

大豆分离蛋白与茶多酚稳定的高内相Pickering乳液替代脂肪对肉丸品质的影响

刘树萍, 彭秀文, 张佳美, 李沛钊

Effect of Soybean Protein Isolate and Tea Polyphenol Stabilized High Interior Phase Pickering Emulsion Replacing Fat on Meatball Quality

LIU Shuping, PENG Xiuwen, ZHANG Jiamei, and LI Peizhao

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023050118>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

大豆脑磷脂对汉麻分离蛋白Pickering乳液的形成及其性质的影响

Effect of Soybean Phosphatidyl Ethanolamine on the Formation and Properties of Pickering Emulsion Stabilized by Hemp Protein Isolate

食品工业科技. 2021, 42(23): 66-72 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021020124>

基于食品级胶体颗粒稳定Pickering乳液的研究进展

Research Progress of Stabilized Pickering Emulsion Based on Food Grade Colloidal Particles

食品工业科技. 2019, 40(4): 317-324 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.04.053>

八角茴香提取物对牛肉丸脂肪氧化和品质特性的影响

Effect of Star Anise Extracts on Lipid Oxidation and Quality of Beef Meatballs

食品工业科技. 2019, 40(2): 58-62,69 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.02.011>

麸皮对猪肉丸品质的影响

Effect of Wheat Bran on Quality of Pork Meatballs

食品工业科技. 2018, 39(13): 67-72,104 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.13.013>

乳化玉米胚芽油对鸡肉丸品质的影响

Effects of Emulsified Corn Germ Oil on Quality of Chicken Meatball

食品工业科技. 2020, 41(4): 58-61,73 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.011>

复乳凝胶作为脂肪替代物对鸡肉肠理化性质的影响

Effect of Double Emulsion Gels as Fat Replacers on the Physicochemical Properties of Chicken Sausage

食品工业科技. 2020, 41(8): 7-14 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.08.002>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

刘树萍, 彭秀文, 张佳美, 等. 大豆分离蛋白与茶多酚稳定的高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(6): 59–66. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050118

LIU Shuping, PENG Xiuwen, ZHANG Jiamei, et al. Effect of Soybean Protein Isolate and Tea Polyphenol Stabilized High Interior Phase Pickering Emulsion Replacing Fat on Meatball Quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(6): 59–66. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050118

· 研究与探讨 ·

大豆分离蛋白与茶多酚稳定的高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸品质的影响

刘树萍*, 彭秀文, 张佳美, 李沛钊

(哈尔滨商业大学旅游烹饪学院, 黑龙江哈尔滨 150028)

摘要: 为降低饱和脂肪摄入过高对人体健康造成的危害, 本实验选择大豆分离蛋白与大豆油为原料制备高内相 Pickering 乳液 (High interphase Pickering emulsions, HIPEs), 并以茶多酚作为活性物质进一步优化乳液性能, 以替代肉丸中动物脂肪。分别选用水、HIPEs 及负载茶多酚的 HIPEs 替代猪背脂肪, 制备了 6 种不同的配方, 并对肉丸的理化、感官指标进行表征。结果表明, 相较于对照组, 除 pH 外各指标均存在显著性差异 ($P < 0.05$), 随着乳液的添加, 肉丸的蒸煮得率可提高至 93.59%, 水分含量上升至 66.91%, 脂肪含量下降至 8.42%, 蛋白质含量上升至 14.48%, 肉丸的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性均随着乳液的添加而上升, pH 无明显差异, 添加 Pickering 乳液后肉丸的 L^* 值提高, a^* 、 b^* 值因茶多酚的添加而升高, 含茶多酚的 HIPEs 对肉丸水分与脂肪渗出率的改善最佳, 分别降低至 1.57% 与 0.019%, 硫代巴比妥酸 (Thiobarbituric acid, TBA) 值最低为 4.12 mg/kg, 添加乳液后, 感官评价较对照组均有所上升。以 HIPEs 作为脂肪替代可有效减少肉丸中脂肪含量, 提高肉丸的出品率及品质, 本研究可为减脂肉制品的开发提供一定参考。

关键词: 高内相 Pickering 乳液, 茶多酚, 脂肪替代, 肉丸, 脂肪氧化

中图分类号: TS251.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)06-0059-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023050118



本文网刊:

Effect of Soybean Protein Isolate and Tea Polyphenol Stabilized High Interior Phase Pickering Emulsion Replacing Fat on Meatball Quality

LIU Shuping*, PENG Xiuwen, ZHANG Jiamei, LI Peizhao

(College of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract: In order to reduce the harm caused by high intake of saturated fat on human health. This study aimed to investigate the effect of high interphase Pickering emulsions (HIPEs) stabilized by soybean protein isolated and soybean oil, and tea polyphenols were used as functional ingredients to evaluate two different HIPEs as pork back fat (PBF) replacers in the meatballs. Six different formulations were prepared by the replacement of PBF with water, HIPEs and HIPEs loaded with tea polyphenols. Physical, chemical and sensory indexes of meatballs were assessed. Compared with the control group, there were significant differences in all indexes expect pH ($P < 0.05$). Reduce-fat meatballs with HIPEs showed higher cooking rate (93.59%), content of moisture (66.91%) and protein (14.48%) and lower content of fat (8.42%). The hardness, elasticity, cohesiveness and chewability of meatballs increased with the addition of emulsion. After addition of HIPEs, the L^* of meatballs was increased, and the a^* , b^* were increased due to the addition of tea polyphenols. The HIPEs loaded with tea polyphenols had the best improvement on the infiltrate on the moisture (1.57%) and fat (0.019%) of meatballs, the lowest TBA value was 4.12 mg/kg. The sensory evaluation was higher than the control group. Using HIPEs as a fat substitute could effectively reduce the fat content in meatballs and improve the yield and quality of meatballs. This study can provide some reference for the development of fat-reducing meat products.

