

纳米茶籽油微囊对低脂猪肉糜制品品质影响

余康, 邹俊, 袁梦, 季秋雅, 梅林

Effect of Nano Tea Seed Oil Microcapsules on the Quality of Low Fat Minced Pork Products

YU Kang, ZOU Jun, YUAN Meng, JI Qiuya, and MEI Lin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023040044>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

茶叶籽油中茶多酚和儿茶素的测定

Determination of Tea Polyphenols and Catechin in Tea Seed Oil

食品工业科技. 2019, 40(14): 291-295,301 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.048>

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>

结冷胶对猪肉糜凝胶特性的影响

Effect of Gellan Gum on Gel Properties of Pork Batters

食品工业科技. 2019, 40(14): 222-226 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.14.034>

汽爆处理对油茶籽饼粕中茶皂素理化性质的影响

Effect of Steam Explosion Pretreatment on the Physical and Chemical Properties of Tea Saponin of Oil *Camellia* Seed Cake Meal

食品工业科技. 2020, 41(19): 1-6,19 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.19.001>

精炼过程对茶籽油脂肪酸与挥发性物质的影响

Effect of refining process on the fatty acids and volatile flavor compounds from camellia seed oil

食品工业科技. 2018, 39(8): 34-38,43 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2018.08.007>

茶多酚微胶囊对腊肉理化性质及挥发性风味物质的影响

Effect of Tea Polyphenol Microcapsules on Physicochemical Properties and Volatile Flavor Substances of Bacon

食品工业科技. 2020, 41(11): 51-59 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.11.008>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

余康, 邹俊, 袁梦, 等. 纳米茶籽油微囊对低脂猪肉糜制品品质影响 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(4): 61-69. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040044

YU Kang, ZOU Jun, YUAN Meng, et al. Effect of Nano Tea Seed Oil Microcapsules on the Quality of Low Fat Minced Pork Products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(4): 61-69. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040044

· 研究与探讨 ·

纳米茶籽油微囊对低脂猪肉糜制品品质影响

余康, 邹俊, 袁梦, 季秋雅, 梅林*
(安徽农业大学茶与食品科技学院, 安徽合肥 230036)

摘要: 高脂产品低脂化符合消费者对健康的追求, 是未来肉制品发展方向之一。本文以无茶籽油脂肪替代肉糜为对照组, 考察了两种形式的茶籽油 (Tea seed oil, TSO) 及纳米微囊化茶籽油 (Nano tea seed oil microcapsules, NTM) 代替猪背膘对猪肉糜制品理化性质的影响, 对不同脂肪替代肉糜制品保水性、蒸煮得率、水分分布、质构、微观结构、脂肪氧化水平等指标进行了研究。结果表明, 添加 50%、70% NTM 可以改善添加 TSO 造成的肉糜制品保水能力的下降; NTM 替代组的 T_{21} 弛豫时间、占比与无替代对照组差异不显著 ($P>0.05$), 而 TSO 替代组不易流动水占比显著下降 ($P<0.05$); NTM 替代组, 其 L^* 、 b^* 值较于无茶籽油替代组有所增强, a^* 降低, 且具有明显的脂肪氧化抑制效果, 有效延长贮藏期; 微观结构结果表明, NTM 替代组油脂分布较 TSO 添加组更均匀, 与蛋白质结合更紧密; 质构特性结果表明, TSO 替代会造成质构的劣化, 而 NTM 可以改善劣化情况, 其中添加 70% NTM 的肉糜弹性和粘度优于 50% 和 70% NTM 替代组。综上, 添加 70% NTM 可以均匀分布于猪肉糜中, 并与蛋白质之间形成更多的氢键, 从而达到稳定低脂猪肉糜保水力, 硬度, 弹性等理化性质的目的。因此添加 70% NTM 的低脂肉糜品质最优。

关键词: 纳米茶籽油微囊 (NTM), 茶籽油 (TSO), 脂肪替代, 低脂肉, 理化性质

中图分类号: TS251.5⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)04-0061-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040044

本文网刊:



Effect of Nano Tea Seed Oil Microcapsules on the Quality of Low Fat Minced Pork Products

YU Kang, ZOU Jun, YUAN Meng, JI Qiuya, MEI Lin*

(College of Tea and Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: Low-fat conversion of high-fat products met consumers' pursuit of health, and was one of the future development directions of meat products. In this study, the effects of two forms of tea seed oil (TSO) and nano tea seed oil microcapsules (NTM) on the physical and chemical properties of pork mince products were investigated, with no tea seed oil fat replacing pork mince as the control group. The water retention, cooking yield, water distribution, texture, microstructure, and fat oxidation level of different fat replacing pork mince products were studied. The results showed that the addition of 50% and 70% NTM could improve the water retention ability of pork minced meat products caused by TSO replacement. The T_{21} relaxation time and proportion of the NTM replacement group were not significantly different from those of the non-replacement control group ($P>0.05$), while the proportion of non-flowable water in the TSO replacement group was significantly decreased ($P<0.05$). The L^* and b^* values of the NTM replacement group were enhanced compared with those of the non-tea seed oil replacement group, and the a^* value was decreased. Furthermore, the NTM replacement group had a significant effect on inhibiting fat oxidation, effectively prolonging the storage period. The microstructure results showed that the oil distribution in the NTM replacement group was more uniform than that in the TSO replacement group, and the oil was more closely bound to the protein. The texture characteristics results showed that TSO replacement would cause the

收稿日期: 2023-04-06

基金项目: 安徽省大学生创新创业训练计划项目 (S202110364004); 安徽省重大专项定向委托项目 (d06050001)。

作者简介: 余康 (2001-), 男, 大学本科, 研究方向: 食品科学与工程, E-mail: yukang20011019@163.com。

* 通信作者: 梅林 (1979-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 畜产品加工, E-mail: meilin@ahau.edu.cn。

deterioration of texture, while NTM could improve the deterioration. The elasticity and viscosity of pork minced meat with 70% NTM replacement were better than those of the 50% and 70% NTM replacement groups. In summary, the addition of 70% NTM can be evenly distributed in pork minced meat, and form more hydrogen bonds with proteins, so as to achieve the purpose of stabilizing the physical and chemical properties of low-fat pork minced meat, such as water retention, hardness, and elasticity. Therefore, the low-fat pork minced meat with 70% NTM is the best.

