

物流保鲜

聚乳酸纳米抗菌复合膜对冷却猪肉保鲜效果的研究

曾丽萍, 孟金明, 徐世娟, 杨原丞, 樊爱萍
(红河学院, 蒙自 661199)

摘要: **目的** 研究添加无机纳米 TiO_2 和无机纳米 TiO_2+Ag 的聚乳酸膜对冷却肉保鲜效果的影响。**方法** 采用溶剂浇注法, 以聚乳酸 (PLA) 为成膜基质, 添加质量分数为 9% 的柠檬精油 (LEO) 作为增塑剂和纳米粒子, 制备 PLA 膜、PLA/LEO 膜、PLA/LEO/ TiO_2 膜、PLA/LEO/ TiO_2+Ag 膜, 用来包装冷却肉, 以 LDPE 膜包装作为对照组, 在冷藏温度 (4 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 下测定其理化指标的变化规律。**结果** 采用聚乳酸纳米抗菌复合膜保鲜冷却肉的效果均显著大于 LDPE 膜、PLA 膜、PLA/LEO 膜 ($P<0.05$)。聚乳酸纳米抗菌复合膜能够有效地抑制冷却肉表面微生物的生长繁殖, 延缓蛋白质和脂肪的氧化, 延长冷却肉货架期。**结论** 聚乳酸纳米抗菌复合膜可以保证冷却肉的品质, 以及延长货架期, 且 PLA/LEO/ TiO_2+Ag 膜包装冷却肉的保鲜效果最佳。

关键词: 聚乳酸; 抗菌包装; 冷却肉; 保鲜; 复合膜

中图分类号: TS206.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)21-0096-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.21.018

Comparative Effects of Polylactic Acid Antibacterial Nanocomposite Film Packaging on Chilled Pork during Storage

ZENG Li-ping, MENG Jin-ming, XU Shi-juan, YANG Yuan-cheng, FAN Ai-ping
(Honghe University, Mengzi 661199)

ABSTRACT: The aim of this work is to study preservative effects of different polylactic acid antibacterial nanocomposite film on chilled pork. The solvent casting method was used. 9% lemon essential oil as plasticizer and inorganic nanoparticles were added in polylactic acid to prepare PLA film, PLA/LEO film, PLA/LEO/ TiO_2 film and PLA/LEO/ TiO_2+Ag film to pack chilled pork. LDPE film packaging as the comparison, physical and chemical indexes of chilled pork packaged by those film under (4 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ storage were analyzed. Results demonstrated that the preservative effect of polylactic acid antibacterial nanocomposite film is obviously higher than LDPE film, PLA film and PLA/LEO film ($P<0.05$). Polylactic acid antibacterial nanocomposite film can inhibit bacterial growth on the surface of chilled pork, delay oxidation of protein and lipids and help to extend shelf-life of chilled pork. In a summary, polylactic acid antibacterial nanocomposite film can ensure the quality and extend shelf-life of chilled pork, among which PLA/LEO/ TiO_2+Ag had the best performance on chilled pork packaging.

KEY WORDS: polylactic acid; antiseptic packaging; chilled pork; preservation; composite film

冷却肉以肉质鲜嫩、营养丰富及安全性高等优点正在逐渐取代传统的冷冻肉和热鲜肉, 成为生鲜猪肉消费的主流趋势^[1]。由于我国绝大多数冷却肉都以裸露形式贮藏、运输和销售, 极易受到微生物、化学和物理等诸多因素的影响, 容易发生腐败变质,

从而大大降低其商业价值^[2], 因此, 如何保证冷却肉品质的同时延长其贮藏期对加快冷却肉发展至关重要。目前对冷却肉的保鲜技术研究主要以抑制微生物的生长为主, 如超高压保鲜技术^[3]、真空包装^[4]、气调包装^[5]、抗菌包装^[6]等。

收稿日期: 2018-04-13

基金项目: 云南省科技计划 (2017FH001-039, 2018FD088)

作者简介: 曾丽萍 (1990—), 女, 红河学院助教, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

