

花椒及葡萄籽提取物对生牛肉饼的保鲜效果比较

成双双¹, 回学宽¹, 李子恩¹, 彭立增², 张伟², 祝贺^{1*}, 邢艳霞^{1*}

(1. 山东农业工程学院食品科学与工程学院, 山东淄博 255000) (2. 山东省农业科学院, 山东济南 250000)

摘要: 为利用天然保鲜剂延长牛肉饼的贮藏期, 该研究对比了花椒提取物和葡萄籽提取物对生牛肉饼的保鲜效果。试验以生牛肉饼为材料添加同等总黄酮含量的葡萄籽提取物(质量分数为0.01%)和花椒提取物(质量分数为0.118%), 从肉色、脂肪氧化和蛋白质结构等方面评估保鲜效果。结果表明, 与对照组相比, 贮藏至第6 d时, 花椒提取物使脂质氧化(Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS)值和挥发性盐基氮(Total Volatile Basic Nitrogen, TVB-N)值分别降低了40.51%和25.56%, 高铁肌红蛋白还原能力(Metmyoglobin Reducing Ability, MRA)和总还原能力(Total Reducing Activity, TRA)增加了7.75%和10.53%, 葡萄籽提取物使TBARS值和TVB-N值分别降低了43.04%和32.00%, MRA和TRA增加了19.19%和15.79%, 而且葡萄籽提取物在肉色和质构品质上显著优于花椒提取物和对照组($P<0.05$), 傅里叶红外光谱显示, 提取物的添加可能抑制了蛋白质氧化, 主要抑制了 α -螺旋向无规则卷曲的转变且葡萄籽提取物效果更为显著。因此在此条件下花椒提取物对生牛肉饼的保鲜效果不如葡萄籽提取物, 为开发天然保鲜剂提供了理论依据, 后续可以考虑二者联用等方法开发综合保鲜。

关键词: 花椒提取物; 葡萄籽提取物; 生牛肉饼; 抗氧化; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2026)05-148-157

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.5.0163

Comparison of the Preservative Effects of *Zanthoxylum bungeanum* and Grape Seed Extracts on Raw Beef Patty

CHENG Shuangshuang¹, HUI Xuekuan¹, LI Zien¹, PENG Lizeng², ZHANG Wei², ZHU He^{1*}, XING Yanxia^{1*}

(1.College of Food Science and Engineering, Shandong Agriculture and Engineering University, Zibo 255000, China)

(2.Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan 250000, China)

Abstract: To extend the shelf life of raw beef patties using natural preservatives, the preservative effects of *Zanthoxylum bungeanum* extract and grape seed extract were compared. Grape seed extract (mass fraction: 0.01%) and *Z. bungeanum* extract (mass fraction: 0.118%) with equivalent total flavonoid contents were added to raw beef patties. Preservative efficacy was evaluated based on meat color, lipid oxidation, and protein structural changes. The results showed that after 6 days of storage, patties treated with *Z. bungeanum* exhibited reductions of 40.51% in thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) and 25.56% in total volatile basic nitrogen (TVB-N) compared with those of the control group. In addition, metmyoglobin reducing ability (MRA) and total reducing activity (TRA) increased by 7.75% and 10.53%, respectively. For grape seed extract-treated patties, TBARS and TVB-N

引文格式:

成双双,回学宽,李子恩,等.花椒及葡萄籽提取物对生牛肉饼的保鲜效果比较[J].现代食品科技,2026,42(5):148-157.

CHENG Shuangshuang, HUI Xuekuan, LI Zien, et al. Comparison of the preservative effects of *Zanthoxylum bungeanum* and grape seed extracts on raw beef patty [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(5): 148-157.

收稿日期: 2025-02-11; 修回日期: 2025-05-18; 接受日期: 2025-05-22

基金项目: 山东省重点研发计划项目(2023TZX046); 淄博市重点研发计划项目(2021SNPT0007); 畜牧全产业链技术推广与高质量发展示范(日喀则市科技计划)

作者简介: 成双双(2004-), 女, 本科, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: 1794128038@qq.com

通讯作者: 祝贺(1987-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品加工及品质提升, E-mail: 251763119@qq.com; 共同通讯作者: 邢艳霞

(1987-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 畜产品加工及贮藏, E-mail: 603313136@qq.com

values decreased by 43.04% and 32.00%, respectively, whereas MRA and TRA increased by 19.19% and 15.79%, respectively. Furthermore, grape seed extract significantly outperformed *Z. bungeanum* extract and the control group in maintaining meat color and texture quality ($P<0.05$). Fourier transform infrared spectroscopy analysis indicated that protein oxidation was inhibited by both extracts, mainly by suppressing the transformation from α -helix to random coil structures, with grape seed extract showing a more pronounced effect. Overall, under these experimental conditions, the preservative effect of *Z. bungeanum* extract on raw beef patties was inferior to that of grape seed extract. These findings provide a theoretical basis for the development of natural preservatives and future studies should explore combined applications of the two extracts to achieve enhanced preservation effects.

Key words: *Zanthoxylum bungeanum* extract; grape seed extract; raw beef patties; antioxidant activity; preservation

以牛肉饼为代表的肉类加工产品因其独特风味和广泛用途,已成为当前预制方便食品市场的主流产品^[1]。然而,与冷鲜牛肉相比,经过深加工的冷鲜牛肉饼在贮藏过程中更易发生蛋白质氧化、脂质氧化和微生物污染,蛋白质氧化会导致肉制品出现汁液流失、嫩度下降等品质劣变问题,脂质氧化会引起肉饼产生酸败味等风味劣变问题。另外,氧气还会促使肌红蛋白氧化,生成褐色的高铁肌红蛋白,这些因素都会降低产品品质,影响消费者购买意愿^[2]。同时,现代社会消费者健康意识提升,传统化学添加剂的使用增加了消费者的心理负担,而天然保鲜剂特别是植物提取物的研究日益受到关注,已成为近年来的研究热点^[3]。

花椒作为一种绿色安全的天然香辛料,含有大量黄酮类和酰胺类等还原性成分,不仅具有调味增鲜功能,还表现出显著的抗氧化特性,在我国食品工业中具有广阔的应用前景^[4]。与人工抗氧化剂相比,花椒提取物在抗氧化、降低油脂丙二醛含量、抑制病原菌生长等方面均表现出显著效果,其特有的香气还起到可以遮盖肉腥味的作用。高雪琴等^[3]的研究证实了花椒提取物对猪肉饼的保鲜作用, Li 等^[5]分析了花椒醇提物在脂质氧化方面的应用,在白鲢咸鱼加工过程中加入花椒叶醇提取物,其对白鲢咸鱼的脂质氧化呈抑制作用。另一方面,我国作为葡萄种植大国,加工葡萄过程中产生大量废弃物,其中葡萄籽约占 50%^[6],葡萄籽中富含原花青素、酚类、黄酮等活性成分,具有抗氧化、抑菌及多种生理调节功能^[7]。陈锡武^[8]指出葡萄籽提取物能显著延长冰鲜冷藏南美白对虾保鲜期,抑制黑变,改善其食用品质和安全。类红梅^[9]研究表明在牛肉饼中添加质量分数为 0.01% 葡萄籽提取物显著抑制了高氧气调包装中牛肉饼的脂质氧化,改善了高氧气调包装中生牛肉饼的肉色。葡萄籽提取物及花椒提取物虽已被应用于肉制品保鲜中,并取得了良好的效果,但是没有研究对比过两者之间的效果差异。这种研究缺失不仅限制了植物提取物在保鲜领域的深入开发,也阻碍了其在实际应用中的科学评估和

