

梁燕群, 李玲. 红心火龙果替代部分脂肪对香肠蛋白质理化特性和脂质氧化的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(8): 71-77. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060308

LIANG Yanqun, LI Ling. Effects of Red Pitaya Replacing Part of Fat on Physicochemical Properties of Protein and Lipid Oxidation of Sausage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(8): 71-77. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060308

· 研究与探讨 ·

# 红心火龙果替代部分脂肪对香肠蛋白质理化特性和脂质氧化的影响

梁燕群, 李玲\*

(临沂大学生命科学学院, 山东临沂 276000)

**摘要:** 传统香肠的脂肪含量通常较高, 不符合低脂健康的消费发展需求, 研究脂肪替代物, 创制新型低脂香肠制品具有重要意义。本研究以猪后腿肉为原料, 并以火龙果果肉替代香肠原始配比中 10%、30%、50% 的脂肪, 分析其对香肠蛋白质溶解度、色差、感官品质、巯基含量、表面疏水性、荧光强度、酸价及硫代巴比妥酸反应物值 (TBARS) 等的影响。结果表明, 随火龙果比例的增加, 总蛋白、肌浆蛋白和肌原纤维蛋白溶解度均显著增加 ( $P<0.05$ ), 与对照组相比, 30% 组分别增加 12.1%、8.4% 和 18.6%。感官评价结果表明, 30% 组各方面都高于其他组。与对照组相比, 10% 组巯基含量显著增加, 表面疏水性显著减少 ( $P<0.05$ )。综上, 红心火龙果替代部分脂肪加入至香肠中能够增加蛋白质溶解度、提升感官品质、抑制脂质氧化, 且当添加量为 30% 时, 香肠品质最佳。

**关键词:** 红心火龙果, 香肠, 蛋白质溶解度, 色差, 巯基, 脂肪氧化

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)08-0071-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060308



本文网刊:

## Effects of Red Pitaya Replacing Part of Fat on Physicochemical Properties of Protein and Lipid Oxidation of Sausage

LIANG Yanqun, LI Ling\*

(College of Life Science and Biotechnology, Linyi University, Linyi 276000, China)

**Abstract:** The fat content of traditional sausage was usually high, which did not meet the demand of low-fat healthy consumption and development. It was of great significance to study fat substitutes and make new low-fat sausage products. This study used pig leg meat as raw material and replaced 10%, 30% and 50% of fat in the original sausage ratios with pitaya fruit to analyze its effects on sausage protein solubility, colour difference, sensory quality, sulfhydryl content, surface hydrophobicity, fluorescence intensity, acid value and thiobarbituric acid reactive substances values (TBARS). The results showed that the total protein, myoplasmic protein and myofibrillar protein solubility were increased significantly with the increasing pitaya proportion ( $P<0.05$ ) compared with the control group, and the 30% group increased by 12.1%, 8.4% and 18.6% respectively. The results of the sensory evaluation showed that 30% group was higher than other groups in all aspects. Compared to the control group, the 10% group showed a significant increase in sulfhydryl content and a significant decrease in surface hydrophobicity ( $P<0.05$ ). In conclusion, the addition of red heart pitaya as a substitute for part of the fat in the sausage increased protein solubility, improved sensory quality and inhibited lipid oxidation, and the best quality of the sausage was achieved when the addition amount was 30%.

**Key words:** red pitaya; sausage; protein solubility; color; sulfhydryl; lipid oxidation

传统香肠一般含有 20%~30% 的脂肪<sup>[1]</sup>。脂肪 在肉制品风味和营养方面起着重要作用, 它不仅能够

收稿日期: 2022-06-30

基金项目: 山东省自然科学基金项目 (ZR2020MC208)。

作者简介: 梁燕群 (1999-), 女, 硕士, 研究方向: 肉品加工与质量安全控制, E-mail: 956877918@qq.com。

\* 通信作者: 李玲 (1976-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 肉品加工与质量安全控制, E-mail: lytuliling@163.com。

赋予食品特殊的风味、良好的质地以及感官特性,还提供人体必须的脂肪酸,但过多摄入高胆固醇、饱和脂肪酸对人体健康影响极大,会导致肥胖、高血压、心血管疾病及某些癌症<sup>[2]</sup>。然而直接降低脂肪含量,必然会影响产品原有的风味与口感<sup>[3]</sup>,因而研究低脂肉制品不能仅关注降低脂肪含量,还需保持与高脂产品相似的感官性质,同时解决低脂导致的产品风味不足、质构松散等问题。

脂肪替代物种类较多,包括大豆蛋白、花生蛋白、乳清蛋白等以蛋白质为基础的替代物,大豆卵磷脂等以脂肪为基础的替代物,以及胶体、淀粉类、纤维素类<sup>[4]</sup>等以碳水化合物为基础的替代物。但诸多研究表明<sup>[5]</sup>,蛋白质类替代物可能会与食品的某些风味物质发生反应,影响其风味品质;脂肪类替代物可能会增加肉制品的氧化速率<sup>[6]</sup>;碳水化合物类替代物能量较高,不被消费者青睐;果蔬类替代物与前三者相比具有优势,可替代脂肪并降低食品热量,然而目前应用到肉制品中的研究较少。

