

食品流通与包装

pH 响应型智能抑菌包装垫的制备及在冷鲜羊肉中的应用

孙武亮, 刘晓娟, 董信琛, 遯泽宇, 周志敏, 王朋洋, 孙文秀
(内蒙古农业大学, 呼和浩特 010018)

摘要: **目的** 为了延长冷鲜羊肉的货架期, 实现抑菌剂的可控释放, 制备一种对冷鲜羊肉生物胺敏感的纳米纤维包装垫。**方法** 以茶多酚为抑菌剂, pH 敏感材料聚丙烯酸树脂 Eudragit L100-55 为基材, 采用静电纺丝技术制备抑菌纤维垫。通过扫描电镜和傅里叶红外光谱对抑菌纤维垫进行表征, 通过模拟扩散实验验证其 pH 响应释放行为。随后, 将该抑菌纤维垫应用于冷鲜羊肉托盘包装, 通过测定菌落总数、挥发性盐基氮、硫代巴比妥酸、pH 值、色泽和汁液流失率来评价抑菌纤维垫的保鲜效果。**结果** 抑菌纤维垫质地柔软, 纤维平滑、均匀、连续, 且纤维丝平均直径约为 900 nm。茶多酚被成功包埋于纤维丝中, 且具有 pH 响应可控释放性。通过考察冷鲜羊肉品质发现, 该抑菌垫具有较好的保鲜效果, 可将托盘包装冷鲜羊肉货架期由 6 d 延长至 9 d。**结论** 该智能抑菌包装垫通过其良好的 pH 响应性可实现抑菌剂的可控释放, 具有延长冷鲜羊肉货架期的效果, 且保鲜效果良好, 有望成为新型包装材料推广于市场。

关键词: 冷鲜羊肉; 静电纺丝; 抑菌; pH 响应; 释放

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)05-0066-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.05.009

Preparation of pH-responsive Intelligent Antibacterial Packaging Film and Its Application in Chilled Fresh Mutton

SUN Wu-liang, LIU Xiao-juan, DONG Xin-chen, LU Ze-yu, ZHOU Zhi-min,
WANG Peng-yang, SUN Wen-xiu

(Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

ABSTRACT: The paper aims to prepare a pH sensitive nanofiber packaging film to extend the shelf life of chilled mutton and achieve controlled release of bacteriostatic agent. The antibacterial fiber mat was prepared by electrospinning with tea polyphenol as bacteriostatic agent and pH sensitive material polyacrylic resin Eudragit L100-55 as substrate. The bacteriostatic fiber mats were characterized by scanning electron microscopy and Fourier transform infrared spectroscopy. The pH response release behavior was verified by simulated diffusion experiments. Subsequently, the bacteriostatic fiber mat was applied to the chilled mutton tray package, and the preservation effect of bacteriostatic fiber mat was evaluated by measuring the total number of colonies, volatile base nitrogen, thiobarbituric acid, pH value, color and drip loss rate. The antibacterial fiber mat was soft. The fibers were smooth, uniform and continuous. And the average diameter of the filaments was about 900 nm. Tea polyphenols were successfully embedded in filaments and had a pH responsive release. By examining the quality of chilled mutton, the bacteriostatic pad had good preservation effect. The shelf life of chilled mutton can be extended from 6 days to 9 days. The intelligent antibacterial fiber mat can achieve the controlled release

收稿日期: 2019-08-04

基金项目: 国家自然科学基金 (31760481)

作者简介: 孙武亮 (1991—), 男, 内蒙古农业大学硕士生, 主攻肉品贮藏。

通信作者: 孙文秀 (1979—), 男, 博士, 内蒙古农业大学教授、博导, 主要研究方向为智能包装。

of bacteriostatic agent through its good pH responsiveness. It has the effect of prolonging the shelf life of chilled fresh mutton, and has good preservation effect. It is expected to become a new packaging material to be promoted in the market.

KEY WORDS: chilled fresh mutton; electrospinning; bacteriostasis; pH response; release

内蒙古苏尼特羊肉以色泽鲜艳、高蛋白、低脂肪和低胆固醇且肉质鲜嫩等特点,深受人们青睐^[1]。正是由于冷鲜羊肉的高营养特点,在贮藏、运输和销售的过程中极易受到微生物的污染,大幅度降低了其可食用价值和增加了运输难度^[2]。为了延长冷鲜羊肉的货架期,从而向远方市场提供优质和新鲜的羊肉,细菌污染是目前急需解决的问题。面对这一问题一系列包装保鲜技术被研发利用,如真空包装^[3]、涂膜包装^[4]、气调包装^[5-6]、托盘包装^[7]等。

托盘包装中置放抑菌垫,特别是置放具有环境响应的抑菌垫,可能是一种具有潜力的包装方式^[8]。它不是简单地将抑菌化合物直接与食物混合,而是将它们加入对环境敏感的基质中。该抑菌垫可以根据环境的变化,释放抑菌剂到冷鲜肉表面,从而起到抑菌作用。最近,食品包装中的纳米技术已成为一个新兴领域,被应用到冷鲜肉贮藏包装中,由于它制备的纳米纤维具有高比表面积,所以能够快速响应外部刺激,如 pH、光、温度等^[9]。目前关于将天然抑菌剂载入 pH 敏感材料(聚丙烯酸树脂)去感知环境变化,达到可控释放抑菌剂的报道较为少见。聚丙烯酸树脂聚合物 Eudragit L100-55 对 pH 有敏感性,当 $\text{pH} > 5.5$, 该材料会溶胀溶解^[10]。该材料可以根据周围环境变化进行可控释放,但目前仅在医学领域被广泛应用,食品方面却还未见报道。冷鲜肉保鲜中天然抑菌剂是目前较受青睐的添加物。目前也报道了很多从植物中提取出的成分,如茶多酚、海藻糖和山梨酸钾已被作为天然抑菌剂,广泛用于包装材料中^[11-13]。茶多酚以高于一般抑菌剂的抑菌性能和抗氧化功能,在肉品保鲜中得到了广泛应用。

