

迷迭香精油活性贴对鲜切猪肉保鲜效果的研究

余冬青, 赵欣欣, 程赤云, 刘秋瑶, 阎瑞香
(天津科技大学 轻工科学与工程学院, 天津 300457)

摘要: **目的** 为了提高迷迭香精油 (REO) 的稳定性, 开发出一种安全、便捷的实用型活性包装。**方法** 以迷迭香精油为活性成分, 采用三步法 (乳化、包埋、多层复合) 制备出精油缓释活性贴, 并验证其对鲜切猪肉的保鲜效果。**结果** 在 4 °C 下, 不同比例的迷迭香精油活性贴均可在一定程度上抑制鲜切猪肉的腐败变质, 最佳处理效果的体积比为 4 : 6, 贮藏至第 6 天时, 猪肉的 pH 值、挥发性盐基氮 (TVB-N) 含量、硫代巴比妥酸 (TBARS) 值较空白对照 (CK) 分别降低了 0.7 mg/g、0.073 1 mg/g、0.63 mg/kg; 延缓了猪肉色度、汁液流失率、菌落总数 (TVC)、感官品质的变化, 可延长鲜切猪肉货架期 2 d 左右。**结论** 制备的缓释型活性贴具有稳定性好、操作简单易行的优势。作为绿色、可生物降解的包装材料, 在食品保鲜领域具有潜在的应用价值。

关键词: 迷迭香精油; 活性贴; 鲜切猪肉; 氧化; 变质

中图分类号: TS206 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)11-0046-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.11.006

Preservation Effect of Rosemary Essential Oil Active Packaging on Fresh-cut Pork

YU Dong-qing, ZHAO Xin-xin, CHENG Chi-yun, LIU Qiu-yao, YAN Rui-xiang

(College of Light Industry Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

ABSTRACT: The work aims to develop a safe and convenient practical active packaging to improve the stability of rosemary essential oil. A slow-release active packaging was prepared by three-step method (emulsification, encapsulation and multi-layer composite) with rosemary essential oil as the active ingredient, and its preservative effect on fresh-cut pork was verified. At 4 °C, different proportions of rosemary essential oil active packaging could inhibit the spoilage of fresh-cut pork to a certain extent, and the proportion for the best treatment effect was 4 : 6. The pH, total volatile basic nitrogen content and thiobarbituric acid value of pork were reduced by 0.7 mg/g, 0.073 1 mg/g and 0.63 mg/kg compared with those of blank control on the 6th day of storage, respectively. The changes in pork chroma, juice loss rate, total viable count and sensory quality were also slowed down, thus extending the shelf life of fresh-cut pork by about 2 days. The prepared slow-release active packaging has the advantages of good stability and easy operation, and as a green and biodegradable packaging material, it has potential application value in the field of food preservation.

KEY WORDS: rosemary essential oil; active packaging; fresh-cut pork; oxidation; spoilage

猪肉是最常见也是人们吃得最多的肉类食品。2022 年全球猪肉产量预计达到 1.246 亿 t, 较 2021 年

增长 1.8%。然而, 鲜切猪肉在贮藏、运输及销售过程中因氧化、微生物侵染等极易发生腐败变质现象,

收稿日期: 2023-03-02

基金项目: 科技支撑重点项目 (20YFZCSN00620)

作者简介: 余冬青 (1999—), 女, 硕士生, 主要研究方向为活性包装。

通信作者: 阎瑞香 (1973—), 女, 博士, 教授, 主要研究方向为活性保鲜包装。

不仅影响了生产者的经济利益,而且严重威胁了人类的健康安全^[1]。因此,研究具有生物可降解性和抗氧化功能的食品包装,对延长鲜切猪肉贮藏期和减少环境污染具有重要意义。大量研究发现精油作为天然抗氧化剂或抗菌剂使用可保持和改善生鲜肉的整体品质^[2]。

迷迭精油 (Rosemary Essential Oil, REO) 富含萜类、黄酮和有机酸等多种活性成分,具有良好的抗氧化、抗菌作用,但因其易挥发、稳定性差等缺点限制了在食品保鲜领域的应用,如何保证其稳定性及长期的有效性是近年来的研究热点。其中,将微胶囊技术应用在天然抗氧化/抗菌剂缓释体系中,具有适用性广和缓释效果好的特点。该技术通常是以半透性的高分子材料为壁材,将一些易氧化、易挥发的物质包裹,制成微米或纳米的小粒子,得到缓释材料^[3]。到目前为止,大多数关于迷迭精油微胶囊的研究都局限于直接浸涂或将其添加到薄膜中,使薄膜含有活性成分。这种包装形式会导致活性成分释放过快,并在大面积使用时造成浪费。Elvia 等^[4]将含有墨西哥牛至精油的微胶囊作为活性涂层直接涂抹在鲜切猪肉上置于 4 °C 下贮藏后发现新鲜猪肉的脂质和氧合肌红蛋白氧化被延迟,同时可以抑制乳酸菌和假单胞菌属的生长。说明活性涂层可以延长鲜肉的保质期,保持其质量和安全。但是精油的成分复杂多样,它们不仅有多个作用靶点,而且它们的气味也会影响人体的感官体验,容易引起消费者的不良反应。Shao 等^[5]将肉桂精油微胶囊涂敷在食品用纸上,开发了一种活性包装纸,对食用菌产生了抗菌及抗氧化作用,延长了蘑菇的保质期并提高了纸张的机械强度。但活性纸在涂敷过程中容易卷曲,不易操作;纸张风干时精油也会持续挥发,造成资源浪费;并且活性纸的水蒸气透过率及透氧量都会对蘑菇腐败变质产生影响。Cai 等^[6]制备了含有百里香精油微胶囊的淀粉膜,并将其应用于芒果的保鲜实验中,发现百里香精油微胶囊的加入增加了淀粉膜的机械强度和水溶性,并表现出良好的抗菌性,抑制了芒果的质量损失并延缓了成熟度的变化。直接采用活性包装膜来封装产品影响外观,不利于直接消费者直观地观测到食品的新鲜度,并且操作不便。综合来看,直接使用精油微胶囊涂敷会对食品品质、风味造成不良影响;将精油微胶囊涂敷在纸质/塑料材料上,精油释放过快且不方便使用。因此,开发一种具有缓释效果且方便使用的可降解活性包装对鲜切肉的保鲜研究尤为重要。