火龙果又称仙蜜果,是仙人掌科量天尺属和蛇鞭柱属植物,红心火龙果的有益成分诸多<sup>[7]</sup>,例如火龙果中的膳食纤维有促进肠胃蠕动的作用,矿物质可以预防动脉粥样硬化,且目前的研究表明火龙果还具有抗氧化功能<sup>[8]</sup>。因其独特成份对人体有良好的保健功效,所以在复合酒<sup>[9]</sup>、复合饮料<sup>[10]</sup>、海绵蛋糕、提取多糖、火龙果酱等方向均有被研究的先例<sup>[11]</sup>,并且深受食品研究者的青睐。红心火龙果作为替代物,可直接降低成品中的含脂率,同时火龙果中自身含有的成分-植物蛋白与可溶性纤维素结合,构成与脂肪咀嚼性相似的胶体物质,在肉制品中作为脂肪替代物,可在最大程度上减轻脂肪含量下降带来的食品风味损失。因此,本试验参考以往脂肪替代物的研究进展<sup>[12]</sup>,将以红心火龙果果肉替代香肠原始配比中的脂肪,对香肠的品质进行测定,深入探索火龙果型脂肪替代物的最佳比例,以期为研制和开发低脂香肠提供理论指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

猪后腿肉、红心火龙果、食盐、蔗糖、五香粉、料酒、白醋、味精、肠衣 市售;三氯乙酸、乙醚、乙醇、氢氧化钾、酚酞、硫代巴比妥酸、磷酸盐、三羟甲基氨基甲烷(tris-(hydroxymethyl)-aminomethane, Tris)、甘氨酸、5,5'-二硫代双(2-硝基苯甲酸)(5,5'-Dithiobis-(2-nitrobenzoic acid), DTNB)、溴酚蓝(chromophore bromphenol blue, BPB) 阿拉丁试剂有限公司。

AE200 电子秤 上海舜宇恒平科学仪器有限公司;722 型紫外可见分光光度计 上海精密科学仪器有限公司;TDL-5-A 离心机 上海安亭科学仪器厂;DZF-6020 干燥箱 金坛区金城致杰实验仪器厂;HHS 型电热恒温水浴锅 上海博讯实业有限公

司医疗设备厂。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 香肠的制备

1.2.1.1 配方和分组 本研究共设计 4 组试验,红心火龙果替代脂肪添加量分别为 0%、10%、30% 和 50%,分别标记为对照组、10% 组、30% 组和 50% 组。香肠基本配方比例如下:每个试验组中加入猪瘦肉 700 g、食盐 40 g、蔗糖 30 g、白酒 40 g、味精 3 g、五香粉 3 g,然后依次向试验组中加入肥肉 300、270、210、150 g 和红心火龙果果肉 0、30、90、150 g。

1.2.1.2 工艺流程及操作要点 选肉与处理→切丁→按比例混合→分组腌制→灌肠→晾晒→蒸煮→成品

切丁:瘦肉绞制,肥膘切方丁,肥瘦肉比例为 3:7;分组腌制:试验共分四组,加入各种原料,充分搅拌,静置 1~2 h;灌肠:将灌肠机里放满肉,开机。为防止尾端有空气,在灌第一根的时候先灌肉,再在肠衣尾端打结;晾晒:串挂好的香肠,放在阳光下晾晒,晾制 4 h 后,蒸煮 30 min;成品:进行指标测定。

1.2.2 色差的测定 用色差仪测定肉的颜色值,其中  $L^*$  表示亮度值; $a^*$  表示红度值(正值表示偏红,负值表示偏绿); $b^*$  表示黄度值(正值表示偏黄,负值表示偏蓝)。每组重复测定 3 次。

1.2.3 感官评价 蒸好的香肠取出冷却至室温(20 ℃左右)后切成小肉丁,用牙签挑取品尝。本试验选择对香肠的色泽、滋气味、口感、质地和总体可接受程度进行评价,品评小组成员由 10 名同学构成。使用 5 点快感标度法进行评价,评价时要保证光线充足,评定人员之间无交流,无接触,评定每份样品前需漱口,依据表 1 进行评价,最终凭借得分的总和和对每组香肠的感官品质作出判断。

表 1 香肠感官评分标准  
Table 1 Sensory evaluation standard of sausage

指标	评分标准	感官评分
色泽	肉色,光泽感好,诱人	4-5
	紫红色,光泽感较差,较诱人	2-3
	灰白,无光泽	0-1
滋气味	香气浓郁,有肉香味	4-5
	有一定香气但香味不突出	2-3
	无香气甚至有肉腥味	0-1
口感	口感爽口,有良好的咀嚼性和回弹性	4-5
	口感一般,咀嚼性和回弹性略差	2-3
	口感油腻,无咀嚼性和回弹性	0-1
质地	形状规则整齐,按压时凹痕很快恢复	4-5
	形状基本整齐,按压时凹痕恢复略慢	2-3
	形状较差,结着性差,凹痕基本不恢复	0-1
总体可接受程度	可接受程度高	4-5
	可接受程度适中	2-3
	可接受程度低	0-1