文中采用茶多酚作为天然抑菌剂,利用静电纺丝技术,将茶多酚包埋于 pH 敏感材料(Eudragit L 100-55)中,获得一种具有对冷鲜羊肉中生物胺敏感的智能抑菌包装垫,实现抑菌剂能够根据环境变化进行可控释放。将该智能抑菌包装垫应用于冷鲜羊肉的托盘包装中,重点考察冷鲜羊肉托盘包装贮藏期间的菌落总数、挥发性盐基氮、硫代巴比妥酸、pH 值、色泽和汁液流失率等指标,从而研究智能包装垫的抑菌保鲜效果。

1 实验

1.1 主要材料和仪器

主要材料:羊肉,苏尼特羊,内蒙古乌拉特中旗苏尼特羊育种园区;聚丙烯酸树脂聚合物(Eudragit L

100-55),合肥安生医药科技有限公司;聚乳酸($A_w=10$ 万),深圳光华伟业实业有限公司;茶多酚(TP),上海麦克林生化科技有限公司;无水乙醇、三氯乙酸、硼酸、N,N 二甲基酰胺(DMF)、氧化镁、盐酸、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、2-硫代巴比妥酸、琼脂、牛肉膏、氯化钠等,均为分析纯,上海麦克林生化科技有限公司。

主要仪器:高压静电纺丝机(TL-Pro),深圳市通力微纳科技有限公司;扫描电镜(TM 4000),天美(中国)科学仪器有限公司;傅里叶变换红外光谱(IRAffinity-1,日本岛津公司);胴体 pH 值直测仪(PH-STAR),德国 MATTHAUS 胴体肉质 pH 值直测仪。

1.2 方法

1.2.1 静电纺丝纤维垫的制备

静电纺丝溶液的制备:称取 0.02 g TP 和 1.3 g Eudragit L 100-55 溶解于 10 mL 无水乙醇中,经磁力搅拌过夜,获得均匀 Eudragit L 100-55+TP 溶液。静电纺丝条件:施加正压为 26 kV,负压为 -2 kV 的电压,针头和铝箔接收器距离为 15 cm,以保证针头尖端获得稳定的泰勒锥,纺丝溶液流速为 1 mL/h。

1.2.2 扫描电镜(SEM)

纤维膜经真空干燥 24 h 后,喷金 15 s,利用扫描电镜观察膜的微观结构,其中加速电压为 15 kV。

1.2.3 傅里叶红外光谱(FTIR)

通过傅里叶红外光谱仪分析 TP, Eudragit L 100-55, TP+Eudragit L 100-55 纤维垫的官能团和化学结构。FTIR 光谱图在 $650\sim 4000\text{ cm}^{-1}$ 的范围内以 4 cm^{-1} 的分辨率,平均扫描 5 次获得。

1.2.4 纤维垫的开-关释放实验

为了便于观察,选用具有亮丽蓝色的亚甲基蓝作为模型包埋剂,将 TP 换成同等量的亚甲基蓝,在同等条件下进行纺丝制膜。将含亚甲基蓝的纤维垫裁剪成 $6\text{ cm}\times 6\text{ cm}$ 的正方形样片,放入装有 40 mL 的 $\text{pH}=5$ 和 $\text{pH}=6$ 的磷酸盐缓冲溶液平皿中,在 1 min, 10 min, 30 min, 3 h, 6.5 h 时进行拍照,观察并记录纤维垫扩散情况。

1.2.5 冷鲜羊肉前处理

排酸处理后的羊后腿肉经紫外灯照射灭菌 30 min 后,在无菌操作台上去除筋腱和脂肪,并分割

为每块 50 g。空白(无包装垫)和智能抑菌包装垫组肉样各 18 个,3 组平行试样。将智能抑菌包装垫紧贴于羊肉下表面,放入托盘包装盒中(以培养皿模拟托盘包装盒,其规格为直径 90 mm,高 20 mm),并经过 PET 包装袋包装封口。将处理好的羊肉放入 4℃ 冰箱中保存。