收稿日期: 2023-05-12

基金项目: 黑龙江省自然科学基金项目 (LH2021B015); 2021 年哈尔滨商业大学教师“创新”项目支持计划项目 (LH2021B015); 第二批国家级职业教育教师教学创新团队课题研究项目 (ZH2021080101)。

作者简介/通信作者*: 刘树萍 (1982-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 传统烹饪工业化, E-mail: liusp201@163.com。

Key words: high interphase Pickering emulsion; tea polyphenols; fat-replace; meatballs; fat oxidation

动物脂肪在加工原料中可赋予食品良好的口感与风味,减少食品生产加工过程中的水分流失^[1],但其较高的饱和脂肪酸含量对消费者的身体健康造成了一定困扰,大量证据表明,脂肪摄入量与肥胖、糖尿病、心血管疾病、癌症等多种慢性疾病直接相关^[2]。兼具味觉体验与健康需求的低脂肉制品正处于研究热点之中。低脂肉制品存在烹饪损失大、物理性质较差等问题,研究人员在开发低脂肉制品时常使用乳化、酯化和胶凝技术配制结构化植物油,以生产具有健康脂肪酸结构和类固体性质的乳液^[3-4]。高内相 Pickering 乳液(HIPEs)是油相体积分数占比较大的超浓缩乳剂,体系内部尺寸不同的液滴相互挤压和变形,形成凝胶状网络结构,乳液体系中的固体颗粒可以不可逆地吸附在油水界面上产生界面层,从而使 HIPEs 具有很高的稳定性^[5-6]。相较于普通乳液流动性更低且不易发生相变,适用于低脂肉制品开发^[7]。

HIPEs 具备稳定的物理性能及较高的负载能力,适用范围分布于多个领域。近年来国内外对其研究包括 HIPEs 稳定性的优化^[8],活性物质的负载^[9],在 3D 打印^[10]、食品包装中的应用^[11]及在脂肪替代中的应用^[12]等。Hu 等^[13]以大豆油和蛋白质为原料生产 HIPEs 并模拟牛肉脂肪组织,研究结果表明,HIPEs 可以模拟脂肪特性并改善植物性肉制品的质地和风味,同时是含有反式脂肪和饱和脂肪的传统肉制品更健康的替代品。Liu 等^[14]以小麦面筋为原料制备并稳定了作为蛋黄酱替代品的 HIPEs,发现 HIPEs 在降低蛋黄酱中饱和脂肪酸含量的同时也赋予低脂蛋黄酱与蛋黄酱类似的感官特性与更佳的热稳定性。在现有 HIPEs 的研究中,与肉类脂肪替代相关的成果较少,特别是负载活性物质的 HIPEs 在低脂肉制品中的应用,但已有的结果表明在乳液原有结构上,添加天然酚类物质可增强颗粒间的交互作用,使乳液的类固体性质与抗氧化性更强^[15]。

基于 HIPEs 在低脂肉制品开发中研究结果的不足,本实验制备了以大豆分离蛋白、茶多酚及大豆油为材料制备 HIPEs 替代肉丸中脂肪,为验证茶多酚作为活性物质对乳液及肉丸的修饰作用,分别制备了普通及负载茶多酚的两种 HIPEs,并以水替代脂肪作为直接减脂组进行更全面比对。对肉丸进行蒸煮得率测定、组分测定、质构测定、pH 测定、色差分析、保水保油性分析、抗氧化性测定及感官评价,分析肉丸品质变化,探究 HIPEs 体系、茶多酚与蛋白质的相互作用对肉丸品质的影响,本研究开发的 HIPEs 可为低脂肉制品相关研究作适当参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪里脊肉、猪背脂肪、葱、姜 均购于京东生

鲜;大豆油 益海嘉里金龙鱼粮油股份有限公司;料酒 千禾味业股份有限公司;味精 上海太太乐食品有限公司;食盐 中盐上海市盐业有限公司;胡椒粉 北京吉得利食品有限公司;玉米淀粉 北京古松经贸有限公司;大豆分离蛋白、氢氧化钠、盐酸、浓硫酸、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、石油醚、乙二胺四乙酸二钠(EDTA)、三氯乙酸、硫代巴比妥酸(TBARS)、氯仿、乙酸镁 以上均为分析纯,购于哈尔滨市南岗区百大实验室器具经销部;茶多酚 分析纯,源叶生物公司。

JD200-3 电子天平 沈阳天平仪器有限公司;H1850R 离心机 湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;CM-600di 分光测色计 柯尼卡美能达办公系统有限公司;UV-8000 紫外分光光度计 上海元析仪器有限公司;SH220N 石墨消解仪、K9860 全自动凯氏定氮仪 山东海能科学仪器有限公司;SZF-06A 索氏提取器 浙江托普仪器有限公司;BPG-9070A 精密鼓风干燥箱 上海一恒科学仪器有限公司;CM-600di 分光测色计 柯尼卡美能达办公系统(中国)有限公司;FE28 pH 计 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;HH-4 恒温水浴锅 上海力辰邦西仪器科技有限公司;TA-XTPlus 物性测定仪 英国 SMS 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 高内相 Pickering 乳液制备 准确称取大豆分离蛋白 6 g,加入 94 mL 去离子水,混合均匀,在室温下磁力搅拌至充分溶解(1000 r/min, 2 h),置于 4 °C 冰箱内过夜水化,形成蛋白浓度 $c=6.0\text{wt}\%$ 的大豆分离蛋白分散液。将上述溶液调节 pH 至 9,于 95 °C 恒温水浴锅中加热 2 min,冷却至室温后置于 4 °C 冰箱内保持低温状态,以大豆分离蛋白溶液:大豆油为 1:3 的比例分别加入大豆油及含 0.5% 茶多酚的大豆油,用高速分散机于 14000 r/min 下均质 2 min,形成两种 HIPEs,4 °C 保存备用。

1.2.2 肉丸制备 图 1 为肉丸制备的流程图,将猪瘦

表 1 高内相 Pickering 乳液替代肉丸脂肪配方^[16]

Table 1 Formula of high interphase pickering emulsion replacement of meatballs fat^[16]

样品	材料				
	瘦肉(%)	脂肪(%)	水(%)	HIPEs(%)	配料(%)
S1	80	20	20		18
S2	80	10	30		18
SP1	80	10	20	10	18
SP2	80		20	20	18
SPT1	80	10	20	10	18
SPT2	80		20	20	18

注: S1 为对照组; S2 以水替代 50% 脂肪; SP1, SP2 以不含茶多酚的 HIPEs 分别替代 50%, 100% 脂肪; SPT1, SPT2 以含茶多酚的 HIPEs 分别替代 50%, 100% 脂肪。配方中水、HIPEs、配料添加量为基于瘦肉+脂肪总量(100%)的添加量。