通信作者: 樊爱萍 (1977—), 女, 红河学院讲师, 主要研究方向为农产品加工与贮藏。

近年来,先进的可降解复合材料和纳米材料在食品包装领域备受关注。其中,抗菌包装薄膜就是在高聚物的包装材料中混入一种或几种抗菌剂,使其具有抗菌性,从而达到延长生鲜食品货架期的目的^[7]。聚乳酸是一种以植物资源为原料合成的生物高分子材料,具有良好的加工性、安全性、生物相容性及生物降解性,已被美国食品和药品管理局(FDA)批准为可用于食品包装的原材料^[8-10]。由于 PLA 薄膜具有脆性较大、撕裂强度较低等缺点,因而限制了其的应用。为了进一步提高材料的包装功效,大量研究工作通过共混、共聚、增塑、复合等方法改善 PLA 薄膜的综合性能^[11-12]。近年,在纳米技术的深入研究与发展下,纳米复合膜具有了良好的抑菌性、阻隔性和力学性能,在食物包装领域取得了广阔的前景^[13-14]。

通过前期的预实验,添加质量分数为 9% 的 LEO 可以明显提高 PLA 薄膜的力学性能。该实验以 LDPE 膜为对照,将 PLA 膜、PLA/LEO 膜、PLA/LEO/TiO₂ 膜、PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜制成包装袋,用于(4±1)℃ 环境下冷却肉的保鲜,并采用菌落总数、挥发性盐基氮(TVB-N)值、硫代巴比妥酸(TBARS)值、色差等指标来评价聚乳酸纳米抗菌薄膜的保鲜效果。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:PLA 颗粒($M_w = 280$ kDa, $M_w/M_n = 1.98$),购自美国奈琪沃克公司;LEO,购自北京茂思商贸有限公司;纳米 TiO₂,购自上海市江蓝纯公司;纳米 Ag,购自上海市江蓝纯公司;低密度聚乙烯薄膜袋(LDPE),购自常州市迪瑞尔包装材料有限公司;新鲜的猪里脊肉,购自蒙自市观音桥农贸市场;二氯甲烷、三氯乙酸、硼酸、氯仿、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,购自国药集团化学试剂有限公司。

主要仪器:RW20 digital 型数显机械搅拌器,德国 AKI 公司;HWS26 型电热恒温水浴锅,上海一恒科技有限公司;LDZX-50KBS 型立式压力蒸汽灭菌器,上海申安医疗器械厂;SW-CJ-1F 型洁净工作台,苏州安泰空气技术有限公司;FR-770 型多功能自动塑料薄膜封口机,温州市凯驰包装机械有限公司;WSC-S 测色色差计,上海精密仪器仪表有限公司;TU-1901/1900 型双光束紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司。

1.2 方法

1.2.1 复合膜的制备

参照文献[15—16],采用溶剂浇注法制备复合

膜。制膜之前,将 PLA 颗粒于 60℃ 下真空干燥 24 h 后备用。称取 4 g PLA 颗粒和质量分数为 9% 的 LEO,加入 80 mL 二氯甲烷后并用保鲜膜封口搅拌 8 h 至完全溶解,将质量分数为 3% 的纳米颗粒混合于 PLA/LEO 二氯甲烷混合溶液中,静置至无气泡,在室温条件下将混合溶液倒入聚四氟乙烯板中(200 mm×200 mm)真空干燥,脱膜备用。将 PLA 与质量分数为 9% 的 LEO 混合的膜命名为 PLA/LEO 膜,将 PLA、质量分数为 9% 的 LEO、质量分数为 3% 的纳米 TiO₂ 混合的膜命名为 PLA/LEO/TiO₂ 膜,将 PLA、质量分数为 9% 的 LEO、质量分数为 2% 的纳米 TiO₂ 和质量分数为 1% 的纳米 Ag 混合的膜命名为 PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜。

1.2.2 肉类样品的预处理

将新鲜的猪里脊肉用无菌去离子水洗净后,在超净工作台中去除脂肪和筋腱,分割成质量约为 30 g 试样,随机分成 5 组,并称取 100 g 左右的试样分别用 LDPE 膜、PLA 膜、PLA/LEO 膜、PLA/LEO/TiO₂ 膜、PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜制成的包装袋进行包装,置于(4±1)℃ 冰箱中贮藏,每隔 2 d 分别对样品的相应指标进行测定。

1.2.3 指标的测定

1) 复合膜力学性能的测定^[17]。将薄膜裁成 15 mm×150 mm 大小,测定其厚度,固定薄膜之间的夹距,以 50 mm/min 的速度平行 6 次试验,取平均值。