1.2.4 蛋白质的提取和溶解度的测定 首先提取肌浆蛋白,称取香肠样品 20 g,加两倍体积的蒸馏水,以 4000 r/min 的速度匀浆 30 s,然后在恒温离心机

中以 4 ℃、2000 r/min 的速度离心 15 min, 离心结束后取上清液过滤, 得到肌浆蛋白。参照 Park 等<sup>[13]</sup>描述的方法提取肌原纤维蛋白。

肌浆蛋白溶解度测定: 5 g 香肠加入 50 mL 的 0.02 mol/L (pH7.2) 预冷的磷酸盐缓冲液, 匀浆机以最低速匀浆 1 min, 放入摇床固定于 4 ℃ 匀速振荡过夜, 取出匀浆液 4000×g 离心 10 min, 上清液肌浆蛋白溶解度采用双缩脲方法进行测定。总蛋白溶解度测定: 5 g 香肠加入 100 mL 0.1 mol/L (含 1.1 mol/L 碘化钾, pH7.2) 预冷的磷酸盐缓冲液, 按肌浆蛋白同样的方法和程序进行匀浆、振荡、离心和测定。肌原纤维蛋白的溶解度为总蛋白溶解度和肌浆蛋白溶解度的差值。

1.2.5 巯基含量的测定 参考 Borrajo 等<sup>[14]</sup>的研究, 调整肌原纤维蛋白质量浓度为 2 mg/mL, 在 2.5 mL 的 Tris-甘氨酸缓冲液中用移液管准确吸取 0.5 mL 肌原纤维蛋白溶液, 再往其中加入 DTNB 20 μL, 在阴暗环境中反应 20 min, 以空白处理为对照, 在波长 412 nm 处测定吸光度, 之后通过计算得出巯基的含量。

1.2.6 表面疏水性的测定 疏水性可以用蛋白质与溴酚蓝结合的量表示。利用磷酸盐缓冲液调节肌原纤维蛋白溶液质量浓度为 5 mg/mL。然后加入 BPB 溶液涡旋混匀, 以 4000 r/min 的速度离心 10 min。转移上清液于另一套离心管, 再次离心后于 595 nm 处测定吸光度值。以蛋白结合结合 BPB 含量作为疏水性指标。

1.2.7 水分含量的测定 参照 GB 5009.237-2016 《食品安全国家标准 食品中水分的测定》, 利用食品中水分的物理性质, 在 101.3 kPa (一个大气压), 温度 101~105 ℃ 下采用挥发方法测定样品中干燥减少的重量, 再通过干燥前后的称量数值计算出水分的含量。

1.2.8 蒸煮损失的测定 肉样质量为  $M_1$  (g), 蒸煮后将香肠取出, 冷却后将香肠表面水分擦干, 称重质量  $M_2$  (g), 蒸煮损失率是基于原料蒸煮前的重量计算的百分比, 计算方法如下:

$$\text{蒸煮损失}(\%) = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_1}$$

1.2.9 荧光分析 利用荧光分光光度仪来测定肌原纤维蛋白溶液色氨酸荧光的变化。利用磷酸盐缓冲液调节肌原纤维蛋白溶液质量浓度为 0.1 mg/mL, 吸取 0.1 mL 置于石英比色皿中, 室温条件下于 283 nm 波长处激发, 记录 300~400 nm 波长范围的发射光谱供后续分析。

1.2.10 酸价的测定 向锥形瓶中加入乙醚乙醇的混合溶液及 0.5 mL 1% 的酚酞指示剂, 用氢氧化钾滴定至淡红色正好出现且半分钟内不褪色。随后向其中加入 3~5 g 混匀的香肠试样, 置于上述的同一个锥

形瓶中, 轻轻摇动使样品溶解, 加入 2 滴 1% 酚酞, 用氢氧化钾标准溶液滴定至出现微红色, 且 0.5 min 内不褪色, 记录此次滴定所消耗的氢氧化钾标准溶液的体积。酸价数值运用中和 1 g 油脂中游离脂肪酸所消耗的氢氧化钾的 mg 数表示, 酸价越小, 说明油脂质量越好。

1.2.11 硫代巴比妥酸反应物 (TBARs) 值的测定 参照 Liza 等<sup>[15]</sup>方法, 取 10 g 细碎样品, 溶于 20 mL 三氯乙酸中, 在均质离心后, 取 5 mL 离心管内的上清液置于比色管中, 加入 5 mL 硫代巴比妥酸溶液, 混合液经沸水浴加热处理, 冷却至室温后, 在 532 nm 波长处测吸光度。TBARs 值以每千克肉样中所含的丙二醛的质量表示, 按照下式计算。

$$\text{TBARs值}(\text{mg/kg}) = \frac{A \times V \times M}{\epsilon \times L \times m}$$

式中: A 为 532 nm 波长处吸光度; V 为样品溶液体积, mL; M 为丙二醛的摩尔质量, 72.063 g/mol;  $\epsilon$  为摩尔吸光系数, 156000 L/(mol/cm); L 为光程, 1 cm; m 为肉样质量, g。