推广,影响了其产业化进程和市场潜力的充分释放。

值得注意的是,由于提取方法和料液比的差异,提取物并非单一物质,而且花椒提取物和葡萄籽提取物相比于其他活性成分,在肉类保鲜机制中被更为广泛地研究。因此,该研究通过标准化总黄酮含量,在牛肉饼中添加同等黄酮含量的花椒提取物和葡萄籽提取物进行初步对比分析,研究整体保鲜效果的差异。参考类红梅^[9]关于葡萄籽提取物对生牛肉饼防腐保鲜效果的研究,确定最佳添加浓度为质量分数 0.01%,在此基础上添加同等黄酮含量的花椒提取物进行对比分析。该研究首次从傅里叶红外特征峰及蛋白质二级结构等角度比较二者的保鲜效果,旨在通过系统对比花椒与葡萄籽提取物的保鲜性能,探讨其在生鲜牛肉饼保存中的应用潜力,为开发天然保鲜剂用于低温贮藏和调制肉类保鲜提供理论依据和实践指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

牛腱子肉(选用 pH 值为 5.62、同一批次且宰龄为 18 个月的西门塔尔杂交母牛,在宰后 48 小时取其牛腱子肉,真空包装后于 -18°C 冷冻保存),山东商都恒昌清真肉类有限公司;葡萄籽提取物(经试验测得总黄酮含量为 14.78%),山东金胜生物科技有限公司;花椒提取物(经试验测得总黄酮含量为 1.25%),河南龙腾生物工程有限公司;盐酸(分析纯),烟台远东精细化工有限公司;乙醇(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;PIPES 缓冲液,伊势久生物科技有限责任公司;氨基磺酸铵(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;亚硝酸钠(分析纯),亳州市兵福农业发展有限公司;铁氰化钾(分析纯),玉林市升鼎聚原生中草药有限公司;三氯乙酸(分析纯),亳州市兵福农业发展有限公司;氢氧化钠(分析纯),亳州市兵福农业发展有限公司;硫代巴比妥酸(分析纯),玉林市升鼎聚原生中草药有限公司;1,1,3,3-四乙氧基丙烷(分析

纯), 北京华迈科生物技术有限公司。

1.2 仪器与设备

YS3060 色差计, 广东三恩时智能科技有限公司; 220 V/50 HZ 离心机, 常州苏瑞仪器有限公司; pH-240A 鼓风干燥箱, 上海一恒科学仪器有限公司; KN520 凯氏定氮仪, 济南阿尔瓦仪器有限公司; DRHH-S6 恒温水浴锅, 上海程捷仪器设备有限公司; ACS-30 kg 电子分析天平, 上海然浩电子有限公司; 220 V/50 HZ 紫外分光光度计, 上海棱光技术有限公司; Nicolet iS5 傅里叶红外光谱仪, 赛默飞世尔科技公司; TA-XT Plus 物性分析仪, 配有 P/36R 探头, 英国 SMS 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

对牛腱子肉进行修整, 去除多余的脂肪和筋膜以确保试验的精确性。将牛肉切成小块后绞肉机高速绞肉 1 min 制成肉馅, 平均分为三组, 分别加入如表 1 所示含量的水、盐、提取物, 低速斩拌 15 s, 充分混合均匀后, 使用肉饼成型机制成 6 cm 直径、1 cm 厚的肉饼 (每个 50 g), 进行真空包装后置于 0~4 ℃ 环境中贮藏 0、3、6 d。在每个时间点将肉饼取出, 测定牛肉饼的肉色、TBARS 值、TVB-N 值、MRA、TRA 及傅里叶红外。该试验在每个贮藏点及每个处理条件下均有 3 个样品作为平行且每个样品重复测定 3 次, 即需要事先准备花椒提取物处理组、葡萄籽提取物处理组及空白对照组各 9 个样品。

表 1 试验设计 (%)
Table 1 Experimental design (%)

样品名称	水质量 分数	盐质量 分数	花椒提取物 质量分数	葡萄籽提取物 质量分数
空白对照组	10	2	0	0
葡萄籽提取物 处理组	10	2	0	0.01
花椒提取物处 理组	10	2	0.118	0

1.3.2 提取物中总黄酮含量的测定

参考 Jiang 等^[10]方法稍作修改。准确称取芦丁标准试剂 10 mg, 用体积分数为 70% 的乙醇溶解并定容至 100 mL 容量瓶中, 得到 0.1 mg·mL⁻¹ 的标准溶液。分别取 0.0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mL 标准溶液于 10 mL 比色管中, 用体积分数为 70% 的乙醇补至 5 mL, 依次加入 0.3 mL 质量分数为 5% 的亚硝酸钠溶液、0.3 mL 质量分数为 10% 硝酸铝溶液和 4 mL 1 mol·L⁻¹ 氢氧化

钠溶液, 最后用双蒸水定容至 10 mL, 放置 15 min 后于 510 nm 处测吸光度。回归方程为 $y=0.017\ 6x-0.006\ 7$ ($R^2=0.999\ 8$)。称取花椒提取物和葡萄籽提取物各 5 g, 按上述方法测吸光度, 所用测定均取 3 个平行样品, 每个样品重复测定 3 次, 计算总黄酮含量取其平均值。经试验测得葡萄籽提取物的总黄酮含量为 14.78%, 花椒提取物的总黄酮含量为 1.25%。

1.3.3 肉色指标的测定

参考类红梅^[9]的研究方法, 在每个贮藏时间点将牛肉饼拆开包装后, 暴露于 4 ℃ 空气中发色 30 min, 发色完成后立即使用校正后的便携式色差计测定牛肉饼的表面及沿着中线切开后切面的 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值, 切面肉色均为切开后立即测定, 所用测定均取 3 个平行样品, 每个样品表面和切面的不同位置均各测定 6 次后取其平均值。

1.3.4 质构的测定

参考庞景涛等^[11]的研究方法, 将样品用圆形取样器切成直径 25 mm、高 10 mm 的圆柱形样品, 切面整齐、光滑且未有破裂口, 使用 TA-XT Plus 物性分析仪并配备 P/36R 探头对样品进行全质构测定, 判断牛肉饼的质地, 环境温度为 20 ℃, 探头号为 P/36R, 测前、测中、测后速度都为 2 mm·s⁻¹, 间隔时间 5 s, 压缩比 50%, 触发力 5 g, 所用测定均取 3 个平行样品, 每个样品不同位置随机测定 3 次取平均值。