Key words: nano tea seed oil microcapsules (NTM); tea seed oil (TSO); fat replacement; low fat meat; physicochemical properties

香肠作为一种肉糜类加工制品在中西方广受欢迎。传统香肠加工中,通常添加 10%~30% 的动物脂肪来稳定香肠的蛋白质凝胶网络结构,赋予香肠丰富的口感、风味和良好质构特性^[1]。动物脂肪不仅能够提供人体必需脂肪酸,而且还是脂溶性维生素和风味物质的重要载体^[2]。但是,动物脂肪中含有胆固醇和饱和脂肪酸,人体大量摄入此类化合物会导致肥胖,带来高血压,高脂血症等一系列代谢类疾病以及心脑血管疾病^[3]。因此,高脂产品低脂化将会是未来不可逆的趋势,同时降低肉类产品中的脂肪含量也符合消费者对健康的追求。然而,只是降低肉糜中的脂肪含量,会造成肉糜制品的口感与风味缺失^[4]。因此,研究低脂化肉糜制品需要寻找一种替代物既能替代肉糜的部分脂肪,又能在替代后与高脂肪含量的肉糜制品保持相似的感官性质,同时可以改善低脂肉糜制品产品风味以及质构劣质的问题^[5]。

近年来,植物油已经开始被研究人员用于部分替代动物脂肪。PANERAS 等^[6]使用 10% 植物油替代动物脂肪制作低脂法兰克福香肠,发现其胆固醇含量降低,脂肪含量以及饱和脂肪酸含量显著降低;YOUSSEF 等^[7]用 25% 的菜籽油代替肉糜中的牛肉脂肪,发现产品硬度提高了 50%,咀嚼性也有增加的趋势。ASUMING-BEDIAKO 等^[8]用预乳化的菜籽油和葵花籽油代替英式乳化香肠部分的猪脂肪,降低了大部分饱和脂肪酸,并且对香肠的颜色和风味影响不显著。

然而,如果直接用植物油替代动物脂肪添加到产品中,会导致产品结构劣化、持水力下降^[9]。YOUSSEF 等^[10]用菜籽油直接替代牛脂肪时就出现了品质下降、渗油的情况,最终的产品的质地变得异常坚硬。植物油需要以稳定的液滴添加到肉糜中,不然在热加工的过程中会导致油脂损失,还会使产品的品质变差^[11]。微囊封装技术可以克服上述问题^[12],微囊相当于物理屏障,可以减少植物油在产品贮藏过程中发生氧化反应,还可以提高植物油的乳化特性^[13],PÉREZ-PALACIOS 等^[14]使用微胶囊鱼油处理鸡块,在储存过程中鸡块脂质和蛋白质的氧化程度较低;CITTADIMI 等^[15]用微囊化的混合植物油替代马驹酱中的动物脂肪,结果发现马驹酱的持水力有所改善。目前关于微囊化植物油替代脂肪,已经在调节肉制品脂肪酸组成、改善肉制品发酵特性、改善肉制品风味特性、提高产品氧化稳定性和延长货架期等领

域展现应用潜力^[16-18],但目前微胶囊作为脂肪替代物的研究仍处在发展阶段,针对微胶囊壁材的选择、制备技术的发展,对肉制品的理化性质、营养品质的影响还需更深入的研究。

茶籽油因其富含以油酸为主的不饱和脂肪酸而受到关注。TSO 中的油酸比橄榄油高,是常见植物油中油酸含量最高的(73.26%)^[19]。研究表明油酸作为一种优质脂肪酸不会导致人体胆固醇含量增高,可以有效预防并治疗代谢类疾病以及心脑血管疾病^[20]。其次,由于其亚油酸和亚麻酸等多不饱和脂肪酸含量较低,并且含有角鲨烯、生育酚等抗氧化剂,因此茶籽油不易于氧化酸败、稳定较强^[21],更适合添加到加工肉制品以延长其贮藏期。

本实验通过采用复凝聚法,利用卵磷脂和蜂胶对茶籽油进行微胶囊化,形成纳米级的茶籽油微胶囊,并以其代替香肠中的脂肪,深入探究纳米级微囊茶籽油脂肪替代物对低脂肉糜制品品质影响效应,以为低脂肉产品的加工提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

猪瘦肉、猪背膘 合肥大润发提供;茶籽油 上海源叶生物科技有限公司;蜂胶 广州市天瑞进出口有限公司;卵磷脂 广东翁江化学试剂有限公司;乙酸溶液 西陇科学股份有限公司;无水乙醇、戊二醛、磷酸缓冲溶液、三氯乙酸(TCA)、乙二胺四乙酸二钠、硫代巴比妥酸(TBA) 均为分析纯,上海 Macklin 生化科技有限公司。