### 1.3 数据处理

每组试验重复 3 次, 利用 Excel 软件进行试验数据统计与分析, 数据采用平均值±标准差表示; 利用 SPSS 25 软件进行单因素方差分析和 Duncan's 多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 火龙果添加对香肠色差的影响

色差测定中的  $L^*$  表示样品明暗度, 正值越大表明样品亮度越高。由表 2 看出, 10% 处理组  $L^*$  值最大, 30% 与 50% 处理组  $L^*$  值均比对照组小, 各试验组相对于对照组的  $L^*$  值均差异显著 ( $P < 0.05$ )。最大  $L^*$  值出现在 10% 组, 可能是由于肥瘦肉与火龙果肉局部混合不均匀, 提高了香肠的亮度; 30% 与 50% 组的  $L^*$  值下降, 是因为火龙果的暗红色平衡了香肠的白色, 因此降低了香肠的亮度。另外, 添加火龙果的处理组与对照组相比, 均能提高其  $a^*$  值, 50% 处理组  $a^*$  值最大, 对照组  $a^*$  值较小, 相近比例火龙果添加组差异不显著。 $a^*$  值增大是因为火龙果本身的红色造成, 红色越深, 数值越大。整体推论, 添加适量的火龙果可以稳定提高香肠的  $a^*$  值, 其最佳加入量在 30%~50% 之间。其它条件相同时, 添加火龙果的处理组均能显著降低香肠的  $b^*$  值 ( $P < 0.05$ )。 $b^*$  值呈下

表 2 火龙果添加对香肠颜色的影响

Table 2 Effect of pitaya with different addition amount on color difference

组别	$L^*$	$a^*$	$b^*$
对照组	88.40±0.46 <sup>b</sup>	3.27±0.10 <sup>c</sup>	9.18±0.54 <sup>a</sup>
10%组	89.47±0.28 <sup>a</sup>	3.74±0.23 <sup>bc</sup>	8.25±0.33 <sup>b</sup>
30%组	86.33±0.18 <sup>c</sup>	4.12±0.35 <sup>ab</sup>	8.15±0.33 <sup>b</sup>
50%组	85.92±0.13 <sup>c</sup>	4.57±0.24 <sup>a</sup>	8.01±0.12 <sup>b</sup>

注: 同列不同小写字母表示差异显著,  $P < 0.05$ ; 表4同。

降趋势,表明样品越来越偏向紫色,这也是由火龙果自身含有的红色素造成。

### 2.2 火龙果添加对香肠感官品质的影响

由表3可知,香肠中添加火龙果并不是添加得越多,其感官评分越高。肉制品中添加不同含量的果蔬,总体脂肪含量会相对降低,膳食纤维增加,影响物料间的粘合力,阻碍肉蛋白凝胶,最终对肉制品的口感、色泽、香味等产生影响。谭志光等<sup>[16]</sup>在西式香肠中,分别添加菠萝、胡萝卜和洋葱后对果蔬香肠进行感官评价,得出并不是果蔬含量越高其口感越好的结论。添加10%和30%火龙果的处理组的色泽评分高于对照组,30%处理组的色泽评分显著高于对照组( $P<0.05$ ),而50%处理组则低于对照组,这可能是火龙果含量的增多致使红心火龙果色素含量的增加,火龙果色素随着蒸制过程中温度的升高使其中的糖类物质发生了变化,从而加深了香肠的颜色,使其成为紫红色。岳兰昕等<sup>[17]</sup>将樱桃汁加入到猪肉火腿罐头中研究发现,高含量的樱桃汁的色泽不被人们接受,颜色呈暗红色。

表3 火龙果添加对香肠感官品质的影响(分)  
Table 3 Effects of pitaya with different additions on the sensory quality of sausage (scores)

指标	对照组	10%组	30%组	50%组
色泽评分	3.73±0.64 <sup>b</sup>	4.50±0.00 <sup>ab</sup>	4.87±0.11 <sup>a</sup>	3.40±0.78 <sup>b</sup>
滋气味评分	4.23±0.25 <sup>ab</sup>	4.20±0.17 <sup>ab</sup>	4.70±0.26 <sup>a</sup>	3.67±0.58 <sup>b</sup>
口感评分	4.03±0.06 <sup>a</sup>	4.27±0.25 <sup>a</sup>	4.43±0.51 <sup>a</sup>	4.50±0.50 <sup>a</sup>
质地评分	3.90±0.10 <sup>ab</sup>	3.93±0.06 <sup>ab</sup>	4.17±0.29 <sup>a</sup>	3.27±0.64 <sup>b</sup>
总体评分	3.83±0.76 <sup>a</sup>	4.10±0.17 <sup>a</sup>	4.43±0.51 <sup>a</sup>	4.17±0.15 <sup>a</sup>

注:同行小写字母不同,表示不同组间差异显著( $P<0.05$ )。

果蔬的添加量受到肉类风味特性的限制,因此添加量不可过高,但添加量过低,对于肉制品的营养改善会受到限制。由此总结出,30%火龙果处理组感官评价各方面都高于其他组,更受人们喜爱。