1.3.5 脂质氧化 (TBARS) 的测定

参考 Carvalho 等^[12]的方法稍作修改。称取 2.00 g 样品, 加入 5 mL 25 g·100 mL⁻¹ 三氯乙酸溶液和 4 mL 蒸馏水, 10 000 r·min⁻¹ 匀浆 60 s, 4 000 r·min⁻¹、4 ℃ 离心 30 min 后用双层滤纸过滤 2 次。取 2 mL 滤液于 10 mL 试管中, 加入 2 mL 0.02 mol·L⁻¹ 硫代巴比妥酸溶液, 沸水浴保温 20 min, 冷却后于 532 nm 测吸光度。用已知浓度的 1,1,3,3-四乙氧基丙烷制取标准曲线得 $y=0.283\ 1x+0.004$ ($R^2=0.997\ 4$), 所用测定均取 3 个平行样品, 每个样品重复测定 3 次, 利用公式 (1) 计算丙二醛的含量取平均值, TBARS 值以丙二醛含量表示, 单位为 mg·kg⁻¹。

$$X=\frac{c\times V\times 1000}{m\times 1000}\tag{1}$$

式中:

X ——试样中丙二醛含量, mg·kg⁻¹;

c ——从标准曲线中得到的试样溶液中丙二醛的含量, μg·mL⁻¹;

V ——试样溶液定容体积, mL;

m ——最终试样溶液所代表的试样质量, g;

1 000——换算系数。

1.3.6 挥发性盐基氮 (TVB-N) 值的测定

参照 GB 5009.228-2016 中《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》^[13] 的自动凯氏定氮仪法测定。称取 10 g 肉样, 加入 75 mL 水后混合均匀, 装入蒸馏管中浸泡 30 min 备用。首先进行试剂空白测定, 记录空白值。在装有已处理试样的蒸馏管中加入 1 g 氧化镁, 迅速连接至蒸馏装置进行测定, 所用测定均取 3 个平行样品, 每个样品重复测定 3 次取平均值。根据消耗的盐酸或硫酸标准滴定溶液体积, 利用公式 (2) 计算试样中挥发性盐基氮的含量。

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 14}{m} \times 100 \quad (2)$$

式中:

X ——挥发性盐基氮的含量, $\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$;

V_1 ——试液消耗盐酸标准滴定溶液的体积, mL;

V_2 ——试剂空白消耗盐酸标准溶液的体积, mL;

c ——盐酸标准滴定溶液的浓度, $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;

m ——试样质量, g;

14——滴定 1.0 mL 盐酸标准滴定溶液相当的氮的质量, $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$;

100——换算系数。

1.3.7 高铁肌红蛋白还原能力 (MRA) 的测定

参考刘成龙^[14]的方法。第一部分测定高铁肌红蛋白含量, 即用色差计测量牛肉饼表面 525、572 nm 处的反射率, 用公式 (3) 计算出 525 nm 和 572 nm 处的 K/S , 然后根据公式 (4) 计算高铁肌红蛋白含量:

$$K/S = (1 - R)^2 \div 2R \quad (3)$$

式中:

R ——一定波长下的反射率;

K ——入射光在肉中的吸收系数;

S ——入射光在肉中的散射系数。

$$\text{MetMb\%} = \frac{\frac{K/S_{572}}{K/S_{525}} \text{For100\%DeoxyMb} - \frac{K/S_{572}}{K/S_{525}} \text{For sample}}{\frac{K/S_{572}}{K/S_{525}} \text{For100\%DeoxyMb} - \frac{K/S_{572}}{K/S_{525}} \text{For100\%MetMb}} \times 100 \quad (4)$$

式中:

100%DeoxyMb——取第 0 天的肉样 (无结缔组织和脂肪), 切掉表面后立即用色差计测量 525、572 nm 处的反射率;

100%MetMb——肉样浸泡在体积分数为 1% 铁氰化钾 1 min 后取出, 用滤纸擦干表面, 用透氧的 PVC 膜中包好, 于 2~4 °C 下放置 24 h 取出, 测量 525、572 nm 处的反射率。

第二部分测定高铁肌红蛋白还原能力, 即在试验的第 0、3、6 天, 取出不含结缔组织和脂肪的肉样, 将其浸泡于 50 mL 体积分数为 0.3% 的亚硝酸钠溶液

中, 室温下静置 20 min。取出肉样后, 用滤纸轻轻擦去表面残留的亚硝酸钠溶液, 随即对肉样表面的反射率进行三次测量, 并记录初始高铁肌红蛋白含量。随后, 将肉样进行真空包装, 将真空包装后的肉样置于 30 °C 的环境中放置 2 h, 再次测量肉样表面的反射率, 并计算高铁肌红蛋白含量, 所用测定均取 3 个平行样品, 每个样品重复测定 3 次取平均值。最终, 根据以下公式 (5) 计算高铁肌红蛋白的还原能力:

$$\text{MRT} = \frac{\text{Initial\%MetMb} - \text{Final\%MetMb}}{\text{Initial\%MetMb}} \times 100 \quad (5)$$

式中:

Initial%MetMb——取第 0、3、6 天不含结缔组织和脂肪的肉样, 将其浸泡于 50 mL 体积分数为 0.3% 的亚硝酸钠溶液中, 室温下静置 20 min, 取出肉样后, 用滤纸轻轻擦去表面残留的亚硝酸钠溶液, 随即对肉样表面的反射率进行三次测量, 计算的初始高铁肌红蛋白含量;

Final%MetMb——将肉样进行真空包装后置于 30 °C 的环境中放置 2 h, 拆开包装后随即对肉样表面的反射率进行 3 次测量, 计算的高铁肌红蛋白含量。

1.3.8 总还原能力 (TRA) 的测定

参考刘成龙^[14]的方法稍作改进。准确称取 2 g 肉样并切碎, 置于 10 mL $25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 PIPES 缓冲液中进行均质处理。将 5 mL 均质后的液体转移到 10 mL 容量瓶中, 加入 2 mL $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的铁氰化钾溶液, 将混合液在 2~4 °C 的低温环境中静置 1 h, 期间每隔 10 min 搅拌一次。随后, 向混合液中加入 0.1 mL 体积分数为 0.5% 的氨基磺酸铵溶液和 0.2 mL $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的醋酸铅溶液, 将溶液在室温下继续放置 5 min。接着, 加入 2.5 mL 体积分数为 20% 的三氯乙酸溶液, 用蒸馏水定容至 10 mL, 静置 5 min 后, 使用 42 号 Whatman 滤纸 (直径 110 mm) 进行过滤, 取滤液在 420 nm 波长处测定吸光度, 所用测定均取 3 个平行样品, 每个样品重复测定 3 次取平均值。最终, 依据公式 (6) 计算总还原能力:

$$\text{TRA} = A_1 - A_2 \quad (6)$$

式中:

A_1 ——420 nm 下 $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 亚铁氰化钾的吸光度;

A_2 ——420 nm 下样品的吸光度。

1.3.9 傅里叶红外光谱的采集

参考 Oldenhof 等^[15]的方法。取牛肉饼 5 mg 放置在 40 °C 恒温干燥箱中烘干 4 h 并在研钵中研磨成粉末, 将粉末铺在傅里叶红外光谱仪的晶片上进行扫描, 扫描范围为 $400 \sim 4000 \text{ cm}^{-1}$, 分辨率 4 cm^{-1} , 扫描积累 32 次对所得曲线进行处理, 去除水分和二氧化碳