2) 复合膜抑菌活性的测定。采用平板计数法^[18],将含有菌种的液体培养基在 37℃ 培养 24 h,取 10 mL 菌悬液于离心管中,以 4000 r/min 离心 5 min,弃其上清液,用无菌生理盐水调节初始菌悬液浓度为 10⁶~10⁸ CFU/mL(即 OD₆₀₀ 值为 0.5)。取 2 g 剪碎的膜样品加入 20 mL 菌悬液,以未加膜的菌悬液作为对照。37℃ 恒温培养 12 h,然后取 1 mL 菌悬液,用无菌生理盐水逐级稀释至 10⁻⁶ 倍。分别取适当稀释倍数的菌悬液 0.1 mL 均匀涂布于 PDA 平板上,37℃ 培养 24 h。选取菌落数在 30~300 CFU 的平板计数,抑菌率计算公式如下:

$$I = (N_1 - N_2) / N_1$$

式中: I 为抑菌率(%); N_1 为对照的菌落数; N_2 为含膜样品的菌落数。

3) 菌落总数的测定。菌落总数参照 GB 4789.2—2016《食品安全国家标准食品微生物检验菌落总数测定》的方法进行测定。评价标准:一级鲜肉,菌落总数<4 lg(CFU/g);二级鲜肉,菌落总数为 4~6 lg(CFU/g);变质肉,菌落总数>6 lg(CFU/g)。

4) TVB-N 值测定。TVB-N 值参照 GB5009.228—2016《食品安全国家标准食品中挥发性盐基氮的测定》中半微量定氮法进行测定。评价标准:一级鲜肉,

TVB-N 值 < 15 mg/100 g; 二级鲜肉, TVB-N 值为 15~20 mg/100 g; 变质肉, TVB-N 值 > 20 mg/100 g。

5) TBARS 值的测定。根据 Nam 等人^[19]的方法略作修改, 准确称取 10.00 g 绞碎后的肉样, 加入 50 mL 质量分数 7.5% 的三氯乙酸 (含质量分数 0.1% EDTA), 振荡 30 min, 过滤 2 次。移取 5 mL 上清液, 加入 5 mL, 0.02 mol/L 2-硫代巴比妥酸溶液, 沸水浴中保持 40 min 后冷却, 以转速 2000 r/min 离心 5 min, 取出上清液, 加入 5 mL 氯仿摇匀, 静置待其分层后取上清液, 分别在 600 nm 和 532 nm 处测定吸光度, TBARS 值计算公式如下: TBARS 值 (mg/100 g) = $(A_{532} - A_{600}) / 155 \times 726$ 。

6) 汁液流失率的测定。参照文献[20], 采用直接称量法测定。

7) 色差的测定。根据赵菲等人^[21]的方法略作修改, 使用 WSC-S 色差计进行测定, 色差计以标准白板 X=81.570, Y=85.995, Z=91.723 进行校正, 测定肉样的 L*值和 a*值。L*值表示肉样的亮度值, a*值表示肉样的红度值。用滤纸吸干试样表面的水分后放在光源下, 在不同部位测 5 次, 最后取平均值。

1.3 数据分析

采用 Origin8.5 软件进行数据的初步处理及作图, 用 SPSS Statistics 19.0 软件进行显著性分析, 认为 $P < 0.05$ 时差异显著, 实验结果用均值±标准差 ($\bar{x} \pm n, n=3$) 表示。

2 结果与分析

2.1 复合膜的力学性能

为保证食品的完整性和质量安全, 在食品运输过程中, 食品包装应该具有一定的机械强度和延展性。聚乳酸纳米抗菌复合膜的力学性能见表 1。添加 LEO 显著降低了 PLA 的抗拉强度, 由 61.80 MPa 减小到 37.99 MPa。此外, 断裂伸长率也得到明显增加, 由 4.86% 增加至 48.05%。在 PLA/LEO 膜中添加纳米 TiO_2 , 其抗拉强度增加不显著, 而断裂伸长率显著下降, 与纯 PLA 膜相差无异。在 PLA/LEO 膜中添加 $\text{TiO}_2 + \text{Ag}$, 其抗拉强度得到显著增加, 且断裂伸长率