GJJ-0.06/70 型高压均质机 上海诺尼轻工机械有限公司;T18 型分散器 上海翼控机电设备;C-MAG HS 10 digital 磁力加热搅拌器 德国爱卡集团;CPC 电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;DL-616 动态流变仪 柜谷科技发展(上海)有限公司;TA-XT Plus 型 TPA 质构分析仪 英国 Stable Micro Systems 公司;PE-Lambda35 紫外分光光度计 美国 PerkinElmer 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 纳米茶籽油微胶囊(NTM)的制作 根据 MEI 等^[22]的方法,称取 9 g 卵磷脂溶于 150 mL 纯水中,超声 30 min,磁力搅拌 20 min;称取 54 g 蜂胶溶于 150 mL 纯水中,超声 30 min;称取 63 g 茶籽油于 174 mL 纯水中;将卵磷脂溶液通过高速分散器

缓慢加入到茶籽油水混合物中分散 1 min; 将上述分散好的乳液于 800 bar 压力下均质五次; 将均质好的乳液用 20% 的乙酸溶液调节 pH 到 3.5; 将蜂胶溶液通过高速分散器缓慢添加到上述乳液中, 并分散 1 min; 将混合好的乳液磁力搅拌 20 min 后装入保鲜盒, 覆盖保鲜膜后冷冻, 使用真空干燥机将冷冻后的样品干燥获得纳米茶籽油微囊。

1.2.2 低脂肉糜的制作 肉糜的制作方法参考 KANG 等^[23]的方法并略作修改; 取 56 g 的瘦肉与适量的冰水混合后 1500 r/min 斩拌 30 s, 加入冰水, 混合斩拌 30 s, 之后加入猪背膘, 纳米茶籽油微囊 (NTM) 或茶籽油 (TSO) (添加含量如表 1 所示) 和剩余冰水 1500 r/min 斩拌 30 s, 停歇 3 min, 最后 1500 r/min 斩拌 3 min, 斩拌肉糜温度不超过 10 ℃, 制作 7 组不同添加物和添加量的样品。将每份肉糜样品置于 50 mL 离心管中, 设置 4 ℃、1500 r/min 条件下离心 5 min 除去肉糜中的气泡。将样品放在水浴锅中加热至 85 ℃, 并保持 30 min。蒸煮后室温 (25 ℃) 下冷却, 再放在 4 ℃ 冰箱中静置过夜待用。对所得肉糜凝胶进行持水力、蒸煮损失、色差和流变等指标测定, 分析不同比例 TSO 和 NTM 添加量对肉糜凝胶性能的影响。

表 1 NTM 和 TSO 代替猪背膘制作猪肉糜的配方
Table 1 NTM and TSO substitute for pork backfat to produce minced pork

配料(g)	C	TSO 50%	TSO 70%	TSO 90%	NTM 50%	NTM 70%	NTM 90%
瘦肉	56	56	56	56	56	56	56
猪背膘	24	12	7.2	1.2	12	7.2	1.2
TSO	0	12	16.8	21.6	0	0	0
NTM	0	0	0	0	12	16.8	21.6
冰水	24	24	24	24	24	24	24

注: C 代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90% 代表茶籽油替代比例分别为 50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90% 代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为 50%, 70%, 90%。

1.2.3 肉糜凝胶保水性的测定 采用王颂博^[24]的方法并稍作修改, 将肉糜凝胶切成 1 cm×1 cm×1 cm 大小的小方块并称质量 (记为 W_1 , 精确到 0.001 g)。将称量好的凝胶块置于离心管中, 在 4 ℃、4000 ×g 下离心 15 min, 取出凝胶块, 用滤纸将其表面的水分吸干, 称其质量 (记为 W_2), 按照下式计算保水率。

$$\text{保水率}(\%) = \frac{W_2}{W_1} \times 100$$

式中: W_1 代表肉糜凝胶离心前的质量, g; W_2 表示肉糜凝胶离心后的质量, g。

1.2.4 肉糜凝胶蒸煮得率的测定 参考王春彦等^[25]的方法并稍作修改, 取适量猪肉糜称其质量 (记为 m_1) 放入试管中, 在 85 ℃ 水浴锅中蒸煮 30 min, 蒸煮后取出在室温下冷却, 用滤纸吸干凝胶表面的水分称其质量 (记为 m_2), 平行三次, 按照下式计算蒸煮得率 (X)。

$$X(\%) = \frac{m_2}{m_1} \times 100$$

式中: X 代表蒸煮得率, %; m_1 代表蒸煮前肉糜凝胶的质量, g; m_2 代表蒸煮后肉糜凝胶的质量, g。

1.2.5 肉糜凝胶色差分析 肉糜凝胶的颜色参数, 包括亮度 (L^*)、红度 (a^*) 和黄度 (b^*), 使用 CR-400 手持色差仪进行测量。白色标准板 ($L^*=92.75$, $a^*=-0.48$, $b^*=5.55$) 用作标准, 将色差仪放于肉糜表面测量, 记录肉糜凝胶的数值, 每次试验重复三次。

1.2.6 肉糜凝胶质构分析 (TPA) 将直径 2.5 cm 的圆柱体样品, 保持平衡至室温 (25 ℃) 进行质构分析。TPA 质构分析使用李海德等^[26]的方法并进行了少量修改。使用质构分析仪进行 TPA 分析确定肉糜凝胶的硬度和弹性。

测试条件为: 探头: P/36R; 测前速度: 5 mm/s; 测试速度: 2 mm/s; 测后速度: 2 mm/s; 压缩比率为 50%, 传感器为 5 kg 称重传感器; 触发力 5 g, 每次试验重复三次。主要测定参数为硬度, 弹性, 粘聚性, 咀嚼度。

1.2.7 动态流变分析 根据 LI 等^[27]的方法并适当修改。取样, 通过配备 40 mm 平行板的旋转流变仪测定低脂肉糜的动态流变特性。将肉糜涂抹于操作台面, 下降平行板至 1050 nm, 使肉糜完全覆盖平行板, 擦去多余肉糜, 再将高度下降至 1000 nm, 开始测试样品的温度斜坡流变特性。记录在 20~80 ℃ 的温度范围内肉糜样品的储能模量 (G') 和损耗模量 (G''), 升温速率为 2 ℃/min, 频率为 0.1 Hz。