本实验将迷迭精油依次乳化,包埋在玉米淀粉 (Cornstarch, CS) 和 β -环糊精 (β -Cyclodextrin, β -CD) 微胶囊中,涂布于不干胶贴上,覆盖一层聚对苯二甲酸乙二醇酯 (Positron Emission Tomography, PET) 薄膜,制备出 3 种含有不同浓度迷迭精油的活性

贴。利用傅里叶变换红外光谱 (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) 对活性贴结构进行表征,再将制备的活性贴应用于鲜切猪肉的保鲜中。研究不同浓度的活性贴在 4 °C 冷藏期间对鲜切猪肉感官品质、颜色变化、汁液流失率、pH 值、挥发性盐基氮 (Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N) 含量、硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS) 值以及菌落总数 (Total Viable Count, TVC) 的影响。同时探究相同条件下,活性贴与活性纸抗氧化效果的差异。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料:新鲜猪后腿肉,天津市滨海新区三大街菜市场; β -环糊精,山东西亚有限公司;迷迭精油 (97%),南京草本源生物科技有限公司;硼酸、氧化镁、甲基红、溴甲酚绿、2-硫代巴比妥酸,均为分析纯,罗恩试剂。

主要仪器:BLT-11 连续涂布机,天津博莱特仪器设备有限公司;K9840 自动凯氏定氮仪,天津亿诺科学仪器有限公司;Testo205 手持 pH 计,德图仪器国际贸易有限公司;RM200QC 手持式分光光度仪,美国密歇根州爱色丽公司。

1.2 方法

1.2.1 迷迭精油活性贴制备

迷迭精油活性贴按照 Shi 等^[7]描述的方法制备。在 40 °C 条件下,将植物精油与超纯水按照体积比为 2:6、3:6、4:6 进行混合,再逐步滴加吐温 80 和无水乙醇质量比为 3:1 的混合液,并使用磁力搅拌器连续搅拌直至达到澄清乳液。然后将乳液剪切,制成迷迭精油微乳液。选择 60 目到 80 目之间的玉米淀粉与 β -环糊精 (β -CD) 混合物以 2:1 的质量比混合到迷迭精油微乳液中,获得迷迭精油微胶囊 (包埋率为 69%)。最后,将迷迭精油微胶囊与聚异丁烯 (PIB) 黏合剂以 2:1 的质量比混合涂布在不干胶标签上,覆上一层电晕处理过的聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 薄膜,制成 5 cm×5 cm 的活性贴。将迷迭精油与超纯水以体积比为 2:6、3:6、4:6 制备的活性贴分别命名为 2:6 贴、3:6 贴、4:6 贴。迷迭精油活性纸 (8 cm×8 cm) 是按照 Shao 等^[5]描述的方法制备的,该活性纸命名为 4:6 纸。

1.2.2 肉样处理

将新鲜猪后腿肉在无菌操作台上去皮,装进 PET 托盘内,使每个托盘含有总质量为 80 g 且形状基本一致的肉块。

1.2.3 实验设计

将这些托盘随机分为5组：CK、2:6贴、3:6贴、4:6贴和4:6纸。撕下不干胶标签，使活性贴/纸粘贴在聚乙烯(PE)保鲜膜的内表面，然后用PE保鲜膜覆盖在PET托盘口，使迷迭香精油通过缓释均匀作用于鲜切猪肉表面，并用橡皮筋进行密封。作用方式如图1所示。将所有处理组做标记，置于4℃冷库贮藏，每隔2d取一次样，测定样品各个理化指标。

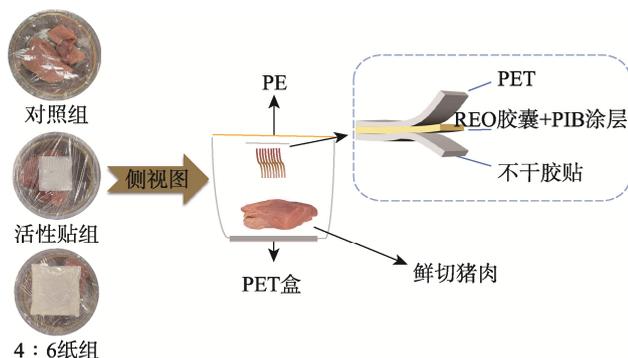


图1 肉盒示意图及迷迭香精油活性贴的位置
Fig.1 Illustration of pork box and location of the active packaging of rosemary essential oil

1.2.4 测定指标

1.2.4.1 迷迭香精油活性贴的 FTIR 测试

先扫描空白背景，然后再扫描样品的红外光谱，用来分析迷迭香精油活性贴的各组分基团变化情况。光谱分辨率为 4 cm^{-1} ，在范围为 $4\ 000\sim 650\text{ cm}^{-1}$ 扫描16次。

1.2.4.2 色度测定

使用手持色差仪对冷藏肉样进行色泽测定。测定前需要用白板进行校准。每隔2d测一次，每块样品重复测定5次，尽量选择每组猪肉颜色较为接近的区域去测试，以减少因部位不同带来的颜色误差。记录 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值，结果取平均值。

1.2.4.3 pH 测定

取60g猪肉，用pH计插入猪肉的中心，待示数稳定后，记录pH值。每块猪肉重复测5次，取平均

值作为最终结果。

1.2.4.4 汁液流失率测定

在贮藏过程中猪肉的汁液流失率参照李华健等^[8]方法进行测定，并稍作修改。实验重复测定5次，并取平均值作为最终结果。

1.2.4.5 TVB-N 含量测定

参照GB 5009.228—2016《食品中挥发性盐基氮的测定》^[9]，使用自动凯氏定氮仪测定肉样的挥发性盐基氮。

1.2.4.6 TBARS 值测定

参照GB 5009.181—2016《食品中丙二醛的测定》^[10]的方法，从冷库肉样中给拿取质量为5g的肉样，用于TBARS值的测定。

1.2.4.7 TVC 值测定

参照GB 4789.2—2016《食品卫生微生物学检测菌落总数测定》^[11]，采用倒平板法测定TVC值。

1.2.4.8 感官评价

对猪肉样品进行感官评定参考徐畅等^[12]描述的方法，并略作修改。8位评价人员从色泽、气味、外观组织等3个方面对猪肉样品在不同贮藏时间的变化情况进行评估，如表1所示。计算猪肉感官评分时，应采用记录综合得分的算术平均值，感官评分在9分以上是新鲜，低于6分为变质，低于3分则变质严重。