### 2.3 火龙果添加对香肠蛋白质的溶解度

由图1可知,对照组的总蛋白质溶解度为

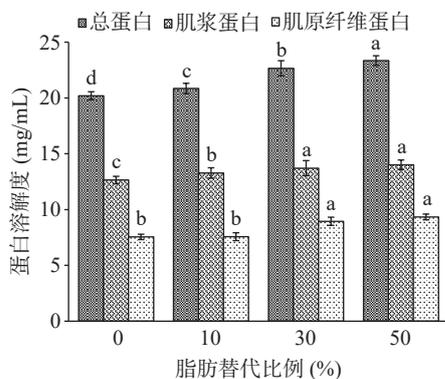


图1 火龙果添加对蛋白溶解度的影响

Fig.1 Effect of pitaya with different addition amount on protein solubility

注:同种蛋白小写字母不同,表示组间差异显著( $P<0.05$ )。

20.23 mg/mL,随着火龙果替代量的增加,总蛋白质溶解度在不断增加,当替代量为30%时,其溶解度显著增加达到22.66 mg/mL,与对照组相比增加了12.1%。肌浆蛋白和肌原纤维蛋白溶解度与对照组相比,随着替代量的增加,都呈现显著增加趋势,当火龙果替代量为30%时,肌浆蛋白溶解度为13.71 mg/mL,肌原纤维蛋白溶解度为8.95 mg/mL,与对照组相比分别增加了8.4%和18.6%。结果显示将火龙果替代部分脂肪添加到香肠中,能够显著增加蛋白质的溶解度,可能由于火龙果中的多酚促进了蛋白质的溶解。张慧芸等<sup>[18]</sup>的研究发现,多酚类物质可与蛋白质以离子键或氢键的形式结合,进而减少蛋白质聚合,从而提高蛋白质的稳定性。

### 2.4 火龙果添加对香肠中巯基含量及疏水性的影响

由表4可知,各组水分含量均在50%以上,其中30%火龙果处理组的水分含量与对照组相比差异显著,表明当火龙果添加比例达到30%时可对成品水分含量造成显著影响,这是由于火龙果本身能够在适宜温度下保存较长时间,水分含量降低幅度缓慢。除火龙果添加比例这一变量外,肉类本身也含有较多水分,在肌肉组织中,蛋白质的含量越高,其系水力越大。参考袁晓龙等<sup>[19]</sup>对低脂香肠的研究,发现水分含量是影响低脂香肠硬度、咀嚼性和凝聚性的主要因素,当水分含量为20%时,香肠的回复性达到最优。整体可以推论出,需要适当减少香肠配方中的瘦肉比例,优化瘦肉、脂肪、火龙果的整体比例。

表4 火龙果添加对香肠水分含量、蒸煮损失、巯基含量及疏水性的影响

Table 4 Effects of pitaya with different additions on water content, cooking loss, sulfhydryl content and hydrophobicity of sausage

组别	水分含量 (mL/g)	蒸煮损失率 (%)	巯基含量 (nmol/mg)	疏水性(μg BPB/mg蛋白)
对照组	54.55±0.16 <sup>c</sup>	0.22±0.0028 <sup>d</sup>	52.11±0.22 <sup>d</sup>	59.57±0.36 <sup>a</sup>
10%组	55.33±0.27 <sup>bc</sup>	0.23±0.0016 <sup>c</sup>	54.25±0.16 <sup>c</sup>	56.52±0.33 <sup>b</sup>
30%组	57.52±0.23 <sup>b</sup>	0.25±0.0038 <sup>b</sup>	56.32±0.11 <sup>b</sup>	53.42±0.16 <sup>c</sup>
50%组	59.19±0.12 <sup>a</sup>	0.26±0.0015 <sup>a</sup>	60.31±0.14 <sup>a</sup>	51.52±0.23 <sup>d</sup>

当替代比例为30%时,蒸煮损失在25%以上。结果表明,添加火龙果会提高香肠的蒸煮损失。而Gao等<sup>[20]</sup>研究发现,肉制品中的膳食纤维能够吸水膨胀,具有保水性。因为火龙果中含有膳食纤维,所以适量添加火龙果理论上应降低香肠的蒸煮损失,与本试验数据并不一致,这可能是因为每100g火龙果中仅含膳食纤维1.62g,而水分多达83.75g,所以水分的蒸煮损失量更大一些<sup>[17]</sup>。

在蛋白质的氧化过程中香肠中的各项指标都有显著的变化,其中巯基含量的变化是检测蛋白质是否发生氧化的一个重要依据<sup>[21]</sup>,蛋白质氧化的最初反应之一就是巯基的氧化。由表4可知,未添