干扰峰得到红外光谱图。1 600~1 700 cm^{-1} 域被认为蛋白质酰胺 I 带, 常用来表征蛋白质的二级结构, 使用 OMNIC 软件对图谱进行自动平滑、自动基线校正等预处理后, 对图谱进行傅里叶自动卷积, 将峰宽调至最高 (<40), 增强调至 1.9, 导出 CSV 格式数据, 使用 PeakFit v4.12 分析其蛋白质二级结构含量, 所用测定均取 3 个平行样品, 每个样品重复测定 3 次取平均值。

1.3.10 数据统计分析

试验数据用 SPSS 27.0 软件对数据进行统计分析, 用单因素方差分析 (ANOVA) 进行差异显著性分析, 使用 Origin 2018 进行作图, 平均值 $\pm$ 标准偏差 (Mean $\pm$ SD) 来表示。各组内、组间差异采用 Duncan's 多重比较, 结果通过字母标注法显示, 字母不同说明有显著性差异, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 肉色

色泽是衡量肉类产品质量的重要指标, 也是消费者购买肉类产品的重要依据^[16], L^* 、 a^* 和 b^* 值可以反映牛肉的色泽。 a^* 值反映了肉品中的红度值, 值越大则越红, 也更为人们所喜爱^[17], b^* 值反映了肉品中的黄度值, L^* 值反映了肉品中的亮度值。

该研究结果如表 2 所示, 在贮藏时间内, L^* 值总体呈现出先上升后下降的趋势, 0 d 时各组均无显著性差异, 到 3 d 时空白对照组显著性高于处理组 ($P<0.05$), 这与李亚萍^[18]的研究相似, 可能是因为牛肉的保水性变差, 肌肉中的水分会渗透到牛肉饼的表面, 从而增强了对光线的反射能力随着时间延长, L^* 值呈现下降趋势, 在第 6 d 时, 葡萄籽提取物处理组的 L^* 值为 44.56, 显著性高于其他组 ($P<0.05$), 说明添加花椒提取物和葡萄籽提取物均能够延缓牛肉饼肉色的变化, 且葡萄籽提取物效果更为显著。

在贮藏时间内, a^* 值均呈现下降趋势, 且对照组下降最为显著。类红梅^[9]已有研究表明, 这可能是因牛肉饼中的油脂或蛋白随贮存时间的增加而发生的, 也有微生物的繁殖的原因。0 d 时, 各组均存在显著性差异且大小比较为花椒提取物处理组 (17.63) $<$ 空白对照组 (18.20) $<$ 葡萄籽提取物处理组 (19.31), 出现此差异可能是由于提取物原本颜色影响, 随着贮藏时间延长 6 d 时, 各组均存在显著性差异且大小比较为空白对照组 (11.21) $<$ 花椒提取物处理组 (12.18) $<$ 葡萄籽提取物处理组 (12.84), 说明添加花椒提取物与葡萄籽提取物均对生鲜牛肉饼有护色作用且添加葡萄籽提取物效果更为显著。

在贮藏时间内, 空白对照组的 b^* 值呈现先升高后下降趋势, 处理组无显著性变化, 白有强等^[19]研究出现这种现象可能由于微生物分解蛋白质产生的硫化氢可与血红蛋白作用生成偏黄绿色物质, 0 d 时, 花椒提取物处理组的 b^* 值为 15.86, 显著性高于对照组与葡萄籽提取物处理组 ($P<0.05$), 可能是花椒提取物原本黄色色泽所致, 随着贮藏时间的延长, 6 d 时, 各组之间均存在显著性差异大小比较为葡萄籽提取物处理组 (12.62) $<$ 花椒提取物处理组 (12.85) $<$ 空白对照组 (13.85)。说明添加花椒提取物与葡萄籽提取物均可以延缓生鲜牛肉饼黄褐化, 但由于花椒提取物本身色泽影响导致最终色泽不如葡萄籽提取物。

综合三个指标来看, 添加葡萄籽提取物即可起到较好的生肉饼表面护色效果, 这与类红梅^[9]的研究结果接近。

表 2 花椒提取物和葡萄籽提取物对牛肉饼肉色的影响

Table 2 The influence of *Zanthoxylum bungeanum* extract and grape seed extract on the color of beef patties

处理	肉色指标	储藏时间/d		
		0	3	6
空白对照组	L^*	44.82 $\pm$ 0.99 ^{ay}	46.22 $\pm$ 0.44 ^{ax}	43.51 $\pm$ 0.45 ^{bz}
花椒提取物处理组		44.97 $\pm$ 1.12 ^{ay}	45.71 $\pm$ 0.46 ^{bx}	43.91 $\pm$ 0.68 ^{bz}
葡萄籽提取物处理组		44.34 $\pm$ 0.97 ^{ay}	45.63 $\pm$ 0.64 ^{cx}	44.56 $\pm$ 0.51 ^{az}
空白对照组	a^*	18.20 $\pm$ 0.93 ^{bx}	14.55 $\pm$ 0.36 ^{by}	11.21 $\pm$ 0.61 ^{cz}
花椒提取物处理组		17.63 $\pm$ 0.34 ^{cx}	15.59 $\pm$ 0.80 ^{by}	12.18 $\pm$ 0.72 ^{bz}
葡萄籽提取物处理组		19.31 $\pm$ 0.93 ^{ax}	15.95 $\pm$ 0.88 ^{ay}	12.84 $\pm$ 0.72 ^{az}
空白对照组	b^*	14.71 $\pm$ 1.39 ^{by}	15.68 $\pm$ 0.66 ^{bx}	13.85 $\pm$ 0.63 ^{az}
花椒提取物处理组		15.86 $\pm$ 1.00 ^{ay}	16.10 $\pm$ 0.97 ^{ax}	12.85 $\pm$ 0.96 ^{bz}
葡萄籽提取物处理组		14.58 $\pm$ 0.61 ^{by}	15.01 $\pm$ 0.72 ^{ax}	12.62 $\pm$ 0.36 ^{cz}

注: a~c: 表示同一贮藏时间、相同肉色指标条件下, 不同处理方式差异显著 ($P<0.05$); x~y: 表示同一处理方式、相同肉色指标下, 不同贮藏时间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.2 质构特征

质构特性是衡量肉制品品质的重要指标, 主要包括硬度、弹性、回复性、粘性、内聚性和咀嚼性^[11]。由表 3 可知, 在贮藏期间, 随着贮藏时间的延长, 各组硬度呈现先上升后下降趋势, 可能是由于其在储藏前期失水发生硬化所导致的, 后期由于油脂、蛋白质的氧化以及微生物的影响, 使其硬度降低^[20], 而且初始时, 花椒提取物处理组的牛肉饼硬度为 2 117.23 gf, 葡