表 1 聚乳酸纳米抗菌复合膜的力学性能

Tab.1 Mechanical properties of polylactic acid antibacterial nanocomposite film

膜种类	抗拉强度/MPa	断裂伸长率/%
PLA	61.80±3.80 ^c	4.86±0.72 ^a
PLA/LEO	37.99±4.55 ^a	48.05±1.48 ^c
PLA/LEO/ TiO_2	38.57±0.15 ^a	5.43±0.71 ^a
PLA/LEO/ $\text{TiO}_2 + \text{Ag}$	46.06±2.09 ^b	15.81±1.14 ^b

注: 同列小写字母的不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

长率明显高于纯 PLA。结果表明, 纯 PLA 膜的脆性较大, 柠檬精油的加入可以软化复合膜的刚性结构, 从而改善复合膜的力学性能。

2.2 复合膜的抑菌活性

聚乳酸纳米抗菌复合膜的抑菌活性见表 2。纯 PLA 膜对供试细菌 (大肠杆菌、金黄色葡萄球菌) 均无抑制作用, 添加柠檬精油后的 PLA 共混膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌均有抑制作用。这可能是因为 LEO 中含萜烯类、醇类、酚类、醛类等物质, 能有效抑制细菌的生长^[22]。添加无机纳米 TiO_2 的 PLA/LEO 共混膜对于供试细菌的抑菌率显著高于 PLA/LEO 共混膜。其中, 添加无机纳米 $\text{TiO}_2 + \text{Ag}$ 的 PLA/LEO 共混膜对大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的抑菌率均在 99% 以上, 纳米 TiO_2 具有光催化杀菌效果, 纳米 Ag 本身具有很好的抑菌效果, 二者的结合对供试细菌抑菌效果达到最大。

表 2 聚乳酸纳米抗菌复合膜的抑菌活性

Tab.2 Antibacterial activity of polylactic acid antibacterial nanocomposite film

膜种类	抑菌率/%	
	大肠杆菌	金黄色葡萄球菌
PLA	—	—
PLA/LEO	38.27±2.34 ^a	67.67±2.65 ^a
PLA/LEO/ TiO_2	77.78±4.11 ^b	86.35±5.63 ^b
PLA/LEO/ $\text{TiO}_2 + \text{Ag}$	99.20±3.56 ^c	99.92±3.14 ^c

注: 同列小写字母的不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 冷却肉在贮藏期间菌落总数的变化

所有包装组的菌落总数随着贮藏时间的延长呈上升趋势, 见图 1。贮藏第 4 d 时, PLA/LEO 膜的菌落总数低于没有添加抑菌成分的 PLA 膜和 LDPE 膜 ($P < 0.05$)。这主要是因为 LEO 中含有萜烯类、醇

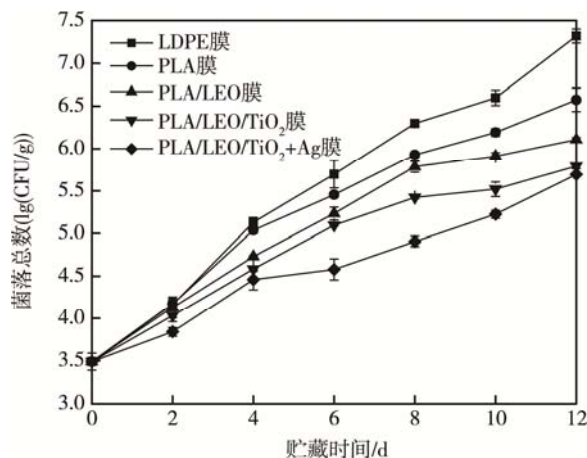


图 1 贮藏期间不同包装膜对冷却肉菌落总数的影响
Fig.1 Effect of different packaging films on aerobic bacterial count of chilled pork during the storage

类、酚类、醛类等抑菌成分^[23]。贮藏至 12 d 时, LDPE 膜、PLA 膜、PLA/LEO 膜中冷却肉菌落总数在贮藏期内已超过了 6.0 lg (CFU/g), 而 PLA/LEO/TiO₂ 膜、PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜均未超过 6.0 lg (CFU/g)。且同期相比, PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜包装冷却肉的菌落总数明显低于其他包装膜的菌落总数 ($P < 0.05$)。结果表明, LEO、TiO₂ 及 TiO₂+Ag 的加入能有效抑制冷却肉表面的微生物生长和繁殖, 且 LEO 与 TiO₂+Ag 复合效果最好。