1.3 数据统计分析

使用Origin 2021软件对数据进行绘图，并使用IBM SPSS statistics 25软件进行统计分析，计算平均值和标准偏差。使用邓肯试验确定不同组之间的显著性，以 $P < 0.05$ 判断各种结果差异是否显著。

2 结果与分析

2.1 FTIR 分析

在迷迭香精油中，烯烃是主要成分，约有53种，占总成分含量的45.82%以上。这些成分的主要吸收峰集中在 $3\ 000\sim 2\ 850\text{ cm}^{-1}$ 、 $1\ 600\sim 1\ 450\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\ 400\sim 1\ 200\text{ cm}^{-1}$ 这3个吸收范围^[13]。

表1 感官评价标准
Tab.1 Criteria for sensory evaluation

项目	新鲜(9~10分)	次新鲜(6~8分)	变质初期(4~5分)	变质中后期(1~3分)
色泽	肌肉鲜红，光泽度高；脂肪为乳白色	肌肉鲜红，光泽度下降；脂肪颜色略微变暗	肌肉暗红，缺乏光泽；脂肪与肌肉相连处略微发绿	肌肉灰暗，表面呈灰绿色
气味	无异味，具有猪肉特有气味	少许腥味，无异味	轻微氨味或酸味	浓烈腥臭味并有明显腐败臭味
组织状态	肉体细腻坚实，指压后凹陷立即恢复，表面湿润不黏手，无汁液流出	肉体细腻坚实，指压后凹陷可恢复，表面湿润不黏手，少量汁液流出	肉体坚实，指压后凹陷恢复慢，触感略黏，较多汁液流出且汁液浑浊	肉体坚实，指压后凹陷不能完全恢复，表面有细菌斑点，触感黏稠，汁液流出严重且浑浊

不同精油浓度的迷迭精油活性贴的傅里叶红外光谱如图2所示。迷迭精油的吸收峰在2978、2930和1365 cm^{-1} ; 3种活性贴主要的吸收峰有5处, 分别在2950、1560、1470、1365和1225 cm^{-1} 。其中2930、2950、2978 cm^{-1} 处的吸收峰与迷迭精油中烷烃类物质C—H键的伸缩振动有关; 1560 cm^{-1} 处的吸收峰是芳烃类化合物的典型吸收峰, 也是烯烃类化合物C=C的伸缩振动特征吸收峰; 1470 cm^{-1} 处的吸收峰与芳烃的C=C骨架振动有关, 1365 cm^{-1} 处的吸收峰是烷烃中C—H的弯曲振动引起的; 1225 cm^{-1} 处吸收峰是迷迭精油中醇和酚C—O的伸缩振动引起的, 同时也与迷迭精油中芳香醚2个C—O键的伸缩振动及饱和酯的C—C(C=O)—O的伸缩振动有关^[14-15]。从图2中可以明显看出, 3种不同迷迭精油比例的活性贴在这3种吸收范围内均出现了吸收峰。此外, 3种不同迷迭精油比例的活性贴吸收峰出现的位置基本相同, 吸收峰的强度有所差异, 说明活性贴中成功引入了迷迭精油且没有新的化学键产生。同时, 在不同迷迭精油比例的活性贴中所含有的物质的种类没有区别。

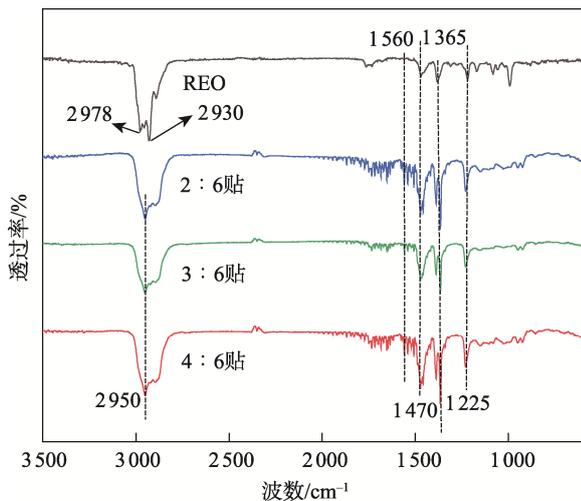


图2 不同浓度精油的活性贴的傅里叶红外光谱图
Fig.2 Fourier transform infrared spectroscopy of active packaging with different concentrations of essential oil

2.2 猪肉贮藏期间色度的变化

肉色是消费者在非接触状态下通过视觉评价肉制品质量的重要指标, 肉色变化与外观变化具有紧密的关联性, 属于食品外观评价的标准之一, 并且良好的肉色有助于提高消费者的购买欲望。

不同处理组猪肉在不同贮藏时间肉色变化如图3所示, 在0~4 d, 猪肉外观颜色无明显变化; 从第6天开始, CK、2:6贴、3:6贴、4:6纸组的猪肉颜色与前几天相比略微发黄; 第8~10天, 所有组猪肉

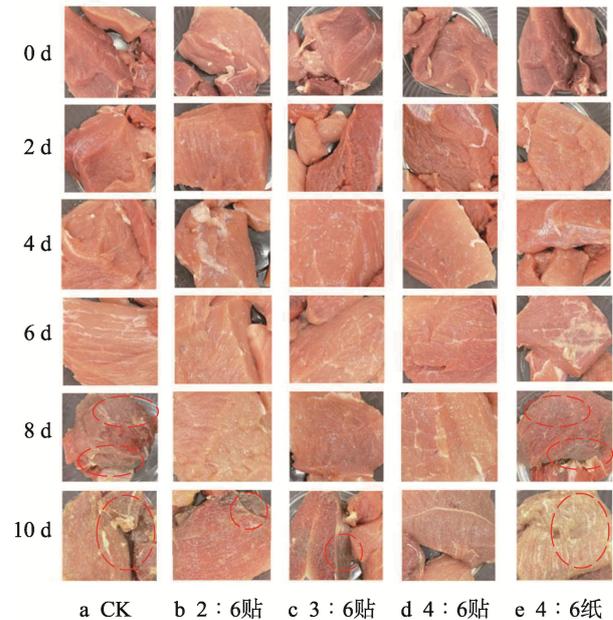


图3 不同贮藏时间猪肉外观变化
Fig.3 Changes in the appearance of pork for different storage time