萄籽提取物处理组的硬度为 2 115.04 gf，空白对照组为 1 809.04 gf，可见由于提取物的添加导致牛肉饼硬度显著性高于空白对照组 ($P<0.05$)，这与郭美^[21]的研究是相似的，黏性呈现上升趋势，弹性、回复性、咀嚼性和内聚性均呈现下降趋势，Xie 等^[22]有研究表明可能是由于肉样中微生物增多，代谢活动旺盛，导致肉被分解所致。贮藏至 6 d 时，处理组的硬度、弹性、回复性、咀嚼性和内聚性均显著性高于空白对照组 ($P<0.05$)，延缓了牛肉饼质构的劣变速度，且葡萄籽提取物处理组效果更为显著。综上所述，添加同等总黄酮含量的花椒提取物与葡萄籽提取物均可以改善牛肉饼质构，这与庞景涛^[11]研究的香辛料胡椒及其提取物胡椒碱对新鲜牛肉保鲜效果评价原理是相似的，且葡萄籽提取物保鲜效果更好，这可能是因为它含有的多酚，能够有效地防止脂肪和蛋白的氧化，提高肉质的质感^[23]。

2.3 脂质氧化

牛肉是一种富含多不饱和脂肪酸的食品，在空气

中易被氧化，即发生脂质氧化^[24]。脂质氧化是导致牛肉腐败变质，影响牛肉贮藏品质的主要原因之一。脂质氧化的严重程度通常通过 TBARS（硫代巴比妥酸反应物）值来衡量，这是评估脂肪氧化程度最为常用且广泛认可的指标之一^[25]。TBARS 值越高，说明脂质氧化程度越高，牛肉品质越差。评价标准：一级鲜度 $\leq 0.3\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ；二级鲜度 $\leq 0.7\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ；变质肉 $>0.7\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ ^[26]。结果如图 1 所示，在贮藏期间内，脂质氧化均呈上升趋势，且对照组最为显著。初始时均处于一级鲜度且处于最优标准状态，无显著性差异，随着贮藏时间的延长，处理组与对照组开始出现显著性差异，到第 6 天时，空白对照组 ($0.79\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) TBARS 值已经处于变质肉状态，而花椒提取物处理组 ($0.47\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 与葡萄籽提取物处理组 ($0.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) TBARS 值属于二级鲜度，这与高雪琴等^[3]研究结果类似。说明添加葡萄籽提取物和花椒提取物显著抑制了牛肉饼的脂质氧化，且添加葡萄籽提取物效果更为显著。

表 3 花椒提取物和葡萄籽提取物对牛肉饼质构的影响

Table 3 The influence of <i>Zanthoxylum bungeanum</i> extract and grape seed extract on the texture of beef patties				
指标	贮藏时间/d	花椒提取物处理组	葡萄籽提取物处理组	空白对照组
硬度/gf	0	2 117.23 ± 105.98 ^{ay}	2 115.04 ± 114.56 ^{ay}	1 809.04 ± 100.21 ^{by}
	3	2 436.21 ± 116.14 ^{bx}	2 417.17 ± 102.17 ^{bx}	2 518.31 ± 100.02 ^{ax}
	6	1 956.16 ± 104.36 ^{bz}	2 007.21 ± 151.23 ^{ay}	1 561.05 ± 151.16 ^{cz}
弹性/%	0	74.41 ± 1.56 ^{ax}	73.33 ± 3.06 ^{ax}	70.02 ± 3.11 ^{bx}
	3	65.21 ± 2.01 ^{ay}	66.54 ± 1.64 ^{ay}	63.31 ± 2.03 ^{by}
	6	60.04 ± 1.45 ^{bz}	63.14 ± 0.96 ^{az}	56.12 ± 1.55 ^{cz}
黏性/gf	0	21.04 ± 1.44 ^{az}	21.07 ± 0.69 ^{az}	22.11 ± 1.02 ^{az}
	3	26.14 ± 0.98 ^{by}	27.17 ± 2.01 ^{by}	31.05 ± 1.57 ^{ay}
	6	35.27 ± 1.52 ^{bx}	34.89 ± 0.36 ^{bx}	42.32 ± 0.95 ^{ax}
回复性	0	0.54 ± 0.01 ^{ax}	0.54 ± 0.02 ^{ax}	0.51 ± 0.007 ^{bx}
	3	0.47 ± 0.005 ^{aby}	0.49 ± 0.008 ^{ay}	0.44 ± 0.07 ^{by}
	6	0.41 ± 0.01 ^{bz}	0.44 ± 0.05 ^{az}	0.35 ± 0.005 ^{cz}
咀嚼性/gf	0	1 363.56 ± 72.14 ^{ax}	1 371.85 ± 45.21 ^{ax}	1 042.25 ± 71.12 ^{bx}
	3	1 145.55 ± 81.04 ^{ay}	1 175.78 ± 71.12 ^{ay}	651.14 ± 56.03 ^{by}
	6	961.28 ± 52.31 ^{bz}	1 007.89 ± 63.11 ^{az}	501.51 ± 55.01 ^{cz}
内聚性	0	0.69 ± 0.05 ^{ax}	0.69 ± 0.07 ^{ax}	0.66 ± 0.01 ^{bx}
	3	0.63 ± 0.03 ^{ay}	0.64 ± 0.02 ^{ay}	0.59 ± 0.04 ^{by}
	6	0.60 ± 0.03 ^{bz}	0.63 ± 0.05 ^{az}	0.54 ± 0.02 ^{cz}

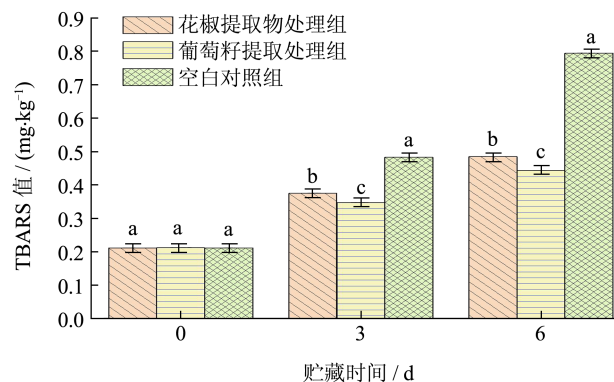


图1 花椒提取物和葡萄籽提取物对牛肉饼 TBARS 值的影响

Fig.1 The influence of *Zanthoxylum bungeanum* extract and grape seed extract on the TBARS value of beef patties

注：a~c 表示同一贮藏时间、相同肉色指标条件下，不同处理方式差异显著 ($P<0.05$)。下图同。

2.4 挥发性盐基氮

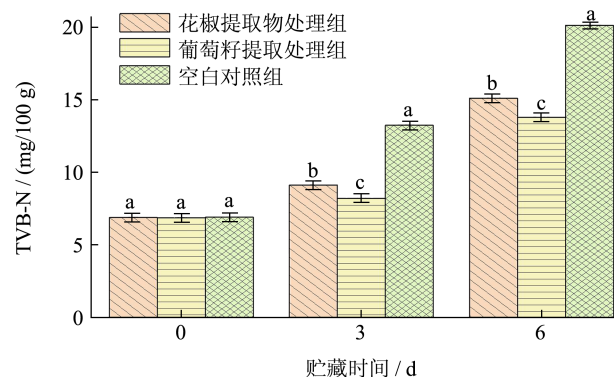


图2 花椒提取物和葡萄籽提取物对牛肉饼 TVB-N 的影响

Fig.2 The influence of *Zanthoxylum bungeanum* extract and grape seed extract on the TVB-N of beef patties