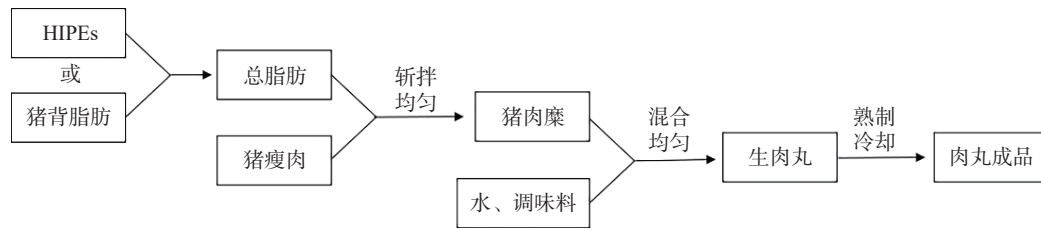


图 1 肉丸制备流程

Fig.1 Preparation process of meatballs

肉、猪背脂肪清洗干净,分别置于破壁机中搅拌 2 次,每次 1 min,搅碎后以肥瘦比 2:8 称取脂肪及瘦肉,并做不同程度的减脂处理,其中 SP2 为直接减脂处理组,具体添加量如表 1 所示,并加入 3% 盐、0.5% 味精、0.5% 胡椒粉、4% 料酒、10% 玉米淀粉(基于瘦肉+脂肪总量),搅拌均匀,于 4 ℃ 冰箱中低温静置 30 min,将生肉糜制成重量约为 20 g 的生肉丸,待锅内水温至 80 ℃ 时下锅,继续加热至沸腾,随后于 100 ℃ 水浴中煮制 8 min,撇去锅中浮沫,捞出肉丸后冷却 30 min,沥干表面水分,于 4 ℃ 冰箱中储存。

1.2.3 蒸煮得率测定 参考梁燕群等^[17]的方法测定,准确称取熟制前肉丸重量,肉丸经制后置于室温下冷却晾干,再使用纸巾擦去表面水分,准确称取熟制后肉丸重量,蒸煮得率按式计算:

$$\text{蒸煮得率}(\%) = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中: m_1 为肉丸熟制前的质量; m_2 为肉丸熟制后的质量。

1.2.4 肉丸主要成分测定 将熟制后的肉丸放置冷却,控干表面水分,切成末状后进行组分测定。水分含量根据 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中第一法直接干燥法进行测定;蛋白质含量根据 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中第一法凯氏定氮法进行测定;脂肪含量根据 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》中第一法索氏抽提法进行测定;灰分含量根据 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》第一法食品中总灰分的测定进行测定。

1.2.5 质构特性测定 参考陈晨等^[18]的方法,略有改动,将肉丸切成 1 cm×1 cm×1 cm 的小块,置于质构仪测试台上,使用 TPA 程序测定其硬度、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性。具体参数设置为:力量感应元 250 N,探头型号 P/0.5,触发力 0.1 N,压缩形变率 40%,测试速率 0.5 mm/s,探头回升高度 20 mm。

1.2.6 pH 测定 参考 Nacak 等^[19]的方法,称取 5 g 熟制后的肉丸样品,搅碎后加入 50 mL 蒸馏水,搅拌均匀,使用均质机于 10000 r/min 下均质 1 min 后,静置 15 min,过滤上清液,使用 pH 计测定 pH。

1.2.7 色差分析 参考 Camila 等^[20]的方法进行测

定,将熟制后的肉丸切成厚度为 0.5 cm 的均匀薄片,使用色差仪分别测定其 L^* 、 a^* 、 b^* 。其中, L^* 为明度值; a^* 为红度值,正值偏红,负值偏绿; b^* 为黄度值,正值偏黄,负值偏蓝。校准值: L^* : 99.43, a^* : -0.09, b^* : -0.16。

1.2.8 保水保油性测定 参考蓝妙传等^[21]的方法,略有修改。

保水性的测定:将约 5 g 熟制肉丸样品移入离心管中,以 8000 r/min 离心 5 min,将离心管置于沸水浴中加热 40 min,随后在冰浴中冷却至 4 ℃。将离心管中的液体倒入预先称重的干燥瓶中,在 105 ℃ 烘箱中反复干燥至恒重,移入干燥器中冷却,称量渗出的水分质量,水分渗出率按式计算:

$$\text{水分渗出率}(\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_1} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

保油性的测定:将约 5 g 熟制肉丸样品移入离心管中,以 8000 r/min 离心 5 min,将离心管置于沸水浴中加热 40 min,随后在冰浴中冷却至 4 ℃。将离心管中的液体倒入预先称重的干燥瓶中,在 105 ℃ 烘箱中反复干燥至恒重,移入干燥器中冷却,称量渗出的油脂质量,脂肪渗出率按式计算:

$$\text{脂肪渗出率}(\%) = \frac{m_3 - m_4}{m_1} \times 100 \quad \text{式(3)}$$

式中: m_1 为样品重量, g; m_2 为烘干前重量, g; m_3 为烘干后重量, g; m_4 为空瓶重量, g。

1.2.9 抗氧化性测定(TBARS) 参考 Li 等^[16]的方法,略有改动。将 5 g 样品分散在 50 mL 溶液(0.1% EDTA 和 7.5% 三氯乙酸)中,然后在 12000 r/min 的转速下均质 2 min,过滤上述混合物。然后,将 10 mL 滤液加入 10 mL TBA 溶液(0.02 mol/L)中,在 100 ℃ 恒温水浴 40 min,静置冷却后吸取 5 mL 上清液,加入 5 mL 氯仿后以 3000 r/min 离心 10 min,取上清液于比色皿中,用分光光度计在 532 和 600 nm 处测定溶液的吸光度,利用公式计算出每组样品的 TBARS 值。

$$\text{TBARS值}(\text{mg/kg}) = \frac{A_{532} - A_{600}}{155 \times m} \times 72.06 \times 1000 \quad \text{式(4)}$$

式中: A_{532} 和 A_{600} 分别为 532 和 600 nm 波长处样品的吸光度; 155 为吸光系数; m 为样品质量(g); 72.06 为丙二醛摩尔质量(g/mol)。

1.2.10 感官评分测定 表2为肉丸的感官评分标准,分别准备熟制后的完整肉丸及切块,选择经过专业培训的10位感官评价员,其中男女比例为1:1,分别对肉丸的色泽、口感、表面状态、内部状态及综合感官进行9分制评分。