均有明显的发腐变质, 而4:6贴组的猪肉腐烂程度较低。猪肉色度变化如表2所示, L^* 值、 a^* 值和 b^* 值在贮藏期间整体上呈先上升后下降的趋势。在贮藏前期, 猪肉中的肌红蛋白会与氧气结合, 生成氧合肌红蛋白, 使 a^* 值逐渐上升。在贮藏后期, 由于微生物代谢和脂质氧化产生的自由基破坏了高铁肌红蛋白还原酶, 致使肉中氧合肌红蛋白逐步转化为高铁肌红蛋白, 导致 a^* 值逐步下降^[16], 这与先上升后下降的 b^* 值实际情况相符。 L^* 值大小反映肉色明暗度, L^* 值越大, 肉色亮度越高。在贮藏期间, 处理组的 L^* 值变化较空白对照组的小, 且4:6贴组 L^* 值变化较其他处理组 L^* 值变化更小。可能是因为迷迭精油中的酚类物质可以延缓蛋白质变性, 从而减少肉中自由水的扩散, 减弱了肉对光的反射能力。说明迷迭精油活性贴能够延缓猪肉在贮藏期间的颜色变化, 且这种延缓具有浓度依赖性。

2.3 猪肉贮藏期间pH值的变化

pH值可用来判断猪肉的新鲜程度以及是否发生腐败变质现象, 是评价猪肉品质重要的指标之一。pH值的变化与微生物及猪肉自身含有的物质有很大关系。

猪肉样品的pH值在贮藏期内呈现先降后升的趋势。不同处理组猪肉的pH值随贮藏时间的变化如图4所示。在0~4 d, 猪肉pH值先增后降, 可能是因为肌肉中肌糖原分解产生的乳酸和磷酸等酸性物质中和了猪肉表面细菌生长代谢产生的碱性物质^[17]。在第6天时, CK组的pH值为6.51, 肉样开始腐败变质, 而3:6贴和4:6贴组的肉样仍为新鲜状态, pH值分别为6.1和5.81, 低于2:6贴和4:6纸组的pH

表2 不同贮藏时间猪肉色度变化
Tab.2 Color change of pork for different storage time

贮藏时间/d	样本	L^* 值	a^* 值	b^* 值
0	CK	46.13±3.81	0.73±0.61	12.43±0.84
	CK	40.50±0.98 ^d	3.40±2.14 ^{ab}	11.87±0.85 ^b
2	2:6贴	48.23±1.10 ^b	0.20±0.10 ^c	15.47±1.66 ^a
	3:6贴	50.13±0.74 ^a	1.53±0.80 ^{bc}	15.77±1.55 ^a
	4:6贴	46.20±1.01 ^c	4.70±0.20 ^a	15.23±1.45 ^a
	4:6纸	46.07±0.70 ^c	0.80±0.30 ^c	12.53±0.55 ^b
4	CK	46.73±1.68 ^{bc}	2.60±0.36 ^{bc}	13.07±2.08 ^c
	2:6贴	47.90±0.17 ^{ab}	6.83±1.72 ^a	19.37±1.85 ^a
	3:6贴	45.37±1.20 ^{cd}	5.37±0.70 ^{ab}	17.20±0.78 ^{ab}
	4:6贴	49.00±0.34 ^a	1.83±2.30 ^c	13.87±2.31 ^c
6	4:6纸	43.43±1.40 ^d	5.60±1.65 ^a	14.23±1.05 ^{bc}
	CK	45.70±0.82 ^b	3.60±0.10 ^b	14.53±1.80 ^{ab}
	2:6贴	50.53±1.85 ^a	2.00±0.35 ^b	15.87±0.23 ^a
	3:6贴	47.70±1.61 ^b	3.20±1.05 ^b	15.33±1.33 ^a
8	4:6贴	37.60±1.15 ^a	7.57±3.04 ^a	13.73±2.22 ^{ab}
	4:6纸	42.00±1.25 ^c	3.70±0.52 ^b	11.93±0.41 ^a
	CK	40.63±2.76 ^b	2.00±1.56 ^a	12.90±2.96 ^a
	2:6贴	46.07±1.12 ^a	0.23±1.10 ^a	13.17±0.65 ^a
10	3:6贴	39.97±0.67 ^b	1.63±1.57 ^a	11.33±1.99 ^a
	4:6贴	44.37±2.15 ^a	1.30±2.77 ^a	13.33±1.40 ^a
	4:6纸	37.70±1.06 ^b	1.67±2.47 ^a	10.67±2.72 ^a
	CK	43.53±0.21 ^{ab}	0.07±1.53 ^a	12.80±1.31 ^a
10	2:6贴	42.20±0.92 ^{bc}	0.87±0.81 ^a	11.90±1.1a
	3:6贴	41.00±0.30 ^c	0.57±2.91 ^a	11.63±1.98 ^a
	4:6贴	45.77±1.69 ^a	-0.90±1.64 ^a	12.20±2.75 ^a
	4:6纸	43.80±1.82 ^{ab}	-0.43±0.83 ^a	11.27±0.99 ^a

注: 上标字母(a—d)表示在同一列中显示出显著差异($P<0.05$)。

值。第6~8天,各处理组的pH值上升趋势明显,这是因为微生物在猪肉中的快速繁殖和代谢,导致了猪肉中的蛋白质被分解成胺类化合物等碱性物质^[17]。在第8~10天,CK组与2:6贴组猪肉的pH值最高,但3:6贴、4:6贴组的猪肉pH值明显低于另外3组的,且上升趋势较为缓慢。这可能是因为活性贴释放出的迷迭香精油积累越来越多,抑制了微生物的生长繁殖。与活性贴组相比,4:6纸组猪肉的pH值在第6天之后迅速上升,这可能是因为活性纸中