加红心火龙果时, 香肠肌原纤维蛋白的巯基含量为 52.11 nmol/mg, 红心火龙果替代部分脂肪后, 各试验组肌原纤维蛋白的巯基含量相比于对照组都有显著增加( $P < 0.05$ ), 当含量达到 50% 的时候, 肌原纤维蛋白的巯基含量为 60.31 nmol/mg, 巯基的含量相比于对照组增加的最多, 从总体的趋势来看, 红心火龙果的加入能够使肌原纤维蛋白的巯基含量显著增加<sup>[22]</sup>。这是由于火龙果中的花青素等抗氧化成分改变了蛋白质分子的交联状态<sup>[23]</sup>, 使分子内的二硫键还原, 进而发生巯基含量的变化。

研究发现氧化剂的加入可显著增加蛋白质的表面疏水性, 随着氧化时间的延长蛋白质的表面疏水性在增加<sup>[24]</sup>, 这与本次试验结果一致, 说明红心火龙果作为抗氧化剂加入到香肠中可能与蛋白质发生了某些作用<sup>[25]</sup>, 使蛋白质的疏水基团减少且与溴酚蓝试剂结合的量降低, 从而表现出香肠蛋白质的表面疏水性降低<sup>[26]</sup>, 使蛋白质的结构更加稳定, 延缓了蛋白质的氧化。

### 2.5 火龙果添加对荧光强度的影响

由图 2 可知, 对照组的荧光强度最低, 随着火龙果添加量的增加, 肌原纤维蛋白的荧光强度也在不断地增加, 在红心火龙果添加量为 50% 时, 达到最大的荧光强度, 前人发现氧化后的肌原纤维蛋白荧光强度有所降低<sup>[27]</sup>, 这与本次试验结构是一致的。这可能是由于加入红心火龙果后, 甜菜红素具有的抗氧化性质, 对肌原纤维蛋白具有保护作用<sup>[28]</sup>。

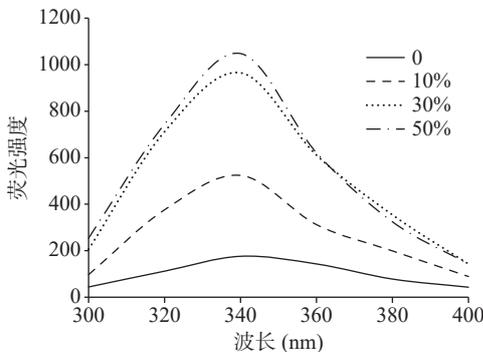


图 2 火龙果添加对荧光强度的影响

Fig.2 Effect of different amounts of pitaya addition on fluorescence intensity of sausage

### 2.6 火龙果添加对酸价与硫代巴比妥酸反应物 (TBARs) 值的影响

由图 3 可以看出添加火龙果后各个处理组的酸价均显著低于对照组( $P < 0.05$ ), 当火龙果添加量达到 30% 时, 会对酸价产生显著影响。整体可以看出, 添加火龙果果肉可以起到降低脂肪酸价的作用。这是由于香肠中的游离脂肪酸与火龙果果肉中的白蛋白相互作用<sup>[29]</sup>, 减少了与氢氧化钾的结合量, 进而表现出酸价数值随火龙果比例增加而降低的现象。

另外, 各火龙果添加组的 TBARs 值均比对照组小, 将火龙果添加到 10% 比例可以起到延缓脂肪氧

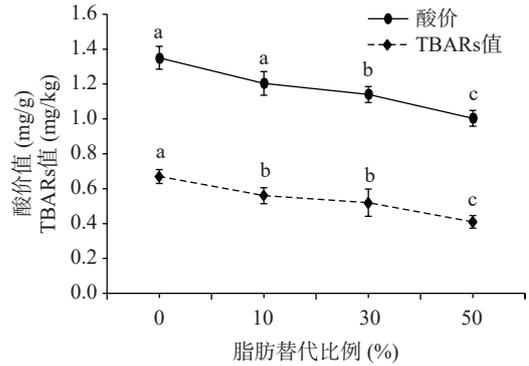


图 3 火龙果添加对酸价和 TBARs 值的影响

Fig.3 Effect of pitaya with different addition amount on acid value and TBARs value

化的作用, 50% 处理组酸价最低, 这可能因为火龙果中花青素和甜菜红素<sup>[30]</sup> 含量丰富, 二者具有抗氧化作用。在火龙果添加比例为 0%~50% 范围内, 替代比例越高, 降低酸价和过氧化值的效果越明显, 即 50% 的火龙果处理组抗氧化效果最佳。

### 3 结论

将红心火龙果替代部分脂肪加入到香肠中, 各试验组蒸煮损失均增大到 20% 以上, 同时可以将总蛋白质、肌浆蛋白和肌原纤维蛋白的溶解度均增加至 8% 以上。由于火龙果本身的红色素, 导致香肠的  $L^*$  值降低,  $a^*$  值增加,  $b^*$  值降低, 30% 火龙果处理组, 与对照组相比差异显著( $P < 0.05$ )。火龙果中含有的花青素, 甜菜色素等活性成分能够抑制蛋白质的氧化, 因而使蛋白质的巯基含量增加, 同时这些活性成分可与蛋白质发生某些作用, 使疏水基团减少, 疏水性降低; 结果表明, 红心火龙果中的活性成分具有抗氧化作用, 能够保护肌原纤维蛋白, 从而使蛋白质的荧光强度增加。在酸价和硫代巴比妥酸值方面, 30% 火龙果处理组与对照组差异显著( $P < 0.05$ ), 效果最佳。