表2 肉丸感官评分表^[22]
Table 2 Sensory rating scale of meatballs^[22]

指标	评分标准	分值
色泽	自然协调,均匀一致	7~9
	自然协调性稍差,稍有不均匀	4~6
	自然协调性较差,完全不均匀	0~3
口感	细腻有弹性,咀嚼性较好	7~9
	较为细腻,弹性良好,咀嚼性尚可	4~6
	缺少弹性,易碎或过硬,缺乏咀嚼性	0~3
表面状态	肉丸外表细腻均匀	7~9
	肉丸外表较为细腻,存在些许颗粒感	4~6
	肉丸表面较为粗糙,纹裂较多	0~3
内部状态	指压不裂,回弹性较好,内部均匀,无大颗粒	7~9
	指压不裂,回弹性较好,内部较为均匀,稍有大颗粒	4~6
	指压表面会破裂,回弹性较差,内部粗糙,分布不均	0~3

1.3 数据处理

每组实验设置3个平行样,使用Excel、SPSS 25软件对数据进行单因素方差分析, $P<0.05$ 表示具有显著性差异,使用Origin 2021绘图,数据分析结果以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 不同高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸蒸煮得率的影响

图2为不同HIPEs替代脂肪后肉丸的蒸煮得率结果,蒸煮得率通常以蛋白质固定水及脂肪的能力衡量,S2以水替代了50%的脂肪,蒸煮得率较对照组更低,脂肪含量的直接减少使肉丸内部结构较为疏松,持水性降低。而通过HIPEs的添加降低脂肪用量的组别,蒸煮得率均有显著性上升($P<0.05$),可见HIPEs的添加赋予肉丸更致密的网络结构,增强了与水的结合性能,进而减少烹饪加工过程中水分的流

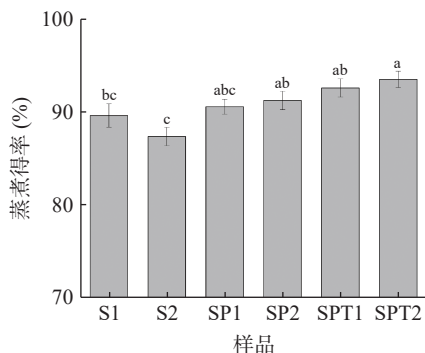


图2 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸蒸煮得率的影响
Fig.2 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the cooking rate of meatballs

注:不同小写字母表示组间差异显著,图3~图6同($P<0.05$)。

失,在添加乳液的组别中,SPT1、SPT2两组的蒸煮得率更高,可能是茶多酚的添加增加了乳液中天然酚类物质的含量,通过酚类化合物与蛋白质的相互作用,进一步提高与水结合的性能,获得更高的出品率^[23]。在Pintado等^[24]的研究中,选用含葡萄籽以及葡萄籽-橄榄两种不同的固体酚类化合物的乳液凝胶开发减脂香肠,直接减脂的组加工损失最大,而使用乳液凝胶后,无论是否含酚类物质,加工损失都显著低于对照组。可见乳液本身具备改善烹饪损失的功能,与酚类物质的结合则能更进一步提高出品率。

2.2 不同 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸组分的影响

表3为不同HIPEs替代肉丸脂肪后肉丸的组分测定结果,HIPEs的添加对灰分无显著影响,S2因较高的水分添加量展现出最大的水分含量,在水分添加量一致的组别之间,负载茶多酚的HIPEs的添加使SPT2的水分含量最高,蛋白质含量相对对照组也显著增加($P<0.05$),其中SPT1、SPT2两组蛋白质含量最高,基于HIPEs本身制备材料含蛋白质的同时,也因为茶多酚与蛋白质的相互作用,使肉丸中的结构更为致密,进一步减少了营养成分的流失。乳液的添加显著减少了肉丸中的脂肪含量,SP1~SPT2四个处理组之间并无显著差异,Botella-Martínez等^[25]将苜蓿粉与奇亚籽油/亚麻油混合制作乳液凝胶,替代汉堡中的脂肪,发现当动物脂肪被乳液凝胶替代时,灰分无显著性区别,脂肪含量的减少不受乳液凝胶种类的影响,与乳液添加量相关。

表3 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸组分的影响
Table 3 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the composition of meatballs

样品	水分(%)	蛋白质(%)	脂肪(%)	灰分(%)
S1	65.02±0.31 ^c	13.29±0.21 ^c	12.80±0.91 ^a	2.32±0.17 ^a
S2	66.91±0.16 ^a	13.16±0.90 ^b	8.42±1.15 ^c	2.51±0.19 ^a
SP1	64.90±0.18 ^c	13.62±0.97 ^b	11.98±0.97 ^{ab}	2.53±0.14 ^a
SP2	65.30±0.40 ^c	11.91±0.30 ^b	9.64±0.25 ^{bc}	2.87±0.15 ^a
SPT1	65.52±0.22 ^{bc}	14.25±0.21 ^a	9.66±0.52 ^{bc}	2.86±0.60 ^a
SPT2	66.42±0.51 ^{ab}	14.48±0.11 ^a	8.68±0.59 ^c	2.83±0.10 ^a

注:不同小写字母表示组间差异显著,表4~表6同($P<0.05$)。

2.3 不同高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸质构的影响

表4为不同HIPEs替代脂肪后肉丸的质构特性,添加HIPEs后,肉丸的硬度显著增加($P<0.05$),且乳液替代量越大硬度越高,S2的硬度、咀嚼性测定结果与添加乳液组别呈相反趋势,随着脂肪的直接减少,肉丸内部结构变得疏松,蛋白质与脂质之间的相互作用减弱^[26],而弹性、内聚性的增强可能是由于水分添加量上升使得水分与淀粉之间的反应更充分,弥补了脂肪减少产生的疏松结构,但各项指标相比对照组仍未呈现明显差异($P>0.05$),说明配方上的改变量还未达到产生较大变化的程度。此外,添加HIPEs组肉丸的各项质构指标变化间呈正相关,内聚