1.2.6 指标的测定

1) 冷鲜羊肉感官评定。选 10 名经过培训的评价员对冷藏期间的冷鲜羊肉进行感官评分,具体评分标准见表 1,评分的平均值为实验最终结果。

2) 汁液流失率的测定。冷鲜肉的汁液流失率(DL)采用称量法进行测定。将第 1 天未包装的肉样进行称量,记为 m_1 ;测试当天用滤纸吸干保鲜盒中肉样表面的汁液并称量,记为 m_2 ;利用式(1)计算冷鲜肉的汁液流失率,每种冷鲜肉样测试 2 个平行样,取其平均值作为最终结果。

$$DL = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100\% \quad (1)$$

3) pH 值的测定。采用胴体肉质 pH 值直测仪,将探头直接插入冷鲜肉试样,深度约为 1 cm,待数值稳定后记录,每个试样测 3 个数值,取其平均值。

4) 硫代巴比妥酸含量的测定。冷鲜肉贮藏期间硫代巴比妥酸(TBARS)的测定参照 GB 5009.181—2016。其计算式为:

$$X = (cV \times 1000) / (m \times 1000) \quad (2)$$

式中: X 为试样中丙二醛含量(mg/kg); c 为从标准系列曲线得到的试样溶液中丙二醛的质量浓度($\mu\text{g/mL}$); V 为试样溶液定容体积(mL); m 为最终试样溶液所代表的试样质量(g);1000为换算系数。

5) 冷鲜羊肉菌落总数的测定。对冷鲜羊肉中微生物检验参照 GB 4789.2—2016《菌落总数的测定》。称取 25 g 剁碎的肉样加入 225 mL 无菌生理盐水中,振荡均匀后,采用 10 倍稀释法进行梯度稀释,选择合适的梯度取 1 mL 稀释液注入平皿中,加入 15~20 mL 平板计数琼脂培养基混匀,待其凝固后,倒置于 37℃ 恒温恒湿培养箱中培养 48 h,计数平皿菌落总数,每个梯度稀释做 2 个平皿。冷鲜肉新鲜度评定标准:一级鲜度,菌落总数 $\leq 5 \lg \text{CFU/g}$;二级鲜度,菌落总数为 5~7 $\lg \text{CFU/g}$;变质肉,菌落总数 $\geq 7 \lg \text{CFU/g}$ 。

6) 挥发性盐及总氮的测定。冷鲜肉贮藏期间挥发性盐基总氮值(TVB-N)的测定参照 GB 5009.228—2016 中的半微量定氮法进行测定。评定标准:一级鲜度,TVB-N 值 $\leq 150 \text{ mg/kg}$;二级鲜度,150 $\text{mg/kg} < \text{TVB-N}$ 值 $\leq 20 \text{ mg/kg}$;变质肉,TVB-N 值 $> 20 \text{ mg/kg}$ 。

2 结果与讨论

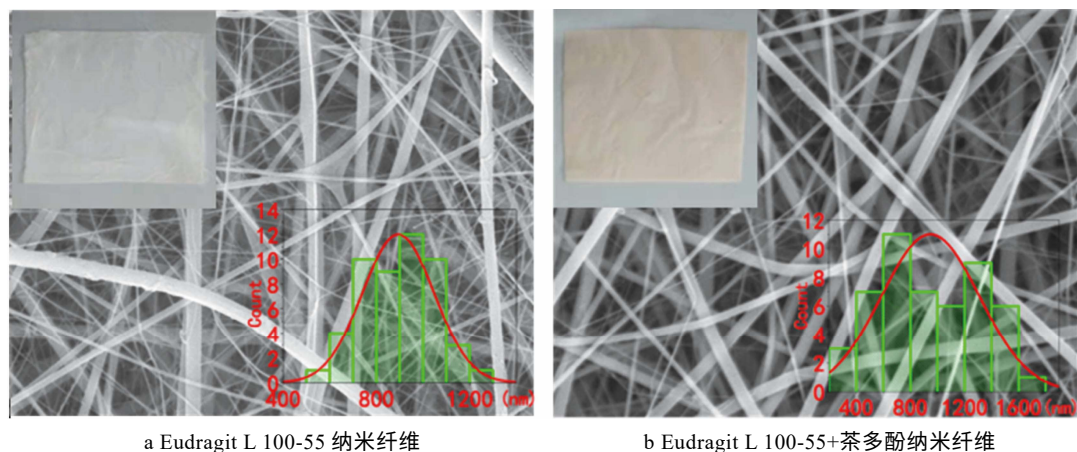
2.1 智能抑菌包装垫的形貌分析

静电纺丝制备的纤维智能包装垫微观结构见图 1。

表 1 冷鲜羊肉感官评定

Tab.1 Sensory score criteria of chilled fresh mutton

项目	一级鲜度(5分)	二级鲜度(4分)	三级鲜度(3分)	四级鲜度(2分)	变质(1分)
色泽	鲜红,有光泽	较鲜红,有光泽	暗红,无光泽	灰暗或苍白,无光泽	色泽差,不能接受
气味	具有鲜羊肉特有的气味,无异味	具有羊肉味,无异味	稍有氨味	有氨味	腐败气味,不能接受
组织状态	弹性好,指压后立即恢复	弹性好,指压后能恢复	弹性一般,指压后不能恢复	无弹性,指压后不能恢复	弹性丧失,指压后凹陷严重



a Eudragit L 100-55 纳米纤维

b Eudragit L 100-55+茶多酚纳米纤维

图 1 智能纤维垫纤维电镜图和直径分布

Fig.1 Electron micrograph and diameter distribution of intelligent fiber mat

肉眼观察发现, 纯 Eudragit L 100-55 纳米纤维膜为白色, 纤维丝出现严重的不均匀现象, 而包装垫 (Eudragit L 100-55+茶多酚) 外观柔软, 薄厚均匀, 略显棕红色, 该棕红色呈现出 TP 的颜色, 也说明 TP 被成功包埋于 Eudragit L 100-55 中。从图 1 可以看到, 纤维丝平滑、均匀且连续。其中纤维膜直径分布在 400~1600 nm, 其平均直径为 900 nm 左右, 高于纯 Eudragit L 100-55 纳米纤维膜组。这是因为添加的茶多酚使纺丝液的浓度增加, 该包装垫由大量纤维构成, 有着较大的比表面积, 因此该纤维有助于提高包装垫对外界变化的响应度, 这为后期冷鲜羊肉保鲜中 TP 的释放提供了有利的条件。