结合各项试验结果可以看出用红心火龙果替代部分脂肪, 可明显改善香肠的感官品质和理化性质, 且在替代比例为 30% 时, 整体品质达到最佳。本试验填补了火龙果作为脂肪替代物对低脂肉制品风味影响的研究空白, 为低脂肉制品的开发提供了一定的理论指导, 但关于红心火龙果对低脂香肠作用的机理还需要进一步研究。

### 参考文献

- [1] HERRERO A M, RUIZ C C, PINTADO T, et al. Infrared spectroscopy used to determine effects of chia and olive oil incorporation strategies on lipid structure of reduced-fat frankfurters[J]. *Food Chemistry*, 2017, 221: 1333-1339.
- [2] RAHMAN M S, SEO J K, ZAHID M A, et al. Physicochemical properties, sensory traits and storage stability of reduced-fat frankfurters formulated by replacing beef tallow with defatted bovine heart[J]. *Meat Science*, 2019, 151: 89-97.
- [3] CHOI Y S, KIM Y B, HWANG K E, et al. Effect of apple po-

- mace fiber and pork fat levels on quality characteristics of uncured, reduced-fat chicken sausages[J]. *Poultry Science*, 2016, 95(6): 1465-1471.
- [4] 麦馨允, 苏仕林, 曾维标. 膳食纤维的加工性能以及在脂肪替代物方面的应用[J]. *粮食与饲料工业*, 2019(5): 17-21. [MAI Xinyun, SU Shilin, ZENG Weibiao. Processing properties of dietary fiber and its application in fat substitutes[J]. *Food and Feed Industry*, 2019(5): 17-21.]
- [5] DELGADO P G, PINTADO T. New strategies for innovative and enhanced meat and meat products[J]. *Foods*, 2022, 11(5): 772.
- [6] 高艳蕾, 张丽, 余群力, 等. 动物脂肪替代物及其在肉制品中的应用研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(15): 315-324. [GAO Yanlei, ZHANG Li, YU Liqun, et al. Research progress of animal fat substitutes and their application in meat products[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2021, 47(15): 315-324.]
- [7] 肖默艳, 黄燕芬, 王东伟, 等. 红心火龙果果肉中活性成分与其抗氧化能力的相关性研究[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(11): 98-103, 133. [XIAO Moyan, HUANG Yanfen, WANG Dongwei, et al. Study on the correlation between the active components in the flesh of pitaya and its antioxidant capacity[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(11): 98-103, 133.]
- [8] HE Xuemei, TANG Yayuan, SUN Jian, et al. Optimization of extraction technology of red pitaya pigment and analysis of its chemical composition[J]. *Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology*, 2020: 127.
- [9] 段秋霞, 李定金, 段振华, 等. 红心火龙果酒颜色稳定性影响因素的研究[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(24): 130-136. [DU-AN Qiuxia, LI Dingjin, DUAN Zhenhua, et al. Study on Influence factors of color stability of red heart dragon wine[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(24): 130-136.]
- [10] 黄韬睿, 郑立新, 雷健, 等. 红心火龙果富硒红茶复合饮料加工工艺[J]. *食品工业*, 2022, 43(5): 25-28. [HUANG Taorui, ZHENG Lixin, LEI Jian, et al. Processing technology of red heart pitaya selenium rich black tea composite beverage[J]. *Food Industry*, 2022, 43(5): 25-28.]
- [11] 孙卉, 金含, 杨容容, 等. 红心火龙果功能特性及其产品开发研究进展[J]. *中国酿造*, 2019, 38(7): 16-19. [SUN Hui, JIN Han, YANG Rongrong, et al. Research progress on functional characteristics and product development of red heart pitaya[J]. *China Brewing*, 2019, 38(7): 16-19.]
- [12] MICHELE U, RUBILENCE R A, CAROLINA G V, et al. Characterization and application of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel power as a fat replacer in ice cream[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2020, 44(5): 129-132.
- [13] PARK D, XIONG Y L, ALDERTON A L. Concentration effects of hydroxyl radical oxidizing systems on biochemical properties of porcine muscle myofibrillar protein[J]. *Food Chemistry*, 2007, 101(3): 1239-1246.
- [14] BORRAJO P, KARWOWSKA M. Comparison of the effect of enhancing dry fermented sausages with *Salvia hispanica* and *Nigella sativa* seed on selected physicochemical properties related to food safety during processing[J]. *Applied Sciences*, 2021, 11(19): 9181.
- [15] LIZA J, DAREN C, CHARLES E. Color and thiobarbituric acid values of cooked top sirloin steaks packaged in modified atmospheres of 80% oxygen, or 0.4% carbon monoxide, or vacuum[J]. *Meat Science*, 2005, 69(3): 441-449.
- [16] 谭志光, 池东, 刘永强, 等. 添加果蔬对西式香肠感官和质构特性的影响研究[J]. *中国调味品*, 2008(8): 88-91. [TAN Zhiguang, CHI Dong, LIU Yongqiang, et al. Effects of adding fruits and vegetables on sensory and texture characteristics of Western sausage[J]. *China Condiment*, 2008(8): 88-91.]
- [17] 岳竺昕, 樊晓盼, 郭耀华, 等. 樱桃对猪肉火腿罐头的品质及阻断N-亚硝胺形成的作用[J]. *肉类研究*, 2016, 30(8): 6-12. [YUE Lanxin, FAN Xiaopan, GUO Yaohua, et al. Effect of cherry on the quality of canned pork and ham and blocking the formation of N-nitrosamine[J]. *Meat Research*, 2016, 30(8): 6-12.]
- [18] 张慧芸, 吴静娟, 郭新宇. 多酚对猪肉肌原纤维蛋白氧化和凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(21): 43-47. [ZHANG Huiyun, WU Jingjuan, GUO Xinyu. Effects of polyphenols on the oxidation and gel properties of pork myofibrillar protein[J]. *Food Science*, 2016, 37(21): 43-47.]
- [19] 袁晓龙, 韩衍青, 李景军, 等. 水分、变性淀粉、大豆分离蛋白和卡拉胶对低脂香肠的影响[J]. *食品工业科技*, 2014(12): 253-257. [YUAN Xiaolong, HAN Yanqing, LI Jingjun, et al. Effects of water, modified starch, soy protein isolate and carrageenan on low fat sausage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014(12): 253-257.]
- [20] GAO X Q, ZHANG W G, ZHOU G H. Effects of glutinous rice flour on the physicochemical and sensory qualities of ground pork patties[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2014, 58(1): 141.
- [21] 黄业传, 王洋, 彭春雷. 玫瑰花提取液对发酵香肠品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(3): 205-211. [HUANG Yechuan, WANG Yang, PENG Chunlei. Effect of rose extract on the quality of fermented sausage[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2022, 48(3): 205-211.]
- [22] 贾娜, 林世文, 王乐田, 等. 没食子酸诱导肌原纤维蛋白巯基含量和表面疏水性变化对蛋白凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(22): 1-7. [JIA Na, LIN Shiwen, WANG Letian, et al. Effect of gallic acid-induced changes of thiol content and surface hydrophobicity of myofibrillar protein on the properties of protein gel[J]. *Food Science*, 2020, 41(22): 1-7.]
- [23] 孟莹, 宋英石, 刘锐, 等. 葡萄籽低聚原花青素对面筋蛋白交联作用的影响[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(14): 8-15. [MENG Ying, SONG Yingshi, LIU Rui, et al. Effect of *Oligomeric proanthocyanidins* from grape seeds on cross-linking of gluten protein[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(14): 8-15.]
- [24] 张灵帮, 邵玲, 胡隼, 等. 两种火龙果果皮红色素提取工艺优化及其抗氧化活性[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(5): 163-169. [ZHANG Lingbang, SHAO Ling, HU Sun, et al. Optimization of extraction technology and antioxidant activity of red pigment from two pitaya peel[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(5): 163-169.]
- [25] 刘冰. 火龙果果皮甜菜红素提取及抗氧化保护作用研究[D]. 锦州: 锦州医科大学, 2018. [LIU Bing. Study on extraction