性的上升说明肉丸内部网络结构更为致密, 相较于对照组拥有更高的硬度与弹性^[27], 而伴随着茶多酚的增加, 酚类通过修饰肉丸中的肌原纤维蛋白, 诱导共价与非共价相互作用修饰乳液结构, 在肉丸内部形成更为致密的结构, 从而改善肉丸的物理性质^[28]。口感是消费者选择肉制品的重要指标, 添加 HIPEs 的组别在各项质构属性中均呈上升趋势, 说明 HIPEs 能提升肉丸的口感, 使肉丸具备更好的市场潜力。

表 4 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸质构的影响
Table 4 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the texture of meatballs

样品	硬度(N)	弹性(mm)	内聚性(Ratio)	咀嚼性(mJ)
S1	5.83±0.23 ^{bc}	3.37±0.21 ^c	0.33±0.03 ^b	6.67±1.10 ^b
S2	4.20±0.38 ^d	3.68±0.29 ^{bc}	0.34±0.01 ^b	5.29±0.91 ^b
SP1	5.18±0.51 ^{cd}	4.17±0.11 ^{ab}	0.35±0.01 ^b	7.11±1.21 ^b
SP2	6.65±0.26 ^{ab}	4.14±0.10 ^{ab}	0.41±0.02 ^b	11.25±0.89 ^a
SPT1	6.68±0.08 ^{ab}	4.49±0.08 ^a	0.50±0.02 ^a	11.60±1.07 ^a
SPT2	6.99±0.24 ^a	4.58±0.08 ^a	0.53±0.04 ^a	11.95±1.04 ^a

2.4 不同高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸 pH 的影响

图 3 为不同 HIPEs 替代脂肪后肉丸的 pH, 减脂处理并没有对肉丸的 pH 造成较大影响, 组间的数据不存在显著性差异($P>0.05$)。虽然在 HIPEs 制备过程中, 大豆分离蛋白分散液的 pH 调节至 9, 但脂肪本身呈酸性, 在油相体积占比极大的 HIPEs 中 pH 受植物油影响更大, 因此替代脂肪后与对照组表现出相似的 pH, S2 的 pH 相较于其他组较高, 是因为未使用乳液弥补去掉的动物脂肪而直接做了减脂处理, 导致肉丸中的脂肪含量减少, pH 随之升高。Lucas-González 等^[29] 使用栗子粉、奇亚油、结冷胶与水制备水包油型乳液用于猪肉汉堡的脂肪替代, 分别对生猪肉饼与熟猪肉饼的 pH 进行测试, 发现组间无统计学差异。

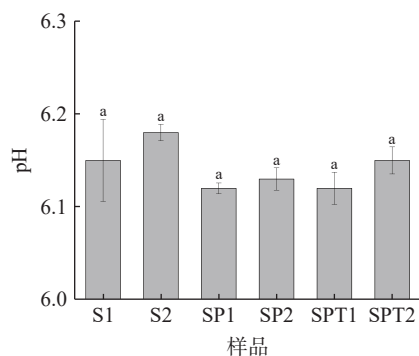


图 3 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸 pH 的影响
Fig.3 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the pH of meatballs

2.5 不同高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸色泽的影响

色泽与肉制品的外观及可接受性相关联, 表 5 为不同 HIPEs 替代脂肪后肉丸色泽上的表征, 减脂

处理提高了肉丸的明度, 因为 HIPEs 相较于猪背脂肪拥有更小的油滴粒径, 对光的反射更强, 进而拥有较大的明度, 其中 SP1、SP2 明度提升最高。在红度值与黄度值的变化趋势上, 肉丸的红度值与黄度值变化呈现偏红、偏黄, 在加热过程中, 肌红蛋白发生化学反应失去红色, 而茶多酚本身为棕红色, 在加热过程中仍能保留原有颜色, 因此负载茶多酚的 SPT1、SPT2 中 a^* 、 b^* 值得到提升, 明度值相较于 SP1、SP2 更低($P<0.05$)。在 Zheng 等^[30] 的相关研究中, 以红曲色素为外水相制备了 W/O/W 型乳液作为脂肪替代, 对肉制品色泽进行测定, 得到与本研究相似结果, 乳液偏红的颜色不会在加热过程中褪去, 在一定程度上弥补了因加热导致的肉制品红度值下降。Nagai 等^[31] 在对猪肉汉堡做减脂处理的同时考虑到乳液可能给肉制品造成感官方面的不利影响, 使用胭脂红进行色泽上的平衡。

表 5 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸色泽的影响
Table 5 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the color of meatballs

样品	L^*	a^*	b^*
S1	81.57±2.77 ^b	1.08±0.13 ^b	25.35±0.91 ^c
S2	85.67±1.44 ^{ab}	0.80±0.15 ^b	24.78±0.62 ^c
SP1	86.50±0.57 ^{ab}	1.46±0.14 ^{ab}	25.99±0.39 ^{bc}
SP2	89.64±1.08 ^a	1.17±0.21 ^b	25.43±0.76 ^{bc}
SPT1	83.28±2.22 ^b	1.98±0.13 ^{ab}	27.92±0.90 ^{ab}
SPT2	82.05±0.74 ^b	2.87±1.04 ^a	29.30±0.67 ^a

2.6 不同高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸保水性、保油性的影响

图 4、图 5 分别表示不同 HIPEs 替代脂肪后肉丸保水性、保油性的变化。肉丸的多汁性与水分的含量高低及其保持能力相关, S2 组的水分渗出率最高, 是因为其内部较为疏松的组织结构为水分的流失提供了更多潜在空间, 随着 HIPEs 的添加, 水分渗出率逐渐降低, 其中 SP1 与对照组无明显差异, 说明乳液对脂肪的部分替代仍未明显抑制肉丸中水分的渗出, 当乳液添加量继续升高时, 蛋白质与脂肪间的交互作用增强, 形成更为稳定的内部结构, 防止水分渗

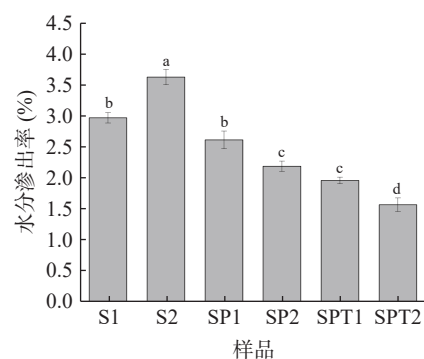


图 4 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸保水性的影响
Fig.4 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the water retention of meatballs