2.2 智能包装垫的傅里叶红外光谱分析

TP, Eudragit L 100-55, Eudragit L 100-55+TP 纤维膜的 FT-IR 光谱见图 2。对比图 2 中 Eudragit L 100-55 和 TP 特征图谱, 可以看到在 Eudragit L 100-55+TP 纤维膜中, 不仅显示出 Eudragit L 100-55 羧酸基团振动 1699 cm^{-1} (酯化羧基振动), 1159 cm^{-1} (酯振动), 1383 cm^{-1} , 1447 cm^{-1} 和 2981 cm^{-1} ($-\text{CH}_2$ 振动), 还在 1516 cm^{-1} 出现了 TP 的特征峰 (苯骨架 $\text{C}=\text{C}$ 振动) [14-15]。可以表明, TP 成功被包埋于 Eudragit L 100-55 纤维中。

2.3 智能包装垫的环境响应释放试验

抑菌垫的释放机理见图 3。为了更好了解抑菌垫的释放行为, 以亚甲基蓝为模拟材料, 该垫在不同 pH 环境下的响应释放行为见图 4。设定了 pH=5 和 pH=6 的 2 种缓冲溶液, 能明显观察到该膜无论在 pH=6 还是 pH=5 的缓冲溶液中, 都出现了快速收缩

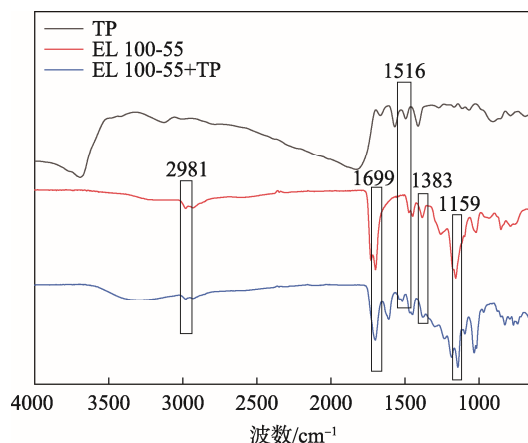


图 2 智能包装垫的傅里叶红外光谱

Fig.2 Fourier infrared spectrum of the smart packaging pad

现象 ($t < 10\text{ min}$), 这是因为纤维的产生过程中出现了纤维鞭动导致的拉伸现象。随后, 在 pH=6 的缓冲溶液中, 随着时间的延长, 亚甲基蓝也开始释放。在 6.5 h 时, 亚甲基蓝也基本释放完全。在 pH=5 的环境下纤维垫并没有出现溶解的现象, 亚甲基蓝也没有释放。从这个测试中可以得到, 静电纺丝制备的纤维垫具有 pH 环境敏感性, 实现了智能感应环境变化从而做出响应, 达到了可控释放。

2.4 冷鲜羊肉贮存期间感官评定

感官评价是检测羊肉新鲜度程度的常规重要指标之一[16]。实验以羊肉的色泽、气味和组织状态作为评定指标, 这些指标都是影响消费者购买的主要因素[17]。静电纺丝制备的智能抑菌包装垫和空白包装方式对冷鲜羊肉感官指标的影响见图 5。空白组在第 9 天评分开始低于 3 分, 而智能包装组第 12 天才开始