2.4 冷却肉在贮藏期间 TVB-N 值的变化

挥发性盐基氮是肉样在贮藏过程中由于酶和细菌的作用, 使其蛋白质发生分解, 并产生氨以及胺类等碱性含氮化合物, 其含量与肉的腐败进程呈正相关^[22]。所有包装中冷却肉的 TVB-N 值在贮藏期内均为明显的递增趋势, 见图 2。贮藏末期, LDPE 膜、PLA 膜、PLA/LEO 膜中的肉样已达到变质肉的标准 (TVB-N 值 > 20 mg/100 g), 感官上有明显的腐败味, 而 PLA/LEO/TiO₂ 膜、PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜中的肉样则在二级鲜肉范畴, 没有明显的腥臭味, 且在同一贮藏期内, PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜抑制蛋白氧化的效果最好。结果表明, 聚乳酸纳米抗菌膜可以减缓 TVB-N 的生成速度, 减缓蛋白的氧化速度。

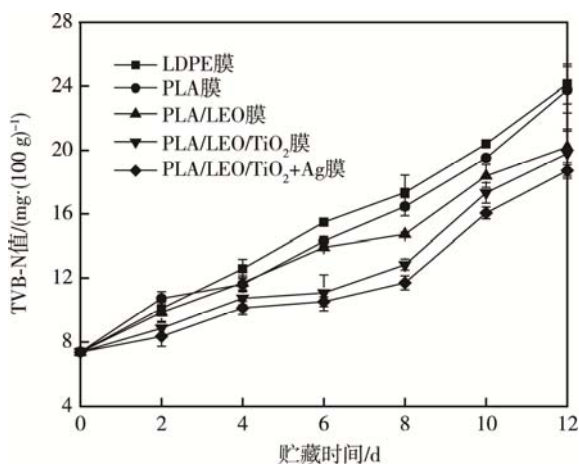


图 2 贮藏期间不同包装膜对冷却肉 TVB-N 值的影响
Fig.2 Effect of different packaging films on TVB-N Value of chilled pork during the storage

2.5 冷却肉在贮藏期间 TBARS 值的变化

在冷藏条件下, 氧化酸败不是肉质腐败的主要原因, 但脂肪氧化程度过高会使肉制品产生令人不愉快的气味, 从而影响肉品的感官性状和营养价值, 因此, TBARS 值可作为评价冷却肉鲜度的重要参考指标^[24]。在贮藏期间, 所有肉样的 TBARS 值均随着时间的延长而增加, 见图 3。对照组 LDPE 膜的 TBARS 值增加速度比其他组快, 差异显著 ($P < 0.05$)。结果表明, 添加 LEO、TiO₂ 及 TiO₂+Ag 对脂肪氧化具有一定的抑制效果, 且同一贮藏期内, PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜

中样品的 TBARS 值最低。在贮藏过程中, 微生物生长过程中会产生许多氧化酶作用于脂肪, 因而会造成脂肪的氧化, 而 LEO, TiO₂, TiO₂+Ag 对于微生物的生长繁殖具有一定抑制作用, 可以降低微生物对脂质氧化的作用。

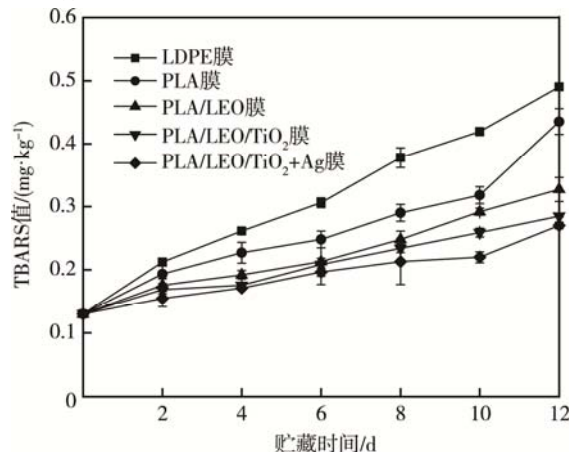


图 3 贮藏期间不同包装膜对冷却肉 TBARS 值的影响
Fig.3 Effect of different packaging films on TBARS Value of chilled pork during the storage