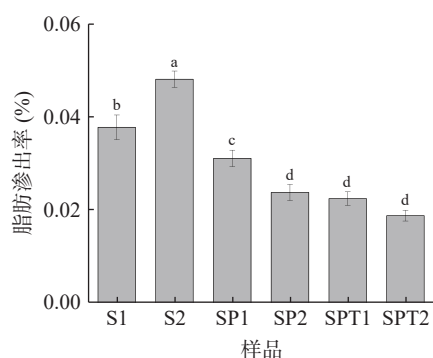


图5 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸保油性的影响
Fig.5 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the oily retention of meatballs

出。负载茶多酚的组别水分渗出率相比 SP1、SP2 更低,因为茶多酚具有的大量羟基(-OH),与内部组织相互作用使结构更加致密^[32]。

脂肪是维持肉制品丰富的口感以及香气的重要成分,肉丸中脂肪保留能力的高低影响其感官特性,由图5可知直接减脂后肉丸的脂肪渗出率最高,添加 HIPEs 后脂肪渗出率较对照组有所减弱,且随着添加量的增加而降低,茶多酚的添加进一步抑制了脂肪流失。油脂渗出主要受温度影响,通过加热破坏水油之间的乳化效果,使脂肪脱离肉丸内部 HIPEs 中植物油作为内相,被大豆分离蛋白紧密包裹在内,且具备良好的热稳定性有效防止了脂肪流失,而负载茶多酚的乳液中,酚类化合物与蛋白质间相互作用形成交联网络,在抑制油脂渗出上更进一步^[32]。这也从侧面反映出 HIPEs 的乳化稳定性。在 Zhang 等^[33]的实验中,以不同蜂蜡含量的 Pickering 乳液替代香肠中的猪背脂肪,对肉糜中汁液渗出率进行测定,发现随着 Pickering 乳液对脂肪的替代及替代量的增加,肉糜的汁液渗出逐渐降低,乳液分子间的聚集与相互作用有效提高了香肠系统的稳定性。

2.7 不同高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸 TBA 值的影响

图6为不同 HIPEs 替代脂肪后肉丸的脂质氧化情况,与动物脂肪相比,植物油含有更多的不饱和脂肪酸,更易发生氧化,氧化程度过高则会导致肉制品一系列安全问题^[34]。由图6可知所有组别均发生了脂质氧化,其中, S2 由于直接做了减脂处理,脂肪含量低于其他组别,脂质氧化虽未受其他因素抑制,因本身较低的脂肪含量导致较低的硫代巴比妥酸值。四组 HIPEs 处理组的脂质氧化程度都显著低于对照组($P<0.05$),受减脂处理影响之外,也因为 HIPEs 自身稳定的体系,虽为油相体积分数较高的乳液,但水相仍能有效将油相包裹在内,减少了与氧气的接触,有效解决了植物脂肪易氧化的问题。与 SP1、SP2 相比, SPT1、SPT2 的脂质氧化程度更低,表明茶多酚能进一步提高肉丸的抗氧化活性,且与其含量正相关,茶多酚具备良好的抗氧化特性,可以通过分子内

氢键阻止由自由基介导的氧化,这与 Zhu 等^[35]的研究结果类似,其实验利用天然植物性菊芋粉与橄榄油基乳液作为哈尔滨干肠中的脂肪替代,在整个贮藏期间对照组的 TBARS 值均显著高于减脂处理组,研究人员则将此现象归因于脂肪替代品中所含有的酚类化合物。Li 等^[36]以茶多酚、亚麻籽油、乳清蛋白、阿拉伯胶为原料,经过多次均质制备亚麻籽油双乳液,替代猪肉面糊中的猪背脂肪,对 TBARS 值进行测定发现经过亚麻籽油双乳液处理的组别其含量显著下降,且完全替代组 TBARS 值最低,同样是因为茶多酚提供的活性氢终止了自由基链式反应。可见 HIPEs 与茶多酚的综合作用,可有效延缓肉制品脂肪氧化。

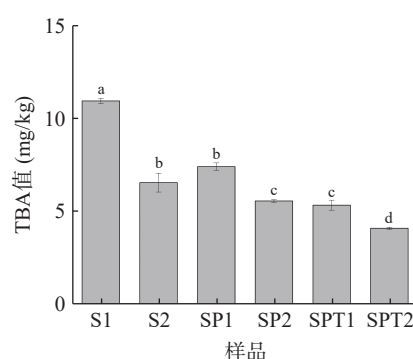


图6 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸 TBA 值的影响
Fig.6 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the TBA value of meatballs

2.8 不同高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸感官评分的影响

表6为不同 HIPEs 替代脂肪后肉丸的感官评价结果,图7为不同处理组中具体感官属性评分的雷达图,其中, S2 的感官评价结果相较于对照组口感及内部状态呈下降趋势,且组间不存在显著性($P>0.05$),可见此类减脂方式对感官体验没有明显影响。在添加乳液的组别中,各项指标对比对照组均显著增加($P<0.05$),其中 SP2 的色泽评分最高,可见 HIPE 的添加对肉丸色泽有所改善,而 SPT1、SPT2 受茶多酚固有颜色影响,肉丸表面呈现深色,在色泽上相较于 SP1、SP2 略差。SPT2 除色泽外,口感、表面状态、内部状态均位于最高得分,感官评分达到 42.50,说明此类减脂方式对肉丸的整体状态有积极

表6 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉丸感官评分的影响
Table 6 Effect of high interphase Pickering emulsion replacement of fat on the sensory score of meatballs

色泽	口感	表面状态	内部状态	总分
5.33±0.33 ^b	5.50±0.43 ^e	5.50±0.22 ^a	5.50±0.50 ^c	21.83±1.01 ^e
5.83±0.31 ^b	4.83±0.31 ^e	6.00±0.26 ^a	4.50±0.56 ^c	21.17±0.60 ^e
8.17±0.31 ^a	7.50±0.22 ^b	7.17±0.40 ^b	7.33±0.21 ^b	30.17±0.60 ^b
8.83±0.17 ^a	8.00±0.26 ^{ab}	7.50±0.34 ^b	8.00±0.00 ^{ab}	32.33±0.42 ^{ab}
8.00±0.26 ^a	8.50±0.22 ^{ab}	7.33±0.49 ^b	8.83±0.17 ^a	32.67±0.71 ^a
8.17±0.31 ^a	8.67±0.21 ^a	8.00±0.00 ^b	9.00±0.00 ^a	33.83±0.31 ^a