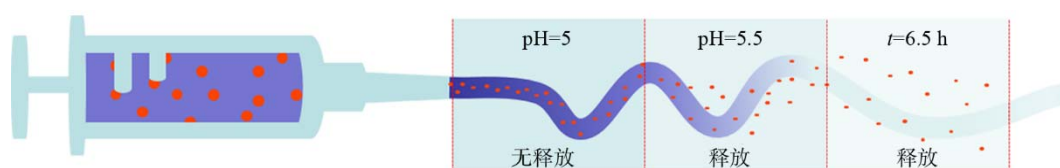


图 3 实验释放机理

Fig.3 Experimental release mechanism diagram

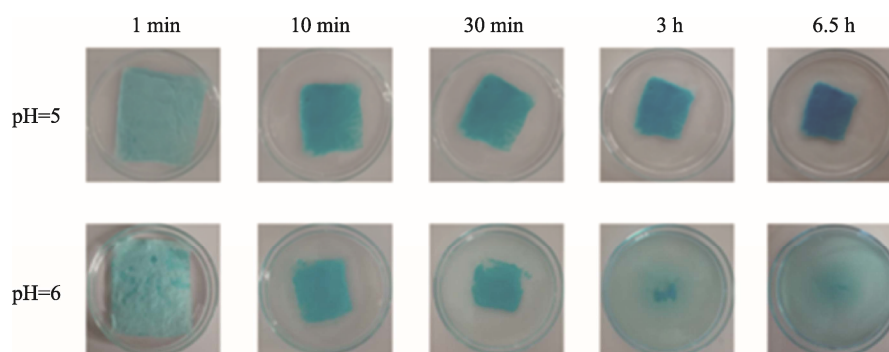


图 4 智能包装垫在不同 pH 下的响应行为

Fig.4 Response behavior of smart packaging pad at different pH

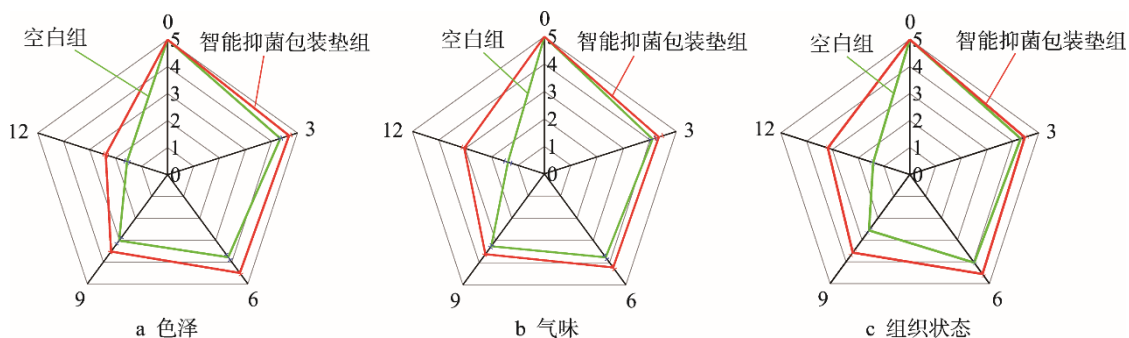


图5 在0~4 °C下不同智能包装垫对冷鲜羊肉感官指标的影响

Fig.5 Effect of different smart packaging mats on sensory parameters of chilled fresh mutton at 0-4 °C

低于3分。得分小于3说明肉品可食用部分开始减少,为消费者不可接受品质。实验结果表明,智能抑菌包装垫具有延长冷鲜羊肉货架期的效果,可以让消费者获得更高品质的肉品。

2.5 汁液流失率

汁液流失率是反应肉品质的重要指标,代表了肉的保水性,对色泽和嫩度都有影响^[18]。汁液流失主要是由于肌肉结构蛋白降解,难以维持肌纤维的稳定形态,无法锁住水分导致的^[19]。由图6可知,初期组间汁液流失差距不明显,在第3天后开始出现变化。尤其智能抑菌包装垫组在贮藏5 d后,较空白组汁液流失率显著降低,原因在于抑菌垫中含有天然抑菌剂TP,可有效抑制微生物的生长,一定程度上降低了蛋白质的降解,保持了肉品原有的锁水能力。同时天然抑菌剂的使用还可以保持肌纤维膜的完整性,并减少水分的流失^[20]。

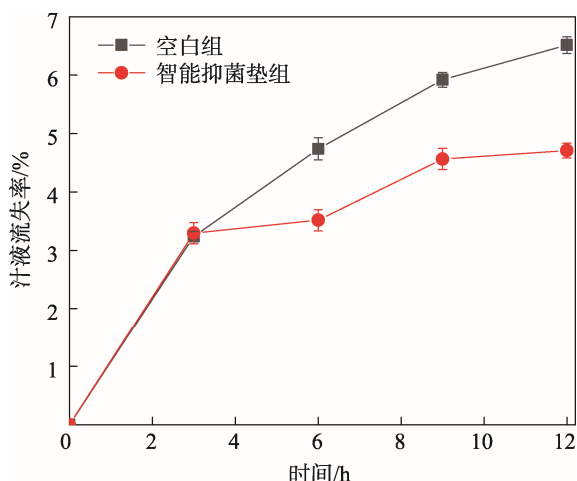


图6 在0~4 °C下纤维垫对冷鲜羊肉汁液流失率的影响

Fig.6 Effect of fiber mat on the juice loss rate of chilled fresh mutton at 0-4 °C

2.6 pH值

贮藏期间肉样的pH值变化见图7。肉制品的pH值是另一重要指标,可以影响颜色、质地和风味,对

肉制品内的生化反应有决定性作用^[21]。从图7的结果可以明显看出,冷鲜羊肉随着贮藏时间的增长,pH呈先下降后上升的趋势。这主要与微生物有关,贮藏前期兼性厌氧菌如乳酸菌为冷鲜肉中的优势菌群,它通过糖酵解反应,导致乳酸积累,pH值下降^[22]。随着贮藏时间的增加,其他微生物(大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、假单胞菌和酵母菌等)开始成为菌群中的主要菌种,它们的代谢产物以及羊肉中蛋白的降解产物——碱性物质生物胺的积累,致使pH开始升高^[23]。在智能抑菌包装垫存在的情况下,pH值保持恒定或更低水平,表明该垫在冷鲜羊肉的贮藏中表现出了显著的抑菌效果。