1.2.8 傅里叶红外光谱 (FT-IR) 分析 使用 FT-IR 光谱仪进行测定。将肉糜凝胶冻干后, 研磨成粉, 通过使用玛瑙杵和研钵以 1:100 (w/w) 的比例混合肉糜粉末样品和 KBr。再使用压丸机制备透明且均匀的混合物切片。收集 4000~400 cm^{-1} 波数范围内所有样品的 FT-IR 光谱。

1.2.9 扫描电镜观察 根据李可等^[28]的方法并稍作修改, 将凝胶样品切成 2 mm×2 mm×2 mm 的小块, 放入浓度为 2.5% 的戊二醛溶液中 4 ℃ 下固定过夜, 使用磷酸缓冲液 (0.1 mol/L、pH7.0) 洗涤三次, 每次 15 min。接着使用浓度为 50%、70%、90% 的乙醇溶液分别脱水 15 min, 最后用 100% 乙醇脱水 3 次, 每次 10 min。冷冻干燥后喷 10 nm 金镀膜, 在 2000 倍扫描电镜下观察并拍照。加速电压为 3 kV。

1.2.10 水分分布测定 根据 HAN 等^[29]的方法并稍加改动。称取重量约 2 g 的凝胶样品放入直径 15 mm 的核磁管中, 在分析仪中进行低场 NMR 测定。质子共振频率为 18 MHz, 采样频率为 200 kHz, 半回波时间为 0.6 ms, 重复扫描 16 次, 等待时间为 3000 ms, 自旋-自旋弛豫时间 T_2 用 CPMG 序列测量, 得到的图为指数衰减图形。每个处理测定 5 次。

1.2.11 肉糜凝胶的脂肪氧化分析 参照 GB5009.

181-2016《食品中丙二醛的测定》的方法测定 4 ℃ 条件下肉糜在 0、2、4、6、8 d 的 TBARS 值的含量。

1.3 数据处理

结果表示为至少来自三个重复的具有标准误差的平均值。实验数据使用 SPSS 26 进行统计分析。通过单因素方差分析(ANOVA)分析在实验的化学成分和物理化学性质的数据。采用 Duncan 分析进行均值多重比较分析,显著水平设置为 $P < 0.05$,使用 Origin pro 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 不同比例 TSO 和 NTM 对低脂肉糜保水性的影响

由图 1 所示,随着 TSO 和 NTM 的替代比例增加,低脂肉的保水能力与无替代的对照组相比呈现下降趋势。TSO 在添加量为 70% 时,便与对照组的保水力呈现显著性差异($P < 0.05$),而 NTM 替代组在添加量达到 90% 时才与对照组呈显著性差异($P < 0.05$)。可以看出直接添加 TSO 会降低低脂肉糜的保水性,而将使用 NTM 进行脂肪替代可以改善直接添加 TSO 造成的水分流失。

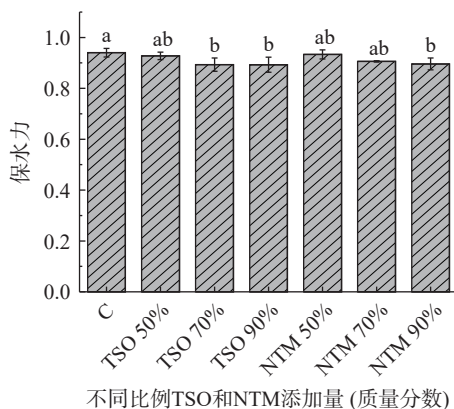


图 1 添加不同比例 TSO 和 NTM 对肉糜凝胶保水力的影响
Fig.1 Effect of TSO and NTM with different proportions on water retention of minced gel

注: C 代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90% 代表茶籽油替代比例分别为 50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90% 代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为 50%, 70%, 90%。

2.2 不同比例 TSO 和 NTM 对低脂肉糜蒸煮得率的影响

蒸煮得率是衡量肉制品保水性的一个重要指标。由图 2 可知与无替代对照组相比,随着 TSO 替代比例的增加,低脂肉糜蒸煮得率降低,当 TSO 替代比例大于 70% 时,其与无替代对照组呈现显著性差异($P < 0.05$);而 NTM 替代组的蒸煮得率虽然也有所下降,但是均与对照组无显著性差异($P > 0.05$);添加比例为 50%、70% 的 TSO 组与添加相同比例的 NTM 组相比,NTM 组的蒸煮得率均显著高于 TSO 替代组($P < 0.05$);由此添加 NTM 可以减少替代脂肪后低脂肉糜凝胶的蒸煮损失。

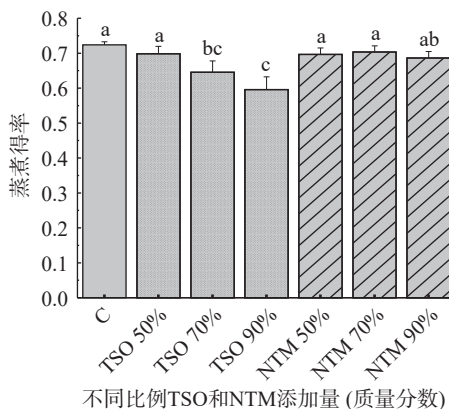


图 2 不同比例 TSO 和 NTM 的添加对肉糜凝胶蒸煮得率的影响

Fig.2 Effect of TSO and NTM in different proportions on the cooking yield of meat gel

注: C 代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90% 代表茶籽油替代比例分别为 50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90% 代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为 50%, 70%, 90%。