改善效果,使其具备更均匀、致密的组织结构,这与质构测定的结论一致,HIPEs 与肉糜发生交互作用,形成更稳定、更有弹性的体系。在于迪^[37]的实验中有类似结果, Pickering 乳液完全替代香肠的猪背脂肪后其各项感官属性明显高于对照组,未对肉丸味觉属性造成不良影响。

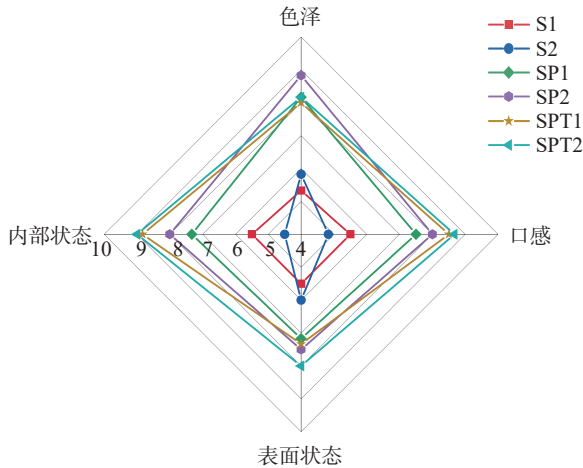


图 7 基于肉丸色泽、口感、表面状态、内部状态不同感官属性的感官评价

Fig.7 Sensory evaluation based on different attributes of meatballs' color, taste, surface state, internal state

3 结论

在本项研究中,以大豆分离蛋白/茶多酚稳定的 HIPEs 显著降低了肉丸的脂肪含量,并改善了理化及感官品质,有效延缓了脂肪氧化,HIPEs 较为稳定的体系与茶多酚自身的抗氧化作用有效解决了以植物油替代动物脂肪时可能存在的饱和脂肪酸易氧化问题,在减脂的同时提供了更大的贮存潜力,HIPEs 在与肉馅充分混合后,可形成较为致密的结构,有助于肉丸水分的保持,天然多酚类物质所含有的羟基(-OH)能够与蛋白质相结合,进一步减少营养物质流失,同时茶多酚可清除肉制品中存在的自由基,抑制脂质氧化,因此,使用大豆分离蛋白/茶多酚稳定的 HIPEs 做为脂肪替代物在达到减脂效果的同时还可提升肉丸的物理特性与抗氧化能力,此类乳液可满足帮助肉制品产业满足消费者对高质量低脂肪肉制品的追求。但肉丸色泽受茶多酚固有颜色影响,感官上存在一定缺陷,在后续研究中可针对此方面进行改善,如在乳液体系中对茶多酚进行包埋或选择其他物质在色泽上进行平衡。

参考文献

[1] CHEN Y C, JIA X W, SUN F D, et al. Using a stable pre-emulsified canola oil system that includes porcine plasma protein hydrolysates and oxidized tannic acid to partially replace pork fat in frankfurters[J]. *Meat Science*, 2020, 160: 107968.

[2] MURPHY E A, VELAZQUEZ K T, HERBERT K M. Influence of high-fat-diet on gut microbiota: A driving force for chronic disease risk[J]. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 2015, 18(5): 515.

[3] ÖZTÜRK-KERIMOĞLU B, KAVUŞAN H S, GÜREL D B, et al. Cold-set or hot-set emulsion gels consisted of a healthy oil blend to replace beef fat in heat-treated fermented sausages[J]. *Meat Science*, 2021, 176: 108461.

[4] ÖZTÜRK-KERIMOĞLU B, KARA A, URGU-ÖZTÜRK M, et al. A new inverse olive oil emulsion plus carrot powder to replace animal fat in model meat batters[J]. *LWT*, 2021, 135: 110044.

[5] ZHAO Q, FAN L, LI J. Biopolymer-based Pickering high internal phase emulsions: Intrinsic composition of matrix components, fundamental characteristics and perspective[J]. *Food Research International*, 2023; 112458.

[6] XIE Y X, LEI Y J, RONG J H, et al. Physico-chemical properties of reduced-fat biscuits prepared using O/W cellulose-based Pickering emulsion[J]. *LWT*, 2021, 148: 111745.

[7] JI C Y, LUO Y C. Plant protein-based high internal phase Pickering emulsions: Functional properties and potential food applications[J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, 12: 100604.

[8] WANG S Y, LIU L G, BI S H, et al. Studies on stabilized mechanism of high internal phase Pickering emulsions from the collaboration of low dose *Konjac glucomannan* and myofibrillar protein[J]. *Food Hydrocolloids*, 2023, 143: 108862.

[9] 谢丽清,徐班萌,梁新红,等.乳铁蛋白、EGCG、高甲酯果胶和 β -环糊精四元复合物基高内相 Pickering 乳液的构建及表征[J]. *食品科学*, 2023, 44(14): 54-62. [XIE L Q, XU B M, LIANG X H, et al. Construction and characterization of high internal phase Pickering emulsion based on quatern complex of lactoferrin, EGCG, high methyl pectin and β -cyclodextrin[J]. *Food Science*, 2023, 44(14): 54-62.]

[10] FENG T T, FAN C L, WANG X J, et al. Food-grade Pickering emulsions and high internal phase Pickering emulsions encapsulating cinnamaldehyde based on pea protein-pectin-EGCG complexes for extrusion 3D printing[J]. *Food Hydrocolloids*, 2022, 124: 107265.

[11] LIU Z, LIN D H, SHEN R, et al. Characterizations of novel *Konjac glucomannan* emulsion films incorporated with high internal phase Pickering emulsions[J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 109: 106088.

[12] 魏孔菊,董同珺,朱国花,等.天然生物大分子稳定高内相 Pickering 乳液及其在食品中的应用[J/OL]. *食品科学*, 1-18 [2023-12-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230111.1715.001.html>. [WEI K J, DONG T J, ZHU G H, et al. Natural biological macromolecule stabilized high internal phase Pickering emulsion and its application in food[J/OL]. *Food Science*, 1-18 [2023-12-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20230111.1715.001.html>.]

[13] HU X, ZHOU H, MCCLEMENTS D J. Utilization of emulsion technology to create plant-based adipose tissue analogs: Soy-based high internal phase emulsions[J]. *Food Structure*, 2022, 33: 100290.