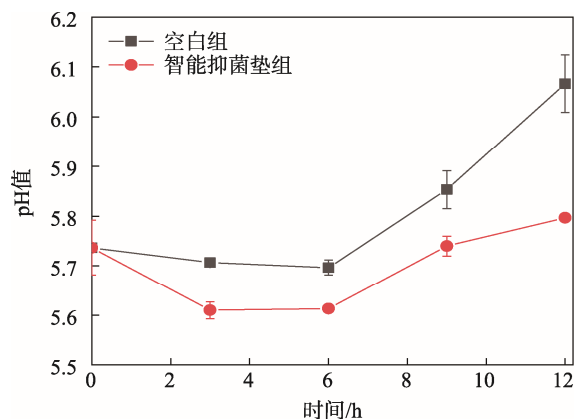


图7 在0~4 °C下纤维垫对冷鲜羊肉pH的影响

Fig.7 Effect of fiber mat on pH of chilled fresh mutton at 0-4 °C

2.7 硫代巴比妥酸的含量

硫代巴比妥酸是指示肉脂肪氧化程度的指标,值越大脂肪氧化程度越高,肉越不新鲜,实验中通过测定TBARS来表征包装垫对羊肉的保鲜效果。脂肪氧化会产生挥发性物质,以醛酮类为主,量少对风味有改善作用,量多则会出现酸败味,这以不饱和脂肪酸为主^[24]。有研究表明TBARS值高于0.5 mg/kg时,脂肪氧化程度较高,肉制品出现酸败味^[25]。空白组和智能抑菌包装垫组的冷鲜羊肉TBARS变化情况见图8。随着贮存时间的延长,添加智能抑菌包装垫组冷

鲜羊肉氧化程度低于空白组,说明添加 TP 可有效抑制冷鲜羊肉中脂肪氧化速度^[26]。这种抑制的机制被认为是游离铁在储存期间从肉的血红蛋白中释放出来,与茶多酚中的酚类物质发生螯合。智能抑菌包装垫对脂质氧化的抑制作用也可能与其酚类成分有关,这主要归功于抗氧化活性。有研究报道了 TP 的酚类成分与抗氧化活性之间的关系^[27]。这些结果表明,智能抑菌包装垫具有抗氧化活性,也可用作抗氧化包装。

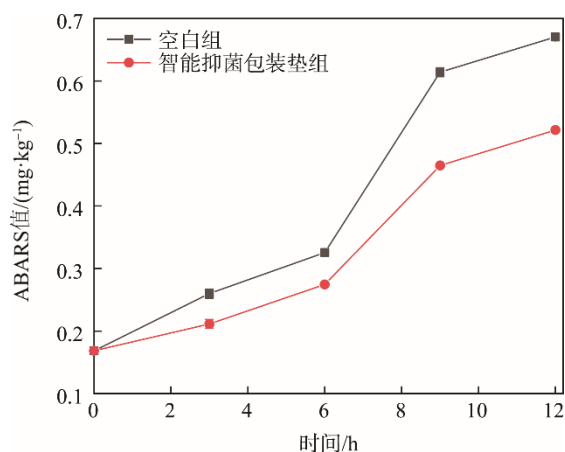


图 8 在 0~4 °C 下纤维垫对冷鲜羊肉 TBARS 的影响
Fig.8 Effect of fiber mat on TBARS of chilled fresh mutton at 0-4 °C

2.8 菌落总数

研究表明,微生物是肉品腐败变质的主要因素^[28]。随着贮藏时间的延长,2 组冷鲜羊肉中菌落总数均呈现上升趋势,见图 9。空白组的菌落数迅速增加,尤其在第 7 天时已经高于冷鲜羊肉腐败的临界值。智能抑菌包装组在第 11 天才出现菌落总数超标现象。实验表明,抑菌包装垫能够持续释放抑菌剂且有效抑制微生物的增长,延长冷鲜羊肉的货架期。TP 的抑菌效果与 Valencia 等^[29]报道的结果一致,他们发现用绿茶儿茶素处理的猪肉香肠能明显降低其总活菌数,并且添加茶多酚能有效抑制腐败菌的生长,同时其他人员也报道了茶多酚有抑制微生物生长和繁殖的能力^[30]。这充分展示了天然抑菌剂作为食品工业防腐剂的潜力,特别是在肉类保鲜领域,因此,制备的智能抑菌包装垫可有效提高抗菌活性,并对羊肉货架期产生影响。

2.9 挥发性盐基氮含量

TVB-N 值是评估肉类腐败最为广泛的指标之一,在贮藏过程中细菌与肉中的酶相互作用,导致蛋白质和非蛋白质含氮化合物的分解,产生一些挥发性生物胺,如氨、三甲胺、二甲胺等,这些都是导致肉品腐败变质的物质^[31]。TVB-N 在空白组和实验组中均呈上升趋势,见图 10。在整个时间段来看,智能抑菌

包装垫组的 TVB-N 值始终低于空白组,表明茶多酚有明显的抑菌效果,可有效地抑制细菌的生长,从而减小蛋白质的分解速度。根据 GB 5009.228—2016,TVB-N 值高于 200 mg/kg 表示肉品已经腐败。就 TVB-N 单一指标来看,空白组中的冷鲜羊肉货架期仅为 6 d,而智能抑菌包装垫组可达 9 d。智能抑菌包装垫的使用可将托盘包装的冷鲜羊肉货架期延长 50%。