2.3 不同比例 TSO 和 NTM 对肉糜凝胶色差影响

由表 2 可知,与无替代对照组相比,添加 TSO 或者 NTM 均能增加 L^* 值和 b^* 值,降低 a^* 值。朱东阳等^[30]发现,猪血浆蛋白乳化棕榈油替代猪背膘后,低脂肉 L^* 值和 b^* 值升高, a^* 值降低。Jiménez-Colmenero 等^[31]利用乳化后的橄榄油代替猪背膘,显著增加香肠的 L^* 值和 b^* 值,降低 a^* 值。本实验与他们的研究结果相符。NTM 替代组的 L^* 值, b^* 与对照组无显著性差异($P > 0.05$),而 TSO 70%, 90% 替代组显著性提高($P < 0.05$),主要原因是茶油在搅拌的过程中形成细小的油滴分散到猪肉糜中,其颗粒粒径远小于脂肪颗粒,分散更均匀,具有更大表面积,使更多的光发生折射^[32]。另外 NTM 70% 和 NTM 90% 的 a^* 值与对照组相似,NTM 50% 和 NTM 70% 的 b^* 值与对照组相似,说明 NTM 替代组的数据稳定性较好,各组之间差异不显著,NTM 替代组的质量控制较为稳定。

表 2 不同比例茶籽油和纳米茶籽油微囊的添加对肉糜凝胶颜色的影响

Table 2 Effect of different proportions of tea seed oil and nano tea seed oil microcapsules on the color of meat gel

组别	L^*	a^*	b^*
C	67.48±0.98 ^c	8.11±1.55 ^a	11.56±0.29 ^b
TSO50%	68.07±0.44 ^c	6.14±0.21 ^{ab}	12.35±0.25 ^b
TSO70%	79.97±0.89 ^b	3.33±0.33 ^{cd}	14.72±0.70 ^a
TSO90%	84.02±0.37 ^a	1.36±0.19 ^d	12.78±0.25 ^b
NTM50%	69.36±1.46 ^c	4.71±0.62 ^{bc}	12.15±0.08 ^b
NTM70%	69.90±0.53 ^c	3.94±0.49 ^{bc}	12.09±0.70 ^b
NTM90%	69.39±0.24 ^c	4.43±0.20 ^{bc}	12.41±0.44 ^b

注: C 代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90% 代表茶籽油替代比例分别为 50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90% 代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为 50%, 70%, 90%; 同列中不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 不同比例 TSO 和 NTM 对肉糜凝胶质构的影响

如表 3 所示,与无替代对照组相比,随着 TSO

表 3 添加不同比例 TSO 和 NTM 对肉糜凝胶质构的影响

Table 3 Effects of TSO and NTM in different proportions on texture of meat gel

组别	硬度(N)	弹性	粘聚性	咀嚼度	回复性
C	1729.23±79.50 ^a	0.74±0.02 ^a	0.58±0.03 ^a	736.14±47.20 ^a	0.25±0.02 ^a
NTM 50%	1148.49±199.03 ^b	0.71±0.01 ^{abc}	0.51±0.04 ^a	411.7±75.86 ^{bc}	0.22±0.04 ^{abc}
NTM 70%	1025.82±34.03 ^{bc}	0.72±0.02 ^{ab}	0.57±0.02 ^a	422.56±17.90 ^b	0.25±0.04 ^{ab}
NTM 90%	770.81±81.95 ^{cd}	0.69±0.04 ^{abc}	0.49±0.01 ^a	263.82±36.02 ^{bcd}	0.19±0.01 ^c
TSO50%	1030.04±105.18 ^{bc}	0.69±0.02 ^{abc}	0.52±0.02 ^a	374.94±48.74 ^{bc}	0.22±0.03 ^{abc}
TSO 70%	736.81±72.22 ^{cd}	0.62±0.04 ^c	0.55±0.02 ^a	254.06±40.48 ^{cd}	0.20±0.01 ^{bc}
TSO 90%	540.22±78.99 ^d	0.64±0.02 ^{bc}	0.51±0.02 ^a	176.51±34.45 ^d	0.19±0.01 ^{bc}

注: C代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90%代表茶籽油替代比例分别为50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90%代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为50%, 70%, 90%; 同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

和 NTM 替代比例的增加, 低脂肉糜凝胶的硬度, 弹性, 粘聚性, 咀嚼度, 回复性均有所下降。李守海^[33]的研究也发现, 使用植物油替代猪背膘制成的低脂肉糜会出现质构的劣化。添加 TSO 和 NTM 替代组的粘聚性均与无替代组无显著性差异($P>0.05$); TSO 70%, 90% 和 NTM 70%, 90% 替代组其硬度和咀嚼度均显著低于无替代组($P<0.05$), 但 NTM 50%~90% 替代组肉糜凝胶的硬度和咀嚼度均高于相同比例的 TSO 替代组; 当 TSO 替代比例 $\geq 70\%$ 时其弹性和回复性均显著性低于对照组($P<0.05$), 而 NTM 90% 替代组其弹性仍与无替代组无显著性差异($P>0.05$); NTM 的替代比例为 90% 时, 其回复性才与无替代组有显著性差异($P<0.05$)。比较 NTM 组内的质构特性可以发现, NTM70% 替代组肉糜凝胶的质构特性优于 50% 和 90% 的 NTM 替代组。因此使用 70%NTM 作为脂肪替代物效果最优, 可以减少 TSO 替代脂肪带来的肉糜凝胶质构的劣化。

2.5 不同比例 TSO 和 NTM 对肉糜凝胶动态流变特性的影响

储能模量与损耗模量是衡量低脂猪肉糜凝胶弹性和黏度的重要指标之一, 反映了样品的抗流动性或者抗内摩擦力^[1], 肉类的诸多品质指标如新鲜度、嫩度、多汁性、等都与黏弹性流变学性质密切相关。不同处理的样品凝胶体系在 20~80 °C 温度测量范围内储能模量 G' 和损耗模量 G'' 的变化情况分别如图 3 所示。