的迷迭香精油释放完全,已经失去了抑菌作用。结果表明,迷迭香精油活性贴对鲜切猪肉pH值的增加有抑制作用,且迷迭香精油的添加浓度与其作用效果呈正相关。

2.4 猪肉贮藏期间汁液流失率的变化

冷鲜猪肉在贮藏过程中,部分自由水与肉样的结合能力较弱,表面会有汁液渗出,这不仅损失了营养物质,还严重影响到产品的外观。

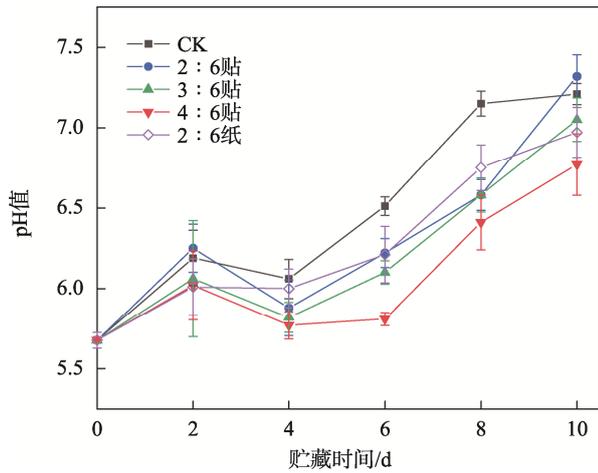


图 4 不同贮藏时间猪肉 pH 变化
Fig.4 Changes in pH of pork for different storage time

在储藏过程中猪肉汁液流失率呈前期增长、后期下降的趋势(图 5)。贮藏第 4 天时, CK 组的汁液流失率最高, 为 2.89%; 而 4:6 贴组汁液流失率最低, 为 1.82%。至第 6 天后, 猪肉开始腐败变质, 4:6 贴组猪肉的汁液流失率逐渐增加, 而其余 4 组呈下降趋势。这是因为随着储存时间的增加, 肌肉中的纤维蛋白会被不断的氧化, 肌肉纤维的结构也会受到损伤, 从而使猪肉的持水能力下降。在第 10 天时, CK 与 4:6 纸组的汁液流失率最高, 均为 2.5%; 而 4:6 贴组汁液流失率仅为 1.98%。说明迷迭精油对猪肉的汁液流失起到了抑制的作用, 且随着活性贴中迷迭精油含量的增加, 抑制作用越明显。通过对比 4:6 贴组和 4:6 纸组的数值可以发现, 在精油含量相同情况下, 活性贴比活性纸抑制效果更明显。

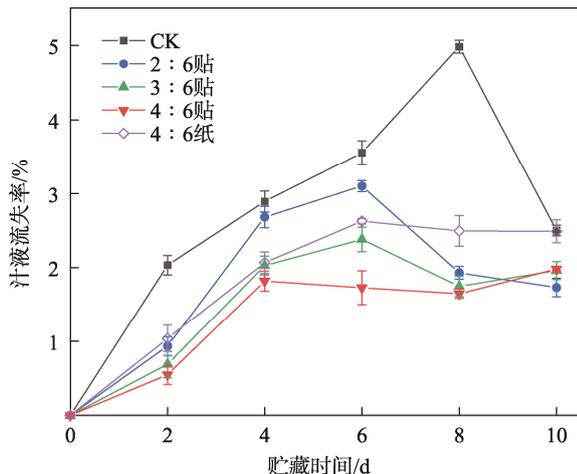


图 5 不同贮藏时间猪肉汁液流失率变化
Fig.5 Changes in drop lose rate of pork for different storage time

2.5 猪肉贮藏期间 TVB-N 含量的变化

TVB-N 的增加会导致肉质变差, 这是因为微生物和相关酶将肉中的蛋白质分解成具有碱性的氨

或胺类物质。依据 GB/T 5099.44—2003 可知, 一级鲜度的肉样 TVB-N 值 ≤ 0.15 mg/g; 二级鲜度的肉样 0.15 mg/g $<$ TVB-N 值 ≤ 0.20 mg/g; 变质肉 TVB-N 值 > 0.20 mg/g^[18]。

随着猪肉贮藏时间的增加, 各个组猪肉的 TVB-N 含量也随之不断增加。由图 6 可知, 处理组的整体趋势低于 CK 组的, 是因为迷迭精油的释放抑制了微生物的生长, 导致挥发性盐基氮含量较低。在第 4 天时, CK 组的 TVB-N 含量为 0.163 mg/g, 此时猪肉已经处于次新鲜的状态, 而处理组猪肉的 TVB-N 含量 ≤ 0.15 mg/g, 属于新鲜肉。第 6 天时, CK、4:6 纸组猪肉的 TVB-N 含量分别为 0.216 4、0.208 9 mg/g, 此时猪肉开始腐败变质; 2:6 贴、3:6 贴组猪肉的 TVB-N 含量在 0.15~0.20 mg/g, 猪肉也不再新鲜; 而 4:6 贴组猪肉的 TVB-N 含量最低, 为 0.127 3 mg/g, 仍处于新鲜状态。第 8 天后, 所有组猪肉的 TVB-N 含量都大于 0.20 mg/g, 全部腐败变质。可以看出, 在这段贮藏期间内, 精油含量最高的 4:6 贴组猪肉的 TVB-N 含量显著低于其余 4 组的 ($P < 0.05$)。

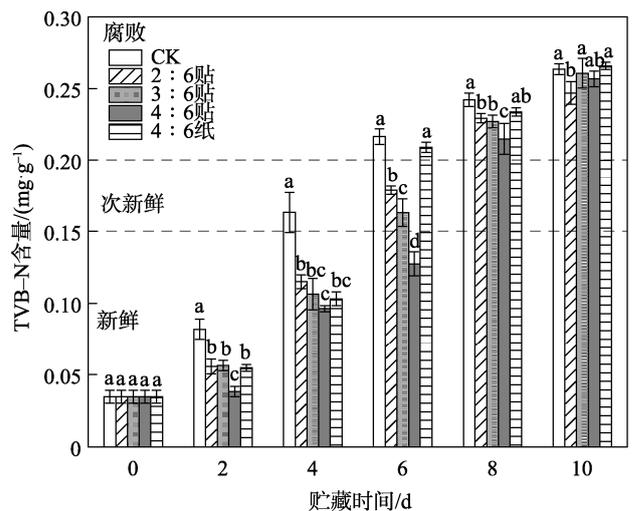


图 6 不同贮藏时间猪肉总挥发性盐基氮含量变化

Fig.6 Changes in total volatile base nitrogen of pork for different storage time
注: 上标字母 (a—d) 表示在同一列中显示出显著差异 ($P < 0.05$)。