- and antioxidant protection of lycopene from pitaya peel[D]. Jinzhou: Jinzhou Medical University, 2018. ]
- [ 26 ] 刘丹. 五种植物多酚对氧化环境中猪肉肌原纤维蛋白结构及凝胶特性的影响[D]. 锦州:渤海大学, 2017. [ LIU Dan. Effects of five plant polyphenols on the structure and gel properties of pork myofibrillin in oxidative environment[D]. Jinzhou: Bohai University, 2017. ]
- [ 27 ] 曹云刚. 植物多酚对肉蛋白氧化稳定性和功能特性的影响机理及应用[D]. 无锡:江南大学, 2016. [ CAO Yungang. Mechanism and application of plant polyphenols on oxidative stability and functional properties of meat protein[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016. ]
- [ 28 ] 张培培. 不同氧化油脂对中式香肠中蛋白质氧化的影响[D]. 扬州:扬州大学, 2014. [ ZHANG Peipei. Effect of different oxidized oils on protein oxidation in Chinese sausage[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2014. ]
- [ 29 ] 高东莉, 孙鹏, 王倩文, 等. 运用 NMR 研究白蛋白与脂肪酸的相互作用[J]. 波谱学杂志, 2018, 35(3): 338-344. [ GAO Dongli, SUN Peng, WANG Qianwen, et al. Study on the interaction between albumin and fatty acids by NMR[J]. Chinese Journal of Magnetic Resonance, 2018, 35(3): 338-344. ]
- [ 30 ] 王锦霞, 郭萌萌, 刘亚昕, 等. 红甜菜提取物及甜菜红素的体外抗氧化活性分析[J]. 中国糖料, 2021, 43(4): 59-63. [ WANG Jinxia, GUO Mengmeng, LIU Yaxin, et al. *In vitro* antioxidant activity analysis of red beet extract and beet red pigment[J]. Sugar Crops of China, 2021, 43(4): 59-63. ]