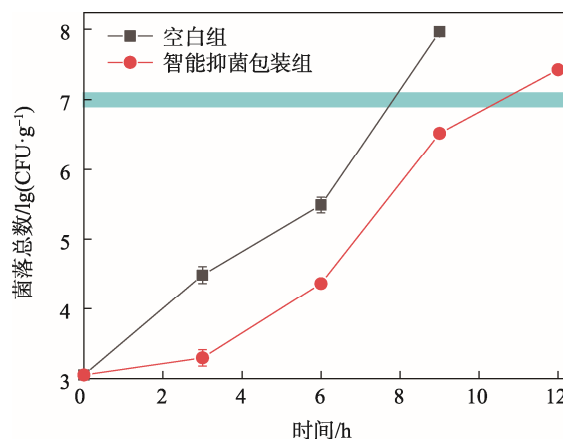


图 9 在 0~4 °C 下纤维垫对冷鲜羊肉菌落总数的影响
Fig.9 Effect of fiber mat on the total colony number of chilled fresh mutton at 0-4 °C

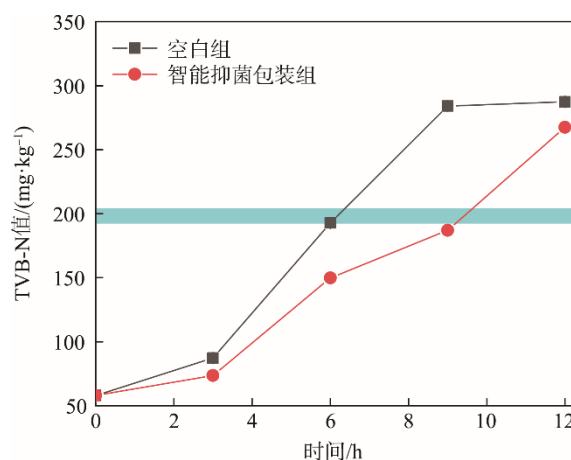


图 10 在 0~4 °C 下纤维垫对冷鲜羊肉 TVBN 的影响
Fig.10 Effect of fiber mat on TVBN of chilled fresh mutton at 0-4 °C

3 结语

通过静电纺丝技术制备了一种智能抑菌包装垫,该纤维垫具有明显的微纳米纤维结构和高比表面积。该纤维垫能够负载天然抑菌剂茶多酚作为抑菌材料,针对冷鲜羊肉品质呈现出 pH 敏感性,实现了可控释放。该智能抑菌包装垫能够针对冷鲜羊肉贮存期间 pH 始终处于大于 5.5 状态,实现智能抑菌,能够将托盘包装下的冷鲜羊肉货架期由原来的 6 d 提高到 9 d,有效延长了货架期,为内蒙古地区羊肉加工业向

远方市场提供优质和新鲜的羊肉提供了技术保障。

参考文献:

- [1] 李文博, 罗玉龙, 刘畅, 等. 饲养方式对苏尼特羊肉挥发性风味成分和脂肪酸组成的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(24): 1—10.
LI Wen-bo, LUO Yu-long, LIU Chang, et al. Effects of Feeding Patterns on Volatile Flavor Components and Fatty Acid Composition of Sunit Sheep[J]. Food Science, 2019, 40(24): 1—10.
- [2] 李侠, 李银, 张春晖, 等. 高氧气调包装对不同品种冷却猪肉贮藏品质及持水性的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 236—243.
LI Xia, LI Yin, ZHANG Chun-hui, et al. Influence of High Oxygen Modified Atmosphere Packaging on Different Breeds of Chilled Pork Meat Quality and Water Holding Capacity During Storage[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(2): 236—243.
- [3] KIM J, SONG K B. Effect of Vacuum Packaging on the Microbiological Profile of Chilled Chicken during Storage[J]. Journal of Applied Biological Chemistry, 2004, 47(1): 35—37.
- [4] PRABUH R, DEVARAJU A. Developing an Antimicrobial Packaging to Improve the Shelf Life of Meat Using Silver Zeolite Coating on BOPP Film[J]. Materials Today-Proceedings, 2018, 5(62): 14553—14559.
- [5] 高欣. 气调包装对冷鲜禽肉感官特性和保质期的影响[J]. 包装工程, 2014, 35(9): 36—40.
GAO Xin. Influence of Modified Atmosphere Packaging on the Sensory Characteristics and the Shelf Life of Cold Fresh Poultry Meat[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(9): 36—40.
- [6] SEKAR A, DUSHYANTHAN K, RADHAKISHNAN K T, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Structural and Physical Changes in Buffalo Meat[J]. Meat Science, 2006, 72(2): 211—215.
- [7] 胡云峰, 王雅迪, 王奎超. 指示吸水垫托盘包装冷鲜猪肉的品质变化动力学模型及其货架期预测[J]. 食品工业科技, 2019, 40(9): 275—280.
HU Yun-feng, WANG Ya-di, WANG Kui-chao. Dynamic Model of Quality Change and Shelf-life Prediction of Cold Fresh Meat Packaged with Indicator Water Absorbing Pad[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(9): 275—280.
- [8] 雒洁, 郭彦峰, 王家民. 托盘包装的现状与发展趋势[J]. 包装工程, 2005, 26(4): 99—100.
LUO Jie, GUO Yan-feng, WANG Jia-min. The Current State and Development Trend of Pallet Package[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(4): 99—100.
- [9] HAAN D, STECKL A J. Selective pH-Responsive Core Sheath Nanofiber Membranes for Chem/Bio/Med Applications: Targeted Delivery of Functional Molecules[J]. Applied Materials & Interfaces, 2017, 9(49): 42653—42660.
- [10] ARAUJO F A, KELMANN R G, ARAUJO B V, et al. Development and Characterization of Parenteral Nanoemulsions Containing Thalidomide[J]. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 2011, 42(3): 238—245.
- [11] KOVACEVIC D, MASTANJEVIC K. Cryoprotective Effect of Trehalose on Washed Chicken Meat[J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2014, 51(5): 1006—1010.
- [12] ZHONG R Z, LI H Y, FANG Y, et al. Effects of Dietary Supplementation with Green Tea Polyphenols on Digestion and Meat Quality in Lambs Infected with Haemonchus Contortus[J]. Meat Science, 2015, 105: 1—7.
- [13] HOQUE M S, BENJAKUL S, PRODPRAN T. Effect of Heat Treatment of Film-forming Solution on the Properties of Film from Cuttlefish (*Sepia pharaonis*) Skin Gelatin[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(1): 66—73.
- [14] HAO S, WANG B, WANG Y, et al. Preparation of Eudragit L 100-55 Enteric Nanoparticles by a Novel Emulsion Diffusion Method[J]. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 2013, 108: 127—133.
- [15] WANG L, DONG Y, MEN H, et al. Preparation and Characterization of Active Films Based on Chitosan Incorporated Tea Polyphenols[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 32(1): 35—41.
- [16] RISTIC M. Sensory Evaluation as a Criterion for Meat Quality a Comparison of Different Meats[J]. Fleischwirtschaft, 2010, 90(2): 99—103.
- [17] DAMAZIAK K, STELMASIAK A, RIEDEL J, et al. Sensory Evaluation of Poultry Meat: A Comparative Survey of Results from Normal Sighted and Blind People[J]. Plos One, 2019, 14: e02107221.
- [18] 曾丽萍, 孟金明, 徐世娟, 等. 聚乳酸纳米抗菌复合膜对冷却猪肉保鲜效果的研究[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 96—101.
ZENG Li-ping, MENG Jin-ming, XU Shi-juan, et al. Comparative Effects of Polylactic Acid Antibacterial Nanocomposite Film Packaging on Chilled Pork during Storage[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 96—101.
- [19] 陈韬, 周光宏, 徐幸莲. 磷脂酶活性对冷却肉持水性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2006(4): 153—156.
CHEN Tao, ZHOU Guang-hong, XU Xing-lian. Effect of Phospholipase Activity on Water Holding Capacity of Chilled Meat[J]. Food and Fermentation Industries, 2006(4): 153—156.
- [20] MITSUMOTO M, AMOLD R N, SCHAEFER D M, et al. Dietary Vitamin E Supplementation Shifted Weight Loss From Drip to Cooking Loss in Fresh Beef Longissimus During Display[J]. Journal of Animal

