenes* by pomegranate (*Punicagranatum*) peel extract in meat paté at different temperatures[J]. *Food Control*, 2012, 23(1): 66-72.

[8] 张茜, 贾冬英, 姚开, 等. 石榴皮提取物的抗氧化作用研究[J]. 中国油脂, 2006, 31(8): 51-54.

[9] Park S, Marsh K S, Dawson P. Application of chitosan-incorporated LDPE film to sliced fresh red meats for shelf life extension [J]. *Meat science*, 2010, 85(3): 493-499.

[10] 格桑卓玛, 赵见营, 阮贵萍, 等. 生鲜牛肉调理配制方法对高氧 MAP 保鲜包装产品保鲜效果的影响研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(2): 310-318.

[11] Zinoviadou K G, Koutsoumanis K P, Biliaderis C G. Physical and thermo-mechanical properties of whey protein isolate films containing antimicrobials, and their effect against spoilage flora of fresh beef[J]. *Food Hydrocolloids*, 2010, 24(1): 49-59.

[12] Özogul Y, Özyurt G, Özogul F, et al. Freshness assessment of European eel (*Anguilla anguilla*) by sensory, chemical and microbiological methods[J]. *Food Chemistry*, 2005, 92(4): 745-751.

[13] Chamanara V, Shabanpour B, Gorgin S, et al. An investigation on characteristics of rainbow trout coated using chitosan assisted with thyme essential oil[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2012, 50(3): 540-544.

[14] 姬勇. KJELTEC2300 全自动定氮仪测定羊肉中的挥发性盐基氮[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2005, 23(5): 538-540.

[15] 刘骁, 谢晶, 林永艳. 复合生物保鲜剂对猪肉保鲜的研究[J]. 食品与机械, 2011, 27(6): 199-203.

[16] 顾海宁, 李强, 李文钊, 等. 冷却猪肉贮存中的品质变化及货架期预测[J]. 现代食品科技, 2013, 29(11): 2 621-2 626.

[17] 池圣贤, 乐道进, 徐祥兵, 等. 有机磷酸盐类成核剂改性聚丙烯[J]. 合成树脂及塑料, 2006, 23(5): 14-16.

[18] Sung S Y, Sin L T, Tee T T, et al. Effects of *Allium sativum* essence oil as antimicrobial agent for food packaging plastic film [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2014, 26: 406-414.

[19] Brody A L, Bugusu B, Han J H, et al. Scientific status summary[J]. *Journal of Food Science*, 2008, 73(8): R107-R116.

[21] Comyn J. Polymer permeability[M]//Ashley R J. Permeability and plastics packaging. Berlin Germany: Springer Netherlands, 1985: 269-308.

[22] Yang Zhong, Dustin Janes, Zheng Yong. Mechanical and oxygen barrier properties of organoclay - polyethylene nanocomposite films[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2007, 47(7): 1 101-1 107.

[23] Mohan C O, Ravishankar C N, Lalitha K V, et al. Effect of chitosan edible coating on the quality of double filleted Indian oil sardine (*Sardinellalongiceps*) during chilled storage[J]. *Food Hydrocolloids*, 2012, 26(1): 167-174.

[24] Hugo W B, Bloomfield S F. Studies on the mode of action of the phenolic antibacterial agent fenticlor against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* II. The effects of fenticlor on the bacterial membrane and the cytoplasmic constituents of the cell[J]. *Journal of Applied Bacteriology*, 1971, 34(3): 579-591.

[25] Wulf D M, Emmett R S, Leheska J M, et al. Relationships among glycolytic potential, dark cutting (dark, firm, and dry) beef, and cooked beef palatability [J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 80(7): 1 895-1 903.

[26] 刘冬敏, 刘永乐, 王建辉, 等. 动物脂肪氧化酶及其对动物性食品的影响研究进展[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 253-258.

[27] 李建科, 李国秀, 赵艳红, 等. 石榴皮多酚组成分析及其抗氧化活性[J]. 中国农业科学, 2009, 42(11): 4 035-4 041.

(上接第 130 页)

[5] 李梁, 吉建邦, 康效宁, 等. 槟榔花茶饮料的研制及货架期分析 [J]. 食品科技, 2014, 39(4): 78-83.

[6] 杭锋, 郭本恒, 任璐, 等. 超高温灭菌乳货架期加速试验的研究 [J]. 化工学报, 2010, 61(5): 1 213-1 218.

[7] 齐娜, 李娜, 李涵, 等. 100% 梨汁饮品储藏品质的变化及货架期预测 [J]. 保鲜与加工, 2016, 16(2): 53-58.

[8] 张利平, 谢晶. Arrhenius 方程结合特征指标在蔬菜货架期预测中的应用 [J]. 食品与机械, 2012, 28(5): 163-168.

[9] 肖璐, 范新光, 王美兰, 等. 基于预报微生物学理论的鲜切西兰花货架期预测模型 [J]. 中国食品学报, 2014, 14(9): 141-145.

[10] 王晓兰, 张晓鹏, 王亚琦, 等. 食品货架期的预测模型 [J]. 内蒙古石油化工, 2008(12): 46-47.

[11] 余清. 大黄鱼微波热穿透工艺研究、品质分析及货架期预测 [D]. 福州: 福建农林大学, 2012.

[12] 史波林, 赵福, 支瑞聪. 基于品质衰变理论的食品货架期预测模型及其应用研究进展 [J]. 食品科学, 2012(21): 345-350.

[13] Alice pegg. Shelf-life[J]. *Nutrition and Food Science*, 1999, 99(3): 131-135.

[14] 夏秀芳, 孔保华, 于长青. 几种天然香辛料提取物延长冷却肉货架期的研究 [J]. 食品与机械, 2008, 24(3): 55-59.