2.6 猪肉贮藏期间 TBARS 值的变化

随着贮藏时间的延长, 食品中不饱和脂肪酸氧化分解所产生的衍生物会增多, 使得 TBARS 值上升, 从而表明肉类食品脂肪氧化程度加深^[19]。通常认为生鲜肉品的 TBARS 值处于 0.20~0.66 mg/kg 时为新鲜肉, 超过 1.0 mg/kg 则为被严重氧化的变质肉, 不再具备可食用性^[20]。

随着贮藏时间的增加, 猪肉的 TBARS 值呈前期缓慢, 后期迅速增长的趋势。如图 7 所示, 在 0~4 d, 处理组的 TBARS 值均低于 CK 组的, 说明迷迭精油活

性贴延缓了猪肉脂肪的氧化程度。第4天时,CK组的TBARS值明显高于其他处理组,达到0.68 mg/kg,此时猪肉处于次新鲜程度;而处理组TBARS值均低于0.66 mg/kg,猪肉为新鲜状态。第6天时,CK及4:6纸组的TBARS值最高,分别达到了1.12、1.22 mg/kg,表明猪开始腐烂变质,可能是因为4:6纸组中的迷迭香精油释放完全,失去了抗氧化作用。而2:6贴、3:6贴、4:6贴组的TBARS值依次递减,其中4:6贴组TBARS值最低,为0.5 mg/kg,猪肉仍处于新鲜程度。在第10天时,组间差异不明显($P>0.05$),但4:6贴组的TBARS值要低于其他组的,可能是由于其迷迭香精油含量较高,尤其是在肉类变质后期,酚类物质的抗氧化能力可以有效地减缓脂质的氧化过程,其中浓度越高,抑制氧化作用就越明显。结果可见,迷迭香精油与超纯水体积比为4:6的活性贴更能够抑制猪肉的脂质氧化,且在精油含量相同时,活性贴比活性纸的缓释速度更慢,抗氧化效果更好。

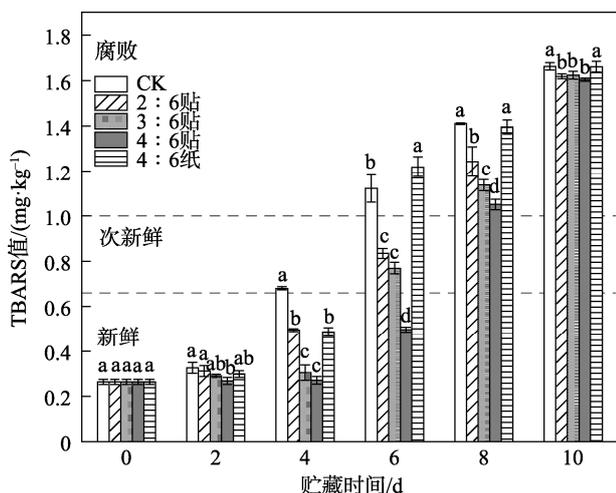


图7 不同贮藏时间猪肉硫代巴比妥酸反应物值变化

Fig.7 Changes in thiobarbituric acid reactive substances of pork for different storage time

注:上标字母(a—d)表示在同一列中显示出显著差异($P<0.05$)。

2.7 猪肉贮藏期间 TVC 值的变化

菌落总数反映了猪肉被微生物污染的程度,是衡量猪肉是否变质的重要指标,也是导致猪肉在贮藏期间腐败变质的主要因素。依据 GB/T 9959.2—2008《分割鲜冻猪瘦肉》^[11]中的规定,新鲜肉的菌落总数对数值应不大于6 lg(CFU/g)。

随着贮藏时间的增加,猪肉的菌落总数整体呈上升趋势。如表3所示,在2~4 d,处理组猪肉的菌落总数始终低于空白对照组猪肉的菌落总数,且处理组的菌落总数随着精油浓度的增加,依次递减;4:6贴组的菌落总数要显著低于2:6贴、3:6贴2

表3 不同贮藏时间猪肉菌落总数变化
Tab.3 Changes in the total viable count of pork for different storage time 10³ CFU/g

时间/d	CK	2:6贴	3:6贴	4:6贴	4:6纸
0	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
2	38.0	9.00	8.60	1.90	16.1
4	100	42.0	23.0	16.0	20.4
6	—	—	95.7	110	—
8	—	—	359	302	—
10	—	—	1 340	1 180	—

注:“—”表示不可计数

组的。第4天时,4:6贴组的菌落总数低于4:6纸组的。第6天时,CK、2:6贴、4:6纸组的培养基表面菌落蔓延,难以计数。第10天时,猪肉的菌落总数对数值均大于6 lg(CFU/g),此时肉已经变质,不可再食用。揭开密封保鲜膜时,4:6贴组中的迷迭香精油味道强烈,4:6纸组中几乎没有迷迭香精油的味道。这可能是因为活性贴释放的迷迭香精油作用在猪肉的表面,迷迭香精油中的多酚类物质抑制了微生物的生长繁殖,而活性纸对迷迭香精油的释放速度过快,在储藏后期已经失去了抑菌作用。由于该活性贴对猪肉的汁液流失率也有抑制作用,汁液流失率降低也会使鲜切猪肉表面较为干燥,微生物生长会较为缓慢。由此可见,迷迭香精油活性贴可以抑制猪肉菌落总数的生长,对鲜切猪肉具有明显的保鲜效果。在同等条件下,活性贴包装形式对精油的缓释时间较活性纸包装形式的更慢,随着迷迭香精油浓度的增加,对微生物生长繁殖的抑制作用效果越好。