由图 3a 知, NTM 替代组低脂猪肉凝胶的储能模量 G' 整体低于对照组 G' , 在 20~35 °C 范围内, NTM70% 组的 G' 高于 TSO 各组 G' , 在此范围内, 添加 NTM70% 的低脂猪肉弹性优于 NTM50%、NTM 90% 以及 TSO 各组。温度高于 40 °C 之后, TSO70% 组与 TSO50% 组储能模量 G' 开始高于 NTM 各组 G' , 在此范围内, 添加 TSO 的低脂猪肉弹性优于 NTM 各组。

由图 3b 知, 在 20~30 °C 温度范围内, NTM 0% 复合低脂猪肉凝胶的损耗模量 G'' 高于对照组 G'' , 在 20~40 °C 范围内, NTM 70% 组的 G'' 高于 TSO 各组 G'' 以及 NTM 50% 组、NTM 90% 组, 在此范围内, 添加 NTM 70% 的低脂猪肉黏度高于 NTM 50%、

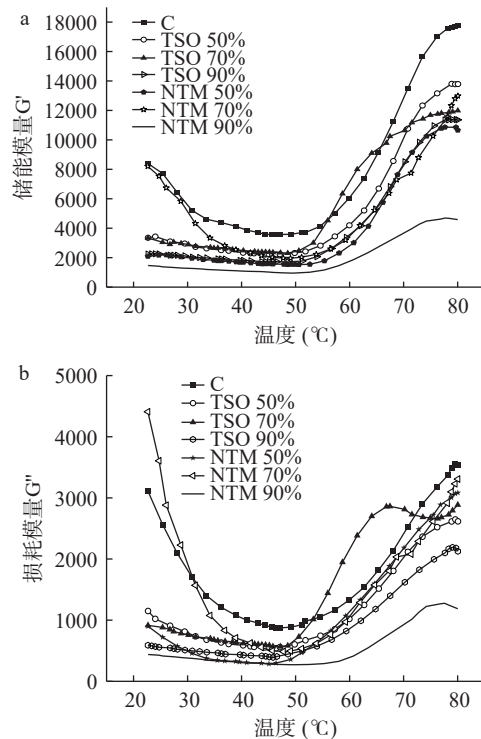


图 3 添加不同比例 TSO 和 NTM 肉糜凝胶的流变特性

Fig.3 Rheological properties of meat gel with different proportions of TSO and NTM

注: a. 添加不同比例 TSO 和 NTM 肉糜凝胶的储能模量 G' ; b. 添加不同比例 TSO 和 NTM 肉糜凝胶的损耗模量 G'' ; C 代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90% 代表茶籽油替代比例分别为 50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90% 代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为 50%, 70%, 90%。

NTM 90% 以及茶油各组。在 45~75 °C 温度区间内, TSO 70% 组与 TSO 50% 组损耗模量 G'' 高于 NTM 各组 G'' , 在此范围内, 添加 TSO 的低脂猪肉黏度高于 NTM 各组。

由此推理在常温储存条件下, 添加 NTM 70% 的低脂肉糜黏弹性优于直接添加 TSO 的低脂肉糜。黏弹性高的肉糜嫩度较高, 更柔嫩有弹性, 口感更丰富。

2.6 添加不同比例 TSO 和 NTM 的肉糜凝胶傅里叶红外光谱分析

TSO 添加组, NTM 添加组和无替代对照组的红外光谱分析结果如图 4 所示, 3285 cm^{-1} 附近为酰胺

A 带, O-H 伸缩振动峰^[34], 由图可以看出添加 NTM 的替代组在此处的峰形宽度与对照组和 TSO 组相比更宽; 对照组, TSO 添加组, NTM 添加组的 -COCH₃ 伸缩振动峰均在 1652 cm⁻¹ 附近, 与无替代对照组, TSO 添加组相比 NTM 添加组在此处的伸缩振动强度有所增强。无替代对照组和 TSO 添加组在 1031 cm⁻¹ 附近无明显特征峰, 而 NTM 添加组在 1031 cm⁻¹ 附近出现吸收峰, 且添加 90%NTM 的实验组吸收峰最强, 属于 C-O 伸缩振动峰^[34]。而在较

小的波段出现了由于 NTM 添加而导致的小峰, 可能是由于微胶囊与蛋白之间形成了新的氢键导致^[35]。因此使用 NTM 替代脂肪制成的肉糜凝胶与使用 TSO 的替代组相比结构更紧密, 其保水性、稳定性都有所改善。

2.7 添加不同比例 TSO 和 NTM 的肉糜凝胶扫描电镜分析

图 5 所示的是无替代组, TSO 添加组 (50%、70%、90%) 和 NTM 添加组 (50%、70%、90%) 肉糜凝胶在 1000 倍扫描电镜下的图像。一般而言, 连续均匀的蛋白质凝胶结构可以有效地结合脂肪和水分, 形成良好的质构。但是粗糙、不连续的凝胶结构质地较差^[36]。由图 5 可以看出与无替代组和 NTM 组相比, 添加 TSO 制成的肉糜凝胶结构较差, 且添加比例越高越明显, 说明添加 TSO 会带来较差的质地和持水能力。对比 TSO 组和 NTM 组的凝胶扫描电镜图, 可以看出添加 TSO 的肉糜凝胶中出现脂肪堆积的情况, 而采用 NTM 替代组的脂肪则以较小的颗粒均匀的分布在肉糜凝胶中, 且在 NTM 替代组的图像中未出现过大的蛋白质颗粒, 蛋白质能够与 NTM 之间较为均的结合在一起, 这种均匀的分布可以在一定程度上改善直接添加 TSO 带来的肉糜凝胶的质构劣化, 失水和失油情况^[31]。