挥发性盐基氮是指在生鲜牛肉储藏期间，由微生物或酶促反应生成的氨和胺等碱性含氮物，常用是衡量牛肉的新鲜程度^[11]。TVB-N 值越大，说明蛋白质被分解的越多即牛肉越不新鲜。按国家卫生标准规定将肉的新鲜程度划分为3个等级：牛肉的国家一级鲜度标准：TVB-N <15 mg/100 g；二级鲜度标准：15 mg/100 g $\leq$ TVB-N ≤ 20 mg/100 g；腐败肉：TVB-N >20 mg/100 g^[27]。结果如图2所示，3组样品的TVB-N值均呈现上升趋势，且对照组最为显著 ($P<0.05$)。3组牛肉饼的TVB-N初始值为6.89 mg/100 g，表明牛肉新鲜。第6天时空白对照组已经超过腐败标准，花椒提取物处理组为二级鲜度，葡萄籽提取物处理组仍为一级鲜度，大小比较为葡萄籽提取物处理组 (13.81 mg/100 g) $<$ 花椒提取物处理组 (15.12 mg/100 g) $<$ 空白对照组 (20.31 mg/100 g)。综上所述，添加同等总黄酮含量的花椒提取物、葡萄籽提取物均延缓了

肉腐败速度，这与尚桂川等^[28]研究结果相似，而且添加葡萄籽提取物的效果显著性好于花椒提取物，说明与花椒提取物相比，葡萄籽提取物更能够抑制蛋白质被分解，有利于牛肉饼的保鲜。

2.5 高铁肌红蛋白还原能力

高铁肌红蛋白还原能力 (MRA) 即牛肉饼中的高铁肌红蛋白在一定条件下转化为脱氧肌红蛋白的能力^[14]。此能力与肉色稳定性有着直接关系，尤其是与牛肉饼的 a^* 值密切相关，因此高铁肌红蛋白还原能力越高，表示肉色稳定性越好，牛肉饼品质越好。结果如图3所示，在贮藏期间，高铁肌红蛋白还原能力均呈现降低趋势，这与刘成龙^[14]研究的结果相似。花椒提取物处理组与葡萄籽提取物处理组二者0~6 d下降速度均较缓，空白对照组3~6 d急剧下降，6 d时，葡萄籽提取物处理组的MRA为56.71，花椒提取物处理组的MRA为51.27，空白对照组的MRA为47.58，处理组已显著性高于空白对照组 ($P<0.05$)。综上所述，添加同等总黄酮含量的花椒提取物与葡萄籽提取物有效延缓了高铁肌红蛋白还原能力的下降，且添加葡萄籽提取物效果更为显著，这与2.1中添加葡萄籽提取物的 a^* 值显著性高于其他两组，更有利于保护牛肉饼的表面色泽的结论相印证。

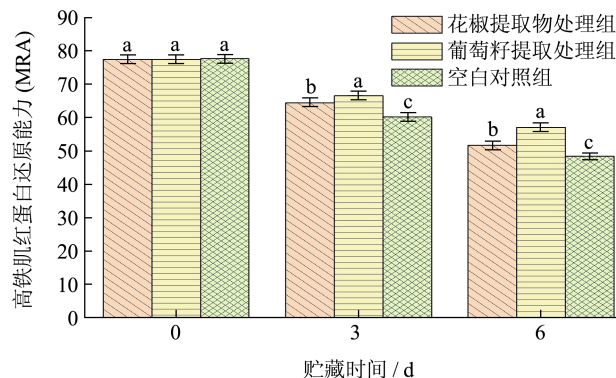


图3 花椒提取物和葡萄籽提取物对牛肉饼 MRA 的影响

Fig.3 The influence of *Zanthoxylum bungeanum* extract and grape seed extract on the MRA of beef patties

2.6 总还原能力

牛肉饼的总还原能力 (TRA) 反映了其还原系统将高铁肌红蛋白还原为脱氧肌红蛋白的能力，与肉色稳定性密切相关，TRA 越高，肉色稳定性越好，表明牛肉饼品质更佳^[14]。结果如图4所示，在贮藏期间，所有组的TRA均呈下降趋势，其中空白对照组下降最为显著。初始时，各组的TRA均为0.25，无显著差异；到第6天时，葡萄籽提取物处理组的TRA为0.22，花椒提取物处理组为0.21，空白对照组为0.19，葡萄籽

提取物处理组的 TRA 显著高于其他组 ($P<0.05$), 表明添加这两种提取物均可延缓 TRA 的下降, 有利于肉色稳定性, 且葡萄籽提取物的效果更为显著。这一结果与 2.1 中葡萄籽提取物处理组的 a^* 值显著高于其他组, 更有利于保护牛肉饼表面色泽的结论相印证。

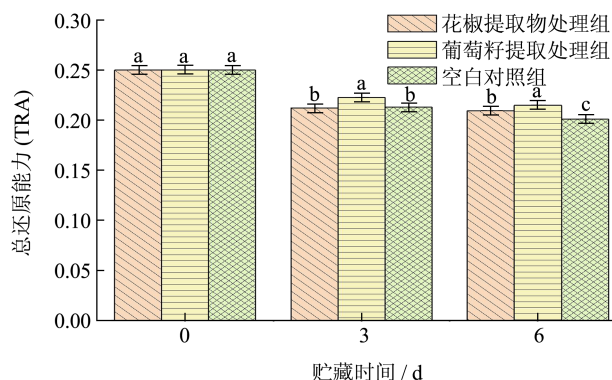


图 4 花椒提取物和葡萄籽提取物对牛肉饼 TRA 的影响

Fig.4 The influence of *Zanthoxylum bungeanum* extract and grape seed extract on the TRA of beef patties

2.7 傅里叶红外光谱及蛋白质二级结构

按照 1.3.9 中所述方法分别测得 0、3、6 d 花椒提取物处理组、葡萄籽提取物处理组和空白对照组牛肉饼的红外光谱, 使用 OMNIC 软件对图谱进行自动平滑、自动基线校正、纵坐标归一化, 导出 CSV 格式数据, 运用 Origin 2018 以波数为横坐标, 透过率为纵坐标进行绘图, 结果如图 5 所示。酰胺 A 带的特征吸收峰通常位于 $3\ 400\sim 3\ 440\text{ cm}^{-1}$ 区间, 主要与 N-H 键的伸缩振动相关; 酰胺 I 带的特征吸收峰一般出现在 $1\ 664\text{ cm}^{-1}$ 附近, 主要反映了 C=O 键的伸缩振动; 酰胺 II 带的特征吸收峰主要出现在 $1\ 534\text{ cm}^{-1}$ 附近, 与 C-N 键的伸缩振动或 N-H 键的弯曲振动有关; 酰胺 III 带的特征吸收峰通常位于 $1\ 244\text{ cm}^{-1}$ 附近, 主要与 C-H 键的伸缩振动或 N-H 键的弯曲振动相关^[29]。通过对比 0、3、6 d 的红外光谱得到以下结论: 850 cm^{-1} 附近为肌球蛋白侧链酪氨酸残基的谱图, 高瑞昌等^[30]研究表明牛肉贮藏过程中酪氨酸残基逐渐暴露, 3、6 d 处理组附近未出现较为尖锐的特征峰, 说明可能是由于植物源天然提取物中的酚类、酮类等物质与蛋白质某些疏水氨基酸发生作用, 使蛋白质结构从随机卷曲变为更为紧密的结构, 有利于蛋白质结构稳定。随着贮藏时间延长在 $1\ 654\text{ cm}^{-1}$ 附近反映 α -螺旋的特征谱带峰形均向右偏移, 且空白对照组偏移程度最大, 说明随着贮藏时间延长牛肉饼中蛋白质的 α -螺旋转变为无规则卷曲结构, 这与高雪琴^[31]研究的大豆分离蛋白和卡拉胶复配对调理猪肉制品品质的影响及机理研究的基