2.6 冷却肉在贮藏期间汁液流失率的变化

在冷藏条件下, 不同包装膜中肉样的汁液流失率都呈逐渐上升趋势, 见图 4。在整个冷藏过程中, LDPE 膜与 PLA 膜的汁液的流失率无显著差异 ($P > 0.05$), 而 PLA/LEO 膜、PLA/LEO/TiO₂ 膜、PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜的汁液流失率明显低于对照组 LDPE 膜 ($P < 0.05$), 其中 PLA/LEO/TiO₂+Ag 膜的汁液流失率最低。结果表明, 在贮藏过程中样品汁液流失率的变化与使用的薄膜的抑菌性能相关, 微生物繁殖会破坏肉样组织和细胞的通透性, 从而导致肉样汁液流失率的增加。

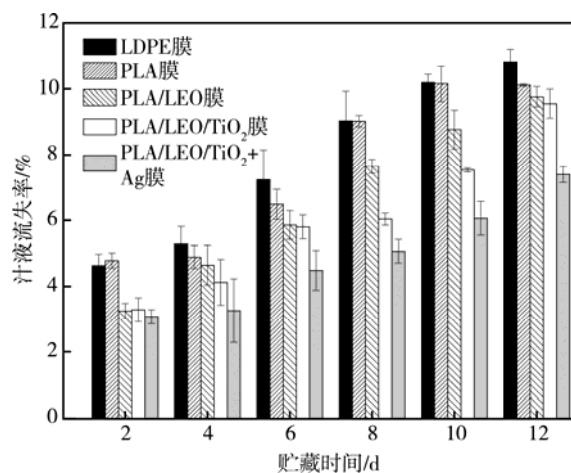


图 4 贮藏期间不同包装膜对冷却肉汁液流失率的影响
Fig.4 Effect of different packaging films on the dripping loss of chilled pork during the storage

2.7 冷却肉在贮藏期间色差值的变化

肉品颜色是感官评价的重要指标, 也是影响消

费者购买欲的主要因素之一。在冷藏条件下,随着贮藏时间的延长,冷却肉的 L^* 值和 a^* 值均呈现下降的趋势,见表3。同一贮藏期内,PLA/LEO/TiO₂膜、PLA/LEO/TiO₂+Ag膜的 L^* 值明显高于LDPE膜与PLA膜 ($P<0.05$),这可能与包装材料的阻隔性有

关。同一贮藏期内,LDPE膜、PLA膜、PLA/LEO膜中肉品的 a^* 值两两之间差异不显著,但PLA/LEO/TiO₂膜、PLA/LEO/TiO₂+Ag膜的 a^* 值明显高于其他3组,这说明聚乳酸纳米抗菌复合膜可以保持肉品的颜色。

表3 贮藏期间不同包装膜对冷却肉色差值的影响
Tab.3 Effect of different packaging films on chromatic aberration of chilled pork during the storage

指标	贮藏时间/d	LDPE膜	PLA膜	PLA/LEO膜	PLA/LEO/TiO ₂ 膜	PLA/LEO/TiO ₂ +Ag膜
L^* 值	2	50.45±1.62 ^a	52.16±0.11 ^b	53.10±0.17 ^{bc}	52.88±0.07 ^{bc}	54.09±0.45 ^c
	4	49.05±0.70 ^a	50.89±0.36 ^b	50.42±1.17 ^b	52.22±0.50 ^c	52.51±0.32 ^c
	6	46.19±0.38 ^a	49.50±1.41 ^b	51.87±0.40 ^c	52.37±0.48 ^{cd}	53.05±0.36 ^d
	8	45.54±0.87 ^a	49.45±1.70 ^b	51.26±1.25 ^{bc}	51.11±0.77 ^{bc}	51.89±0.71 ^d
	10	43.03±0.41 ^a	48.04±0.76 ^b	49.10±0.86 ^{bc}	50.10±1.64 ^{cd}	51.58±0.16 ^d
	12	42.27±0.89 ^a	45.86±0.74 ^b	48.08±0.11 ^c	50.88±1.04 ^d	51.36±0.38 ^d
a^* 值	2	10.91±0.23 ^{ab}	10.54±0.20 ^a	10.64±0.71 ^a	11.34±0.11 ^b	12.50±0.23 ^c
	4	9.76±0.19 ^a	9.83±0.94 ^a	10.12±0.11 ^a	10.57±0.49 ^a	11.63±0.29 ^b
	6	9.20±0.10 ^{ab}	8.92±0.56 ^{ab}	8.58±0.33 ^a	8.84±0.56 ^{ab}	9.51±0.05 ^b
	8	6.48±0.23 ^a	6.62±0.10 ^a	7.30±0.11 ^b	8.69±0.70 ^c	8.80±0.16 ^c
	10	7.00±0.60 ^a	7.54±0.44 ^{ab}	7.48±0.19 ^{ab}	8.14±0.58 ^{bc}	8.94±0.21 ^c
	12	5.95±0.33 ^a	6.83±0.35 ^b	6.99±0.44 ^{bc}	6.23±0.61 ^{ab}	7.69±0.43 ^c