2.8 猪肉贮藏期间感官得分的变化

感官品质是评价猪肉新鲜度的一个直观指标,本实验对在4℃条件下贮藏的猪肉的色泽、气味、组织状态进行了感官评价。当平均得分小于6分时,将猪肉视为变质^[22]。

在贮藏期间猪肉的感官评分随着贮藏时间的增加而逐渐下降。由图8可知,在0~2 d,处理组感官品质评分差别并不明显,但均高于CK组。从第2天开始,CK组感官品质评分下降趋势明显增快,至第6天时,CK、2:6贴、4:6纸组的鲜切猪肉的感官品质评分均低于6分,肉样散发出轻微氨味,肌肉暗红缺乏光泽,脂肪与肌肉相连处略微发绿,较多汁液流出,此时猪肉已经处于变质初期;而3:6贴、4:6贴组的感官评分均高于6分,处于次新鲜状态。第8~10天,猪肉已经全部变质。由此可见,迷迭香精油对猪肉感官品质的改善起到了较为积极的作用,且随着活性贴中迷迭香精油含量的增加,改善效果愈明显。通过对比4:6贴组、4:6纸组感官评分的数值可以发现,在精油含量相同情况下,活性贴比活性纸保鲜效果更好,缓释作用更持久。

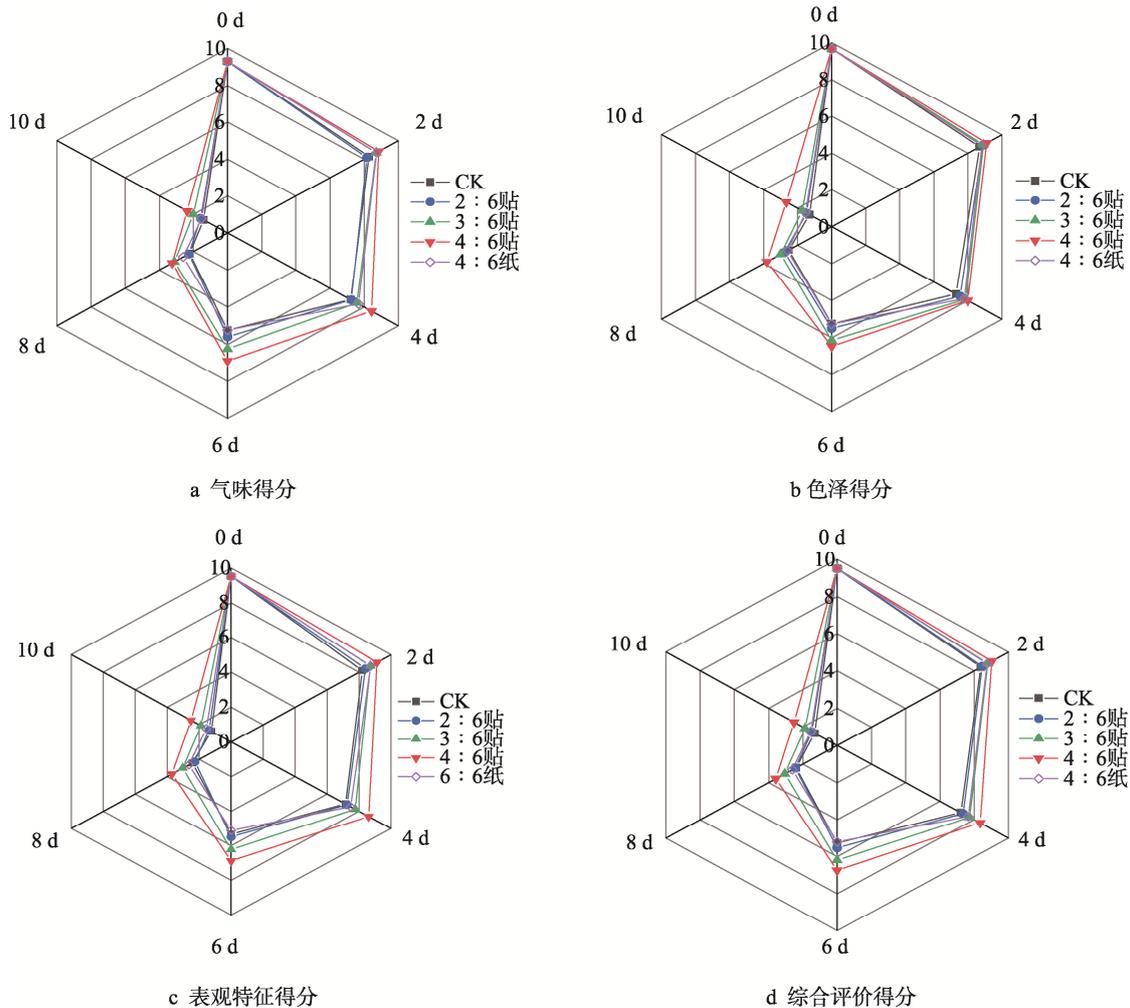


图 8 不同贮藏时间猪肉感官得分变化
Fig.8 Changes in sensory evaluation score of pork for different storage time

3 结语

本研究制备了 3 种含有不同体积比(2:6、3:6、4:6)的迷迭精油活性贴。通过 FTIR 表征可以看出,该活性贴包埋了迷迭精油,且包埋过程未发生化学反应,仍能够保持迷迭精油原有的性质。4℃下鲜切猪肉的测试结果表明,迷迭精油活性贴的使用不仅能保持猪肉在贮藏过程中的感官品质,还可以有效延缓猪肉的脂质氧化,并抑制细菌的生长,延长其货架期,且随着浓度增加,效果越显著。当精油体积比均为 4:6 时,活性贴包装形式对猪肉的保鲜效果比活性纸包装形式的更好,而 2:6 贴和 4:6 纸保鲜效果不佳,在后续实验中也会考虑不再使用。综合来看,本研究制备的迷迭精油活性贴缓释效果良好,对鲜切猪肉具有优良的抗氧化和抑菌作用,不但制备原料绿色环保、成本低廉,而且活性贴的体积小,便于使用。因此,迷迭精油活性贴作为一种新型安全、可降解活性包装,为迷迭精油的研究和综合利用提供了新思路,在绿色食品包装材料领域应用前景广阔。