2.8 添加不同比例 TSO 和 NTM 的肉糜凝胶水分分布分析

无替代对照组, TSO 替代组, NTM 替代组的水

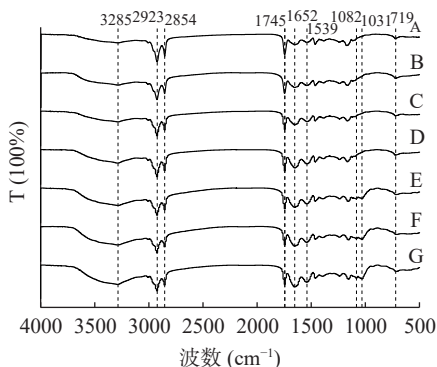


图 4 添加不同比例 TSO 和 NTM 肉糜凝胶红外光谱图

Fig.4 Infrared spectrum of gel of minced meat with different proportions of TSO and NTM

注: A: 无替代对照组; B: TSO 50%; C: TSO 70%; D: TSO 90%; E: NTM 50%; F: NTM 70%; G: NTM 90%; TSO 50%, 70%, 90% 代表茶籽油替代比例分别为 50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90% 代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为 50%, 70%, 90%。

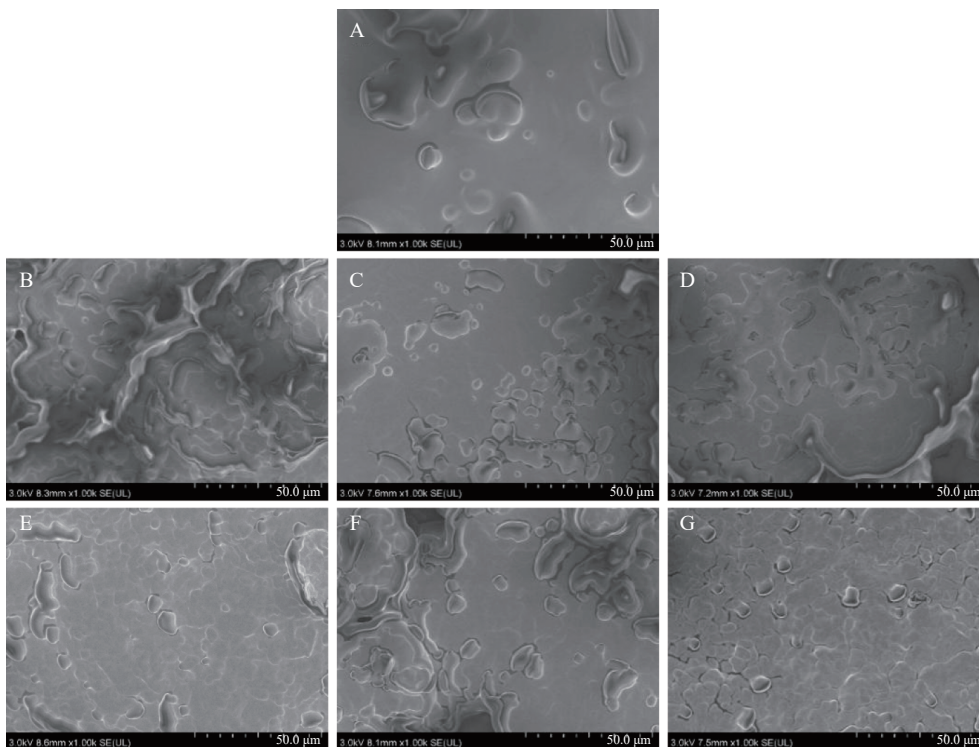


图 5 添加不同比例 TSO 和 NTM 肉糜凝胶扫描电镜图

Fig.5 Scanning electron microscope of gel of minced meat with different proportions of TSO and NTM

注: A: 无替代对照组; B: TSO 50%; C: TSO 70%; D: TSO 90%; E: NTM 50%; F: NTM 70%; G: NTM 90%; TSO 50%, 70%, 90% 代表茶籽油替代比例分别为 50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90% 代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为 50%, 70%, 90%。

分布情况可以采用 T_2 自旋-弛豫时间表示, 如图 6 和表 4 所示, T_{2a} 代表的是强结合水, T_{2b} 是弱结合水, T_{21} 是不易流动水, T_{22} 是自由水^[37], A_{2a} 、 A_{2b} 、 A_{21} 、 A_{22} 分别代表相应水分的分布占比; 当添加 TSO 时, 随着添加比例的增加, 不易流动水的占比下降, 且不易流动水的弛豫时间变长。当添加 50% 的 NTM 时肉糜凝胶的不易流动水占比高于无替代对照组, 且不易流动水的弛豫时间减少, 说明添加 50% 的 NTM 可以抑制肉糜凝胶水分的流失; 70% 和 90% 的 NTM 添加组的不易流动水的占比相较于无替代对照组有所下降, 但是与无替代对照组差异不显著($P>0.05$), 而 70%, 90% TSO 添加组的不易流动水占比显著低于($P<0.05$)无替代对照组, 进一步说明 NTM 可以在一定程度上减少低脂肉制品水分的流失。

2.9 不同处理组肉糜凝胶脂肪氧化分析

由表 5 可以看出随着贮藏时间的增加, TBARS 的数值呈现上升的趋势; 在 0~4 d 时上升趋势大, 4~8 d 时逐渐放缓, 在第 8 d 达到最高水平。对比 TSO 替代组和 NTM 替代组的 TBARS 数值可以看出, 随着替代比例的提高, 脂肪的氧化水平提高。TSO 组在 2~8 d 内的脂肪氧化水平均高于无替代对照组, 而 50%, 70% 的 NTM 替代组的氧化水平均显著低于无替代对照组($P<0.05$), NTM 90% 组在 2~4 d 时高于无替代对照组但仍显著低于的 TSO 90% 替代