注:同行小写字母的不同表示差异显著 ($P<0.05$)

3 结语

在微生物、理化反应的共同作用下,冷却肉保质期一般仅有5d左右,其中微生物的大量繁殖是影响冷却肉品质最主要的因素,因此研究具有一定抑菌性的包装膜对保证冷却肉品质的同时延长其贮藏期起着重要作用^[25]。文中实验以LDPE膜为对照,研究不同聚乳酸纳米抗菌膜对冷却肉的保鲜效果,结果表明,聚乳酸纳米抗菌膜可以有效抑制微生物生长繁殖、蛋白及脂肪氧化,保持冷却肉的感官品质及商品价值,延长冷却猪肉保质期达12d以上。由此可见,采用聚乳酸纳米抗菌膜对冷却猪肉保鲜具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 路立立, 胡宏海, 张春江, 等. 真空收缩包装对冷却肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(6): 145—152.
LU Li-li, HU Hong-hai, ZHANG Chun-jiang, et al. The Effect of Vacuum Shrink Packaging on Quality of Chilled Pork Meat[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(6): 145—152.
- [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]. Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(2): 236—243.
- [3] 王玮, 葛毅强, 王永涛, 等. 超高压处理保持猪背最长肌冷藏期间肉色稳定性[J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 248—253.
WANG Wei, GE Yi-qiang, WANG Yong-tao, et al. High Pressure Treatment to Maintain Color Stability of Porcine m Longissimus Dorsimuscle during Refrigeration Storage[J]. Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10): 248—253.
- [4] MAQSOOD S, HADDAD N A A, MUDGIL P. Vacuum Packaging as an Effective Strategy to Retard off-odour Development, Microbial Spoilage, Protein Degradation and Retain Sensory Quality of Camel Meat[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 72: 55—62.
- [5] HOLL L, BEHR J, VOGEL R F. Identification and Growth Dynamics of Meat Spoilage Microorganisms in Modified Atmosphere Packaged Poultry Meat by MALDI-TOF MS[J]. Food Microbiology, 2016, 60: 84—91.
- [6] MCMILLIN K W. Advancements in Meat Packaging[J]. Meat Science, 2017, 132: 153.
- [7] 户帅锋, 于洁, 赵碧洁, 等. 负载山梨酸的壳聚糖微囊-EVOH 抗菌薄膜对黑鱼鱼肉保鲜的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 237—243.
HU Shuai-feng, YU Jie, ZHAO Bi-jie, et al. Effect of