[14] LIU X, GUO J, WAN Z L, et al. Wheat gluten-stabilized high internal phase emulsions as mayonnaise replacers[J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 77: 168-175.

[15] 王然,钟玉珍,张丽红.茶多酚对淀粉酯纳米颗粒及其稳定的 Pickering 乳液性质的影响[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(17): 303-310. [WANG R, ZHONG Y Z, ZHANG L H. Effects of tea polyphenols on starch ester nanoparticles and their stable Pickering emulsion properties[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(17): 303-310.]

- [16] LI X L, MENG R, XU B C, et al. Function emulsion gels prepared with carrageenan and zein/carboxymethyl dextrin stabilized emulsion as a new fat replacer in sausages[J]. *Food Chemistry*, 2022, 389: 133005.
- [17] 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. [LIANG Y Q, LI L. Effects of partial replacement of fat with red pitaya fruit on physicochemical properties and lipid oxidation of sausage proteins[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, 44(8): 71-77.]
- [18] 陈晨, 汪佳佳, 王立健, 等. 油脂预乳化液替代脂肪对乳化肠品质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(16): 8-13. [CHEN C, WANG J J, WANG L J, et al. Effect of fat replacement by oil pre-emulsion on quality of emulsified intestine[J]. *Food Science*, 2021, 42(16): 8-13.]
- [19] NACA K B, ÖZTÜRK-KERIMOĞLU B, YILDIZ D, et al. Peanut and linseed oil emulsion gels as potential fat replacer in emulsified sausages[J]. *Meat Science*, 2021, 176: 108464.
- [20] CAMILA D S P, GUILHERME F F, ALICE R H, et al. Functional emulsion gels as pork back fat replacers in Bologna sausage[J]. *Food Structure*, 2019, 20: 100105.
- [21] 蓝妙传, 李媛, 马良, 等. 高内相 Pickering 乳液替代脂肪对肉糜制品特性的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(18): 28-36. [LAN M C, LI Y, MA L, et al. Effect of high internal phase Pickering emulsion replacing fat on characteristics of minced meat products [J]. *Food Science*, 2021, 42(18): 28-36.]
- [22] 刘树萍, 冯爽, 陆家慧, 等. 黑豆豆腐替代脂肪对肉丸品质特性的影响[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(8): 41-49. [LIU S P, FENG S, LU J H, et al. Effect of replacing fat with black bean curd on quality characteristics of meatballs[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(8): 41-49.]
- [23] KIM T K, YONG H I, JUNG S, et al. Effects of replacing pork fat with grape seed oil and gelatine/alginate for meat emulsions[J]. *Meat Science*, 2020, 163: 108079.
- [24] PINTADO T, MUÑOZ-GONZÁLEZ I, SALVADOR M, et al. Phenolic compounds in emulsion gel-based delivery systems applied as animal fat replacers in frankfurters: Physico-chemical, structural and microbiological approach[J]. *Food Chemistry*, 2021, 340: 128095.
- [25] BOTELLA-MARTINEZ C, GEA-QUESADA A, SAYAS-BARBERA E, et al. Improving the lipid profile of beef burgers added with chia oil (*Salvia hispanica* L.) or hemp oil (*Cannabis sativa* L.) gelled emulsions as partial animal fat replacers[J]. *LWT*, 2022, 161: 113416.
- [26] DOS SANTOS M, MUNEKATA P E S, PATEIRO M, et al. Pork skin-based emulsion gels as animal fat replacers in hot-dog style sausages[J]. *LWT*, 2020, 132: 109845.
- [27] CAO Y G, LI Y, GUO A Q, et al. Incorporation of green tea extract and partial replacement of fat to modify the quality and lipid oxidative stability of reduced-fat pork sausage[J]. *食品科学*, 2021, 42(4): 94-99.
- [28] XU Q D, YU Z L, ZENG W C. Structural and functional modifications of myofibrillar protein by natural phenolic compounds and their application in pork meatball[J]. *Food Research International*, 2021, 148: 110593.
- [29] LUCAS-GONZÁLEZ R, ROLDÁN-VERDU A, SAYAS-BARBERA E, et al. Assessment of emulsion gels formulated with chestnut (*Castanea sativa* M.) flour and chia (*Salvia hispanica* L.) oil as partial fat replacers in pork burger formulation[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2020, 100(3): 1265-1273.
- [30] ZHENG B Y, LI X Y, HAO J, et al. Meat systems produced with Monascus pigment water-in-oil-in-water multiple emulsion as pork fat replacers[J]. *Food Chemistry*, 2023, 402: 134080.
- [31] NAGAI N F, LORENZO J M, RANALLI N, et al. Use of seaweed powder (*Undaria* sp.) as a functional ingredient in low-fat pork burgers[J]. *Algal Research*, 2022, 67: 102862.
- [32] NUERJIANG M, LI Y, YUE X, et al. Analysis of inhibition of guava (*Psidium guajava* L.) leaf polyphenol on the protein oxidative aggregation of frozen chicken meatballs based on structural changes[J]. *Food Research International*, 2023, 164: 112433.
- [33] ZHANG Z, WANG H, SHU Y, et al. Improving the freeze-thaw stability of pork sausage with oleogel-in-water Pickering emulsion used for pork backfat substitution[J]. *LWT*, 2023: 114698.
- [34] KUMAR Y, KUMAR V. Effects of double emulsion (W1/O/W2) containing encapsulated *Murraya koenigii* berries extract on quality characteristics of reduced-fat meat batter with high oxidative stability[J]. *LWT*, 2020, 127: 109365.
- [35] ZHU Y L, GUO L P, TANG W T, et al. Beneficial effects of Jerusalem artichoke powder and olive oil as animal fat replacers and natural healthy compound sources in Harbin dry sausages[J]. *Poultry Science*, 2020, 99(12): 7147-7158.
- [36] LI Y P, BAI R, FENG L, et al. Effect of flaxseed oil double emulsion with tea polyphenol on the gel characteristics, antioxidant property and water mobility in reduced-fat pork batter[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2022, 57(10): 6399-6408.
- [37] 于迪. 改性大豆球蛋白颗粒稳定的高内相 Pickering 乳液的制备及其替代脂肪在香肠中的应用[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2022. [YU D. Preparation of high internal phase Pickering emulsion stabilized by modified soybean globulin particles and its application as a substitute for fat in sausage[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2022.]