本原理是相似的。巯基在 $2\ 550\sim 2\ 580\text{ cm}^{-1}$ 处通过 S-H 伸缩振动检测到, 且在 $500\sim 550\text{ cm}^{-1}$ 是二硫键的特征频率, 随着贮藏时间的延长, 巯基特征峰组件变宽甚至消失二硫键特征峰逐渐明显, 空白对照组此现象最为显著, 可能是蛋白质巯基氧化产生二硫键所致, 这与高瑞昌等^[30]的研究结果是接近的, 而且从特征峰峰形来看葡萄籽提取物处理组的变化最小 ($P<0.05$)。以上结果表明, 提取物的添加可能由于其中醛酮类物质通过与蛋白质形成氢键或疏水作用等, 抑制了蛋白质氧化, 有利于牛肉饼保鲜, 且葡萄籽提取物效果较好。

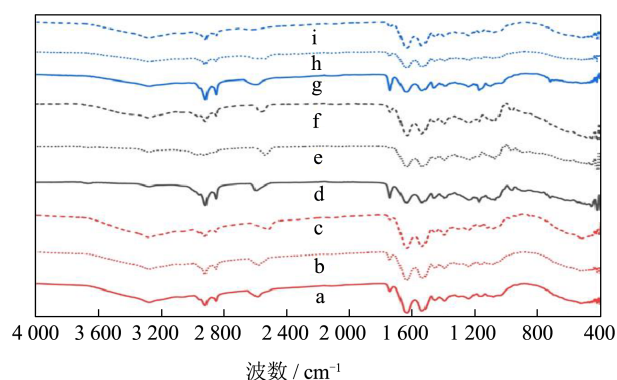


图 5 花椒提取物和葡萄籽提取物牛肉饼红外光谱图分析

Fig.5 Analysis of infrared spectrum of beef burger with *Zanthoxylum bungeanum* extract and grape seed extract

注: a 为 0 天 1.18% 花椒提取物处理组; b 为 0 天 0.1% 葡萄籽提取物处理组; c 为 0 天空白对照组; d 为 3 天 1.18% 花椒提取物处理组; e 为 3 天 0.1% 葡萄籽提取物处理组; f 为 3 天空白对照组; g 为 6 天 1.18% 花椒提取物处理组; h 为 6 天 0.1% 葡萄籽提取物处理组; i 为 6 天空白对照组。

以上关于傅里叶红外光谱的特征峰分析为蛋白质二级结构的信息提供可能, 结果如图 6 所示。蛋白质的二级和三级结构会因氧化反应而发生变化, 原因在于氧化作用可能引起蛋白质主链结构的断裂。孟子晴^[32]研究证明通常用 α -螺旋和 β -折叠的相对含量来反映较为稳定的有序二级结构, 而 β -转角和无规则卷曲的相对含量则代表无序结构。高雪琴^[31]发现调理猪肉制品中 α -螺旋的相对含量的减少与硬度等质构品质下降有着直接关系。由图 6 可知 0 d 时蛋白质二级结构均无显著性差异, 以 α -螺旋 (58.28%) 为主要二级结构, 但随着贮藏时间的延长, 各组 α -螺旋均呈现下降趋势, β -折叠均呈现下降趋势, β -转角均呈现上升趋势, 无规则卷曲均呈现上升趋势, 各组 β -折叠与 β -转角含量无显著性差异, 3、6 d 时 α -螺旋存在显著性差异, 6 d 时葡萄籽提取物处理组 (53.84%) 显著性高于花椒提取物处理组 (52.70%) 和空白对照组 (48.86%) ($P<0.05$); 3、6 d 时无规则卷曲也均存在显著性差异,

6 d 时空白对照组 (21.96%) 显著性高于花椒提取物处理组 (17.32%) 和葡萄籽提取物处理组 (15.80%) ($P < 0.05$)。表明随着贮藏时间的延长, 蛋白质二级结构中的 α -螺旋、 β -折叠逐渐转向 β -转角和无规则卷曲, 且添加花椒和葡萄籽提取物主要抑制了 α -螺旋向无规则卷曲的转变且添加葡萄籽提取物更为显著, 这与牛肉饼弹性、回复性、咀嚼性和内聚性的降低有着密切关系。说明随着贮藏时间的延长牛肉饼蛋白质结构趋于松散, 但添加花椒和葡萄籽提取物使牛肉饼蛋白质结构更加趋于有序稳定, 改善牛肉饼保鲜品质且添加葡萄籽提取物改善效果更好。

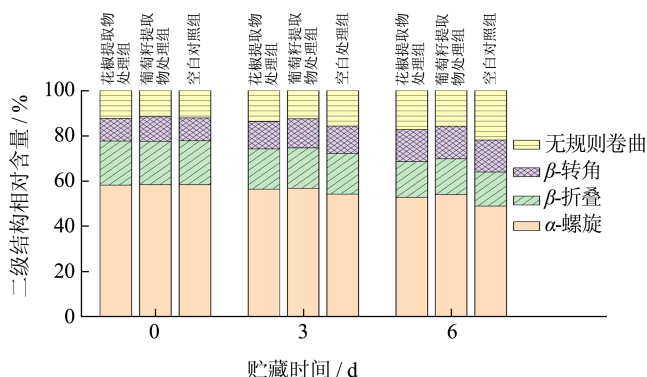


图 6 花椒提取物和葡萄籽提取物牛肉饼蛋白质二级结构分析

Fig.6 Analysis of the secondary structure of proteins in beef burgers with *Zanthoxylum bungeanum* extract and grape seed extract

3 结论

该文比较了添加同等总黄酮含量的花椒及葡萄籽提取物对生牛肉饼保鲜效果的影响, 为利用天然保鲜剂延长牛肉饼贮藏期提供了理论依据。结果显示贮藏至第 6 天时, 与对照组相比, 花椒提取物使 TBARS 值和 TVB-N 值分别降低了 $0.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $5.19 \text{ mg}/100 \text{ g}$, MRA 和 TRA 增加了 3.69 和 0.02, 葡萄籽提取物使 TBARS 值和 TVB-N 值分别降低了 $0.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $6.50 \text{ mg}/100 \text{ g}$, MRA 和 TRA 增加了 9.13 和 0.03, 因此添加同等总黄酮含量的花椒提取物与葡萄籽提取物均延缓了 TBARS 值和 TVB-N 值的升高, 高铁肌红蛋白还原能力和总还原能力的下降, 而且无论是肉色还是质构品质都有所提升, 并利用傅里叶红外及蛋白质二级结构分析, 结果显示花椒及葡萄籽提取物抑制了蛋白质氧化分解, 且主要抑制的是 α -螺旋向无规则卷曲的转变, 且添加葡萄籽提取物显著性优于花椒提取物 ($P < 0.05$)。说明花椒及葡萄籽提取物的添加均延缓了在贮藏期间脂质与蛋白质的氧化分解、微生物作用、肌肉纤维分解等所导致的牛肉饼品质下降问题, 且添加葡萄籽提取物效果更好, 而且添加花椒提取物