- Antimicrobial Ethylene-vinyl Alcohol (EVOH) Copolymer Film Based on Sorbic Acid-loaded Chitosan Microcapsules on the Preservation of Snakehead[J]. Food Science, 2017, 38(15): 237—243.
- [8] AN K J, LIU H Y, GUO S D, et al. Preparation of Fish Gelatin and Fish Gelatin/Poly(L-Lactide) Nanofibers by Electrospinning[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2010, 47(3): 380—388.
- [9] DONG W, ZOU B, YAN Y, et al. Effect of Chain- Extenders on the Properties and Hydrolytic Degradation Behavior of the Poly(Lactide)/Poly (Butylene Adipate-co-terephthalate) Blends[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2013, 14(10): 20189—20203.
- [10] QIN Y, LI W, LIU D, et al. Development of Active Packaging Film Mmade From Poly (lactic acid) Incorporated Essential Oil[J]. Progress in Organic Coatings, 2016, 103: 76—82.
- [11] TEIXEIRA B, MARQUES A, PIRES C, et al. Characterization of Fish Protein Films Incorporated with Essential Oils of Clove, Garlic and Origanum: Physical, Antioxidant and Antibacterial Properties[J]. LWT-food Science and Technology, 2014, 59(1): 533—539.
- [12] RHIM J W, PARK H M, HA C S. Bio-nanocomposites for Food Packaging Applications[J]. Progress in Polymer Science, 2013, 38(10/11): 1629—1652.
- [13] FORTUNATI E, RINALDI S, PELTZER M, et al. Nano-biocomposite Films with Modified Cellulose Nanocrystals and Synthesized Silver Nanoparticles[J]. Carbohydrate Polymers, 2014, 101(1): 1122—1133.
- [14] PANTANI R, GORRASI G, VIGLIOTTA G, et al. PLA-ZnO Nanocomposite Films: Water Vapor Barrier Properties and Specific End-use Characteristics Eur Polym J[J]. European Polymer Journal, 2013, 49(11): 3471—3482.
- [15] LI W, LI L, ZHANG H, et al. Evaluation of PLA Nanocomposite Films on Physicochemical and Microbiological Properties of Refrigerated Cottage Cheese [J]. Journal of Food Processing & Preservation, 2018, 42(1): 13362.
- [16] FAN J, CHU Z, LI L, et al. Physicochemical Properties and Microbial Quality of Tremella aurantialba Packed in Antimicrobial Composite Films[J]. Molecules, 2017, 22(3): 500—511.
- [17] CHU Z, ZHAO T, LI L, et al. Characterization of Antimicrobial Poly (Lactic Acid)/Nano-Composite Films with Silver and Zinc Oxide Nanoparticles[J]. Materials, 2017, 10(6): 659—672.
- [18] 王卉, 孙宏元, 何节玉, 等. 羧甲基纤维素钠纳米抗菌复合膜的制备及其性能研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(5): 277—280.
- WANG Hui, SUN Hong-yuan, HE Jie-yu, et al. Study on the Preparation and Characterization of Antibacterial Sodium Carboxymethyl Cellulose Nanocomposite Film[J]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(5): 277—280.
- [19] NAM K C, AHN D U. Use of Antioxidants to Reduce Lipid Oxidation and Off-odor Volatiles of Irradiated Pork Homogenates and Patties[J]. Meat Science, 2003, 63(1): 1—8.
- [20] 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.
- [21] 赵菲, 荆红彭, 伍新龄, 等. 不同气调包装结合冰温贮藏对羊肉保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(14): 232—237.
- ZHAO Fei, JING Hong-peng, WU Xin-ling, et al. Effect of Modified Atmosphere Packaging in Combination with Ice-temperature on Quality of Mutton during Storage[J]. Food Science, 2015, 36(14): 232—237.
- [22] 章斌, 侯小桢, 秦轶, 等. 柠檬果皮精油的化学组成、抗氧化及抑菌活性研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 126—131.
- ZHANG Bing, HOU Xiao-zhen, QIN Yi, et al. Study on Chemical Composition, Antioxidant and Antibacterial Activities of Lemon Peel Essential Oil[J]. Food Industry Science and Technology, 2015, 36(5): 126—131.
- [23] QIN Y, ZHANG Z H, LI L, et al. Antioxidant Effect of Pomegranate Rind Powder Extract, Pomegranate Juice, and Pomegranate Seed Powder Extract as Antioxidants in Raw Ground Pork Meat[J]. Food Science & Biotechnology, 2013, 22(4): 1063—1069.
- [24] 冯会利, 李巧莲, 吴习宇. 冰温结合气调贮藏对新鲜牛肉的保鲜研究[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 53—58.
- FENG Hui-li, LI Qiao-lian, WU Xi-yu. Preservation of Fresh Beef with Controlled Freezing-point and Modified Atmosphere Packaging Combination[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013, 34(15): 53—58.
- [25] 郝教敏, 杨文平, 张琪, 等. 燕麦多酚对冷却猪肉的保鲜效果[J]. 食品科学, 2016, 37(10): 278—282.
- HAO Jiao-min, YANG Wen-ping, ZHANG Qi, et al. Preservative Effects of Different Concentrations of Oat Polyphenols on Chilled Pork[J]. Food Science, 2016, 37(10): 278—282.