- Science, 1995, 73(8): 2289—2294.
- [21] LEE M A, CHOI J H, CHOI Y S, et al. The Antioxidative Properties of Mustard Leaf (*Brassica juncea*) Kimchi Extracts on Refrigerated Raw Ground Pork Meat Against Lipid Oxidation[J]. *Meat Science*, 2010, 84(3): 498—504.
- [22] WANG S, KUANG X, LI B, et al. Physical Properties and Antimicrobial Activity of Chilled Meat Pads Containing Sodium Carboxymethyl Cellulose[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, 127(1): 612—619.
- [23] KUMAR D, TANWAAR V K. Effects of Incorporation of Ground Mustard on Quality Attributes of Chicken Nuggets[J]. *Journal of Food Science and Technology-mysore*, 2011, 48(6): 759—762.
- [24] PAPASTERGIADIS A, MUBIRU E, VAN LANGENHOVE H, et al. Malondialdehyde Measurement in Oxidized Foods: Evaluation of the Spectrophotometric Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) Test in Various Foods[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(38): 9589—9594.
- [25] WOOD J D, EESER M, FISHER A V, et al. Fat Deposition, Fatty Acid Composition and Meat Quality: A Review[J]. *Meat Science*, 2008, 78(4): 343—358.
- [26] AUGUSTIN K, BLANK R, BOESCH-SAADATMAND C, et al. Dietary Green Tea Polyphenols do not Affect Vitamin E Status, Antioxidant Capacity and Meat Quality of Growing Pigs[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2008, 92(6): 705—711.
- [27] LI T, HU W, LI J, et al. Coating Effects of Tea Polyphenol and Rosemary Extract Combined with Chitosan on the Storage Quality of Large Yellow Croaker (*Pseudosciaena Crocea*)[J]. *Food Control*, 2012, 25(1): 101—106.
- [28] HORBANCZUK O K, WIERZBICKA A. Effects of Packaging Methods on Shelf Life of Ratite Meats[J]. *Journal of Veterinary Research*, 2017, 61(3): 279—285.
- [29] VALENCIA I, O'GRADY M N, ANSORENA D, et al. Enhancement of the Nutritional Status and Quality of Fresh Pork Sausages Following the Addition of Linseed Oil, Fish Oil and Natural Antioxidants[J]. *Meat Science*, 2008, 80(4): 1046—1054.
- [30] ZHOU Y, XU T, ZHANG Y, et al. Effect of Tea Polyphenols on Curdlan/Chitosan Blending Film Properties and Its Application to Chilled Meat Preservation[J]. *Coatings*, 2019, 9(4): 262.
- [31] JIA R, TIAN W, BAI H, et al. Amine-responsive Cellulose-based Ratiometric Fluorescent Materials For Real-time and Visual Detection of Shrimp and Crab Freshness[J]. *Nature Communications*, 2019, 10(1): 158—162.