参考文献:

- [1] TAO Yu, GUO Yi-ping, LI Jing-we. Effect of Temperature Fluctuation during Superchilling Storage on the Microstructure and Quality of Raw Pork[J]. Meat Science, 2023, 198(4): 109096.
- [2] HETTA H, MSHAAL A, ALGAMMAL A. In-Vitro Antimicrobial Activity of Essential Oils and Spices Powder of some Medicinal Plants Against Bacillus Species Isolated from Raw and Processed Meat[J]. Infection and Drug Resistance, 2020, 13: 4367-4378.
- [3] WEISANY W, YOUSEFI S, TAHIR N, et al. Targeted Delivery and Controlled Released of Essential Oils Using Nanoencapsulation: A Review[J]. Advances in Colloid and Interface Science, 2022, 303: 102655.
- [4] ELVIA H, CESAR Y, ISABLE G, et al. Effect of Nanoemulsified and Microencapsulated Mexican Oregano (Lippia Graveolens Kunth) Essential Oil Coatings on Quality of Fresh Pork Meat[J]. Journal of Food Sci-

- ence, 2017, 82(6): 1423-1432.
- [5] SHAO Ping, YU Jiang, CHEN Hang-jun, et al. Development of Microcapsule Bioactive Paper Loaded with Cinnamon Essential Oil to Improve the Quality of Edible Fungi[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2021, 27(2): 100617.
- [6] CAI Chen-chen, MA Rui-jia, DUAN Meng-wen, et al. Effect of Starch Film Containing Thyme Essential Oil Microcapsules on Physicochemical Activity of Mango[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2020, 131(2): 109700.
- [7] SHI Wei-wei, YAN Rui-xiang, HUANG Li-qiang. Preparation and Insecticidal Performance of Sustained-Release Cinnamon Essential Oil Microemulsion[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2022, 102(4): 1397-1404.
- [8] 李华健, 陈韬, 杨波若, 等. 宰后猪肉 pH 值、骨架蛋白表达水平和持水性之间的关系[J]. *食品科学*, 2021, 42(3): 14-20.
- LI Hua-jian, CHEN Tao, YANG Bo-ruo, et al. Relationships of pH and Cytoskeletal Protein Expression Levels with Water-Holding Capacity of Pork during Post-Mortem Aging[J]. *Food Science*, 2021, 42(3): 14-20.
- [9] GB 5009.228—2016, 食品安全国家标准食品中挥发性盐基氮的测定[S].
- GB 5009.228—2016, National Food Safety Standards for the Determination of Volatile Salt Nitrogen in Food[S].
- [10] GB 5009.181—2016, 食品安全国家标准食品中丙二醛的测定[S].
- GB 5009.181—2016, National Food Safety Standard for the Determination of Malondialdehyde in Food[S].
- [11] GB 4789.2—2016 食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定[S].
- GB 4789.2—2016, Food Safety National Standards for Food Microbiological Testing of The Determination of Total Bacterial Colony[S].
- [12] 徐畅, 蔡明迪, 刘秋, 等. 菊粉天然复合保鲜剂对冷鲜猪肉保鲜效果的影响[J]. *包装工程*, 2020, 41(19): 8-16.
- XU Chang, CAI Ming-di, LIU Qiu, et al. Effect of Inulin Nature Compound Preservative on Chilled Pork during Refrigerated Storage[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(19): 8-16.
- [13] SHEKTAEI Z A, POUREHSAN M M, BAGHERI V. Physico-chemical and Antimicrobial Characteristics of Novel Biodegradable Films based on Gellan and Carboxymethyl Cellulose Containing Rosemary Essential Oil[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2022, 234: 122944.
- [14] PADILHA L, FERREIRA C, MACHADO F, et al. Analysis of Polyolefin Compositions through near Infrared Spectroscopy[J]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2014, 131(9): 9.
- [15] BIDUSKI B, KRINGEL D H, COLUSSI R, et al. Electrospayed Octenyl Succinic Anhydride Starch Capsules for Rosemary Essential Oil Encapsulation[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019, 132: 300-307.
- [16] 周立, 张锐, 王卫, 等. 不同气调包装对冷鲜羊肉保鲜效果研究[J]. *包装工程*, 2022, 43(21): 1-9.
- ZHOU Li, ZHANG Rui, WANG Wei, et al. Effects of Different Modified Atmospheres Packaging on Preservation of Mutton in Chilled Storage[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(21): 1-9.
- [17] ZHENG Ke-wang, ZHANG Jian-bing, YANG Fan. Properties and Biological Activity of Chitosan-Coix Seed Starch Films Incorporated With Nano Zinc Oxide and Artemisia Annuua Essential Oil for Pork Preservation[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 164: 113665.
- [18] ZHANG Ping, LUO Shuang-ling, GAO De. Effects of Poly(Butylene Adipate-co-Terephthalate)/TiO₂ Nanocomposite Antimicrobial Films on Chilled Pork Quality[J]. *Packaging Technology and Science*, 2021, 34(1): 11-12.
- [19] 雷英杰, 陈尚戊, 敬楹莹, 等. 电子束辐照处理对生鲜猪肉的保鲜作用[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(10): 136-144.
- LEI Ying-jie, CHEN Shang-wu, JING Ying-ying, et al. Effect of Electron Beam Irradiation on the Preservation of Fresh Pork[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2021, 37(10): 136-144.
- [20] WANG Lei, LIU Ting, LIU Liu, et al. Impacts of Chitosan Nanoemulsions with Thymol or Thyme Essential Oil on Volatile Compounds and Microbial Diversity of Refrigerated Pork Meat[J]. *Meat Science*, 2022, 185: 108706.
- [21] 李典典, 钱志鹏, 侯博璇, 等. 葡萄皮渣提取物-壳聚糖复合涂膜对冷鲜猪肉贮藏品质的影响[J]. *食品科技*, 2023, 48(1): 107-113.
- LI Dian-dian, QIAN Zhi-peng, HOU Bo-xuan, et al. Effects of Grape Peel Residue Extract-Chitosan Composite Coating on Storage Quality of Chilled Pork[J]. *Food Science and Technology*, 2023, 48(1): 107-113.