会使牛肉饼具有一种特殊的挥发性气味。综合考虑, 在生牛肉饼保鲜效果上, 花椒提取物保鲜效果不如葡萄籽提取物, 为利用天然保鲜剂延长牛肉饼贮藏期提供了理论依据, 进一步的研究中, 可以考虑花椒提取物和葡萄籽提取物联用等方法开发综合保鲜剂, 另一方面由于提取物本身含有一定程度的色素和挥发性气味, 今后的研究中可以考虑优化提取工艺, 降低其对调理肉制品的不利影响, 充分发挥其作为保鲜剂的潜力。

参考文献

- [1] KANTONO K, HAMID N, MA Q L, et al. Consumers' perception and purchase behaviour of meat in China [J]. Meat Science, 2021, 179: 108548.
- [2] 于晶超. 阿魏酸低聚糖对肌原纤维蛋白结构和功能特性的调控机理研究[D]. 烟台: 烟台大学, 2021.
- [3] 高雪琴, 张立志, 付丽, 等. 花椒提取物对调理猪肉饼品质的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 89-94.
- [4] SONG J H, LI X R, CHEN D, et al. Study on the adsorption and migration rule of Sichuan pepper characteristic volatile compounds during the cooking process in the sea cucumber body wall [J]. Food Chemistry, 2024, 456: 139995.
- [5] LI J K, LIU Q Y, WANG J, et al. Effect of red pepper (*Zanthoxylum bungeanum* Maxim.) leaf extract on volatile flavor compounds of salted silver carp [J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(3): 1355-1364.
- [6] MIHALY C A, PETER A, NICULA C, et al. The impact of visible light component bands on polyphenols from red grape seed extract powder encapsulated in alginate-whey protein matrix [J]. Food Chemistry, 2024, 23: 101758.
- [7] HOFMANN T, VISI-RAICZI E, VACULCIAKOVA S, et al. Direct microwave treatment enhances antioxidant and antibacterial properties of the seed extracts of Kékfrankos grapes [J]. Heliyon, 2023, 9(11): e21497.
- [8] 陈锡武. 葡萄籽提取物对南美白对虾保鲜效果的研究[J]. 食品工业, 2024, 45(4): 75-78.
- [9] 类红梅. 添加茶多酚和葡萄籽提取物对不同包装牛肉饼生鲜肉色和熟制肉色影响的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [10] JIANG L, WANG J, CHEN N, et al. Extraction and antioxidant activity analysis of total flavonoids from okra (*Abelmoschus esculentus* L.) [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2025, 19(3): 2035-2051.
- [11] 庞景涛, 胡霞, 陈丽娟, 等. 香辛料胡椒及其提取物胡椒碱对新鲜牛肉保鲜效果评价[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2024, 43(3): 238-247.
- [12] CARVALHO D J D, SOARES A L, SANTANA A D L C L. Extracts from fermented and unfermented Jatoba (*Hymenaea courbaril*) fruit peel for preservation of minced beef meat [J]. Food and Bioprocess Technology, 2024, 17(11): 3734-3745.
- [13] 5009.228-2016, 食品中挥发性盐基氮的测定[S].
- [14] 刘成龙. 气调包装对不同部位牛肉颜色稳定性影响及机理的探究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015.
- [15] OLDENHOF H, FRIEDEL K, SIEME H, et al. Membrane

- permeability parameters for freezing of stallion sperm as determined by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. Cryobiology, 2010, 61(1): 115-122.
- [16] NGUYEN T, KIM S, KIM J G. Diffuse reflectance spectroscopy to quantify the met-myoglobin proportion and meat oxygenation inside of pork and beef [J]. Food Chemistry, 2019, 275: 369-376.
- [17] SU L Y, ZHAO Z R, XIA J L, et al. Protecting meat color: The interplay of betanin red and myoglobin through antioxidation and coloration [J]. Food Chemistry, 2024, 442: 138410.
- [18] 李亚萍. 山苍子精油微胶囊的制备及其在牛肉保鲜中的应用[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2021.
- [19] 白友强, 张坦, 李斌斌. 玉米须多酚-羧甲基壳聚糖复合膜对冷鲜牛肉的保鲜作用[J]. 粮食与油脂, 2024, 37(5): 54-59, 103.
- [20] CAO Y J, HAO R, GUO Z L, et al. Combined effects of superchilling and natural extracts on beef preservation quality [J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 153: 112520.
- [21] 郭美. 调理牛肉饼贮藏品质变化规律研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2022.
- [22] XIE X H, BU T, ZHU Q Y, et al. Chitosan-puerarin composite hydrogel with magnetic enhanced photothermal properties as sustained antimicrobial coatings for beef preservation [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 278: 135027.
- [23] FAN X J, ZHANG B, ZHANG X, et al. Incorporating *Portulaca oleracea* extract endows the chitosan-starch film with antioxidant capacity for chilled meat preservation [J]. Food Chemistry: X, 2023, 18: 100662.
- [24] HUANG Q, DONG K, WANG Q, et al. Changes in volatile flavor of yak meat during oxidation based on multi-omics [J]. Food Chemistry, 2022, 371: 131103.
- [25] WANG W L, ZHAO Y C, MA Y B, et al. Effects of sodium carboxymethyl cellulose-tea polyphenols ice coating on the quality degradation of frozen-thawed beef due to changes in protein structure and fat and protein oxidation [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2024, 280: 135975.
- [26] 陈建化, 王聪, 余群力, 等. 银杏叶提取物-壳聚糖/聚乙烯醇复合膜对冷鲜牛肉保鲜效果的影响[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(22): 46-53.
- [27] ISVAND A, KARIMAEI S, AMINI M. Assessment of chitosan coating enriched with Citrus limon essential oil on the quality characteristics and shelf life of beef meat during cold storage [J]. International Journal of Food Microbiology, 2024, 423: 110825.
- [28] 尚贵川, 张九凯, 李丹蕾, 等. 葡萄籽提取物对反复冻融阿勒泰羊肉食用品质的影响[J]. 肉类研究, 2024, 38(4): 1-8.
- [29] YE M P, ZHOU R, SHI Y R, et al. Effects of heating on the secondary structure of proteins in milk powders using mid-infrared spectroscopy [J]. Journal of Dairy Science, 2017, 100(1): 89-95.
- [30] 高瑞昌, 盖静, 孙璐, 等. 基于拉曼光谱特征谱带表征冷藏凡纳滨对虾肌动球蛋白的构象[J]. 中国食品学报, 2016, 16(2): 218-223.
- [31] 高雪琴. 大豆分离蛋白和卡拉胶复配调理猪肉制品品质的影响及机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [32] 孟子晴. 植物源添加剂对牛肉饼品质与加工特性的影响及机理探究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2021.