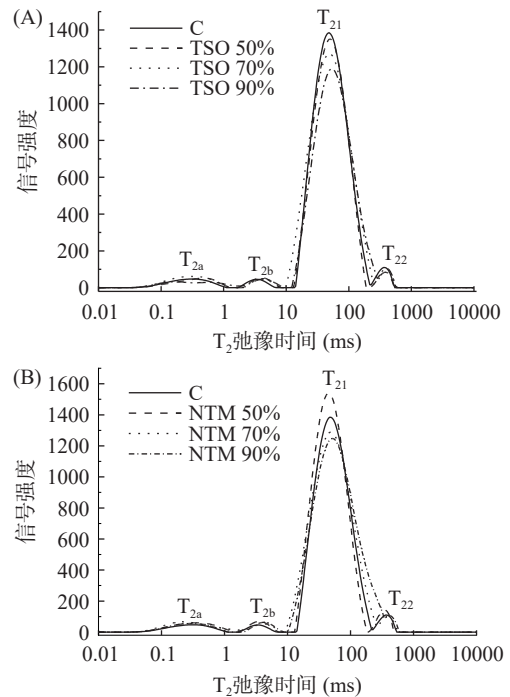


图 6 添加不同比例 TSO 和 NTM 肉糜凝胶的 T_2 弛豫时间分布

Fig.6 T_2 relaxation time distribution of minced gel with different proportions of TSO and NTM

注: A: TSO 添加组; B: NTM 添加组; 图中 C 代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90% 代表茶籽油替代比例分别为 50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90% 代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为 50%, 70%, 90%。

表 4 添加不同比例 TSO 和 NTM 肉糜凝胶的 T_2 弛豫时间分布及其峰占比

Table 4 T_2 relaxation time distribution and peak proportion of different proportions of TSO and NTM minced gel

组别	初始弛豫时间(ms)				峰面积相对百分比(%)			
	T_{2a} (ms)	T_{2b} (ms)	T_{21} (ms)	T_{22} (ms)	A_{2a} (%)	A_{2b} (%)	A_{21} (%)	A_{22} (%)
C	0.303±0.049 ^a	3.379±0.127 ^a	47.480±1.824 ^{ab}	369.576±19.343 ^{ab}	3.864±0.179 ^a	1.725±0.134 ^a	91.589±0.351 ^a	2.822±0.136 ^a
TSO 50%	0.350±0.087 ^a	3.975±0.471 ^{bcd}	52.3037±6.008 ^{bc}	384.002±30.428 ^{abc}	4.480±0.601 ^{ab}	2.064±0.206 ^{bc}	91.570±0.871 ^a	1.887±0.277 ^{bc}
TSO 70%	0.412±0.098 ^a	4.373±0.480 ^d	52.723±5.079 ^{bc}	417.069±28.260 ^c	4.781±0.403 ^b	2.350±0.168 ^c	90.178±0.670 ^c	2.691±0.281 ^a
TSO 90%	0.414±0.173 ^a	4.511±0.407 ^{cd}	53.629±3.912 ^c	401.632±21.291 ^{bc}	5.741±0.217 ^c	2.278±0.323 ^c	89.016±0.717 ^d	2.957±0.465 ^a
NTM 50%	0.261±0.072 ^a	3.417±0.291 ^{ab}	42.534±2.641 ^a	349.499±14.845 ^a	4.680±0.536 ^b	1.864±0.253 ^{ab}	91.844±0.461 ^a	1.612±0.202 ^c
NTM 70%	0.309±0.102 ^a	3.848±0.230 ^{abc}	47.966±2.962 ^{abc}	373.133±22.249 ^{ab}	4.069±0.535 ^{ab}	2.023±0.179 ^{abc}	91.768±0.820 ^a	2.140±0.421 ^b
NTM 90%	0.313±0.080 ^a	4.321±0.116 ^{cd}	52.077±2.001 ^{bc}	412.683±15.569 ^c	4.164±0.419 ^{ab}	2.120±0.130 ^{bc}	91.625±0.527 ^a	2.120±0.263 ^b

注: C代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90%代表茶籽油替代比例分别为50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90%代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为50%, 70%, 90%; 同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

表 5 添加不同比例的 TSO 和 NTM 肉糜凝胶在 4 °C 贮藏条件下 TBARS 的值

Table 5 TBARS values of different proportions of TSO and NTM mince gel added at 4 °C

组别	TBARS值(mg/kg)				
	0 d	2 d	4 d	6 d	8 d
C	0.34±0.01 ^a	1.30±0.06 ^a	1.50±0.01 ^a	1.87±0.02 ^a	2.09±0.01 ^a
TSO 50%	0.56±0.02 ^{bc}	1.31±0.01 ^a	1.70±0.01 ^b	1.93±0.01 ^b	2.10±0.11 ^a
TSO 70%	0.70±0.06 ^c	1.34±0.01 ^a	1.95±0.01 ^c	2.06±0.04 ^c	2.22±0.01 ^b
TSO 90%	0.96±0.03 ^f	1.59±0.01 ^b	2.05±0.12 ^d	2.14±0.01 ^d	2.30±0.01 ^b
NTM 50%	0.50±0.01 ^b	1.16±0.01 ^c	1.42±0.01 ^a	1.49±0.03 ^c	1.57±0.01 ^c
NTM 70%	0.62±0.03 ^{cd}	1.18±0.01 ^c	1.43±0.01 ^a	1.63±0.02 ^f	1.70±0.01 ^d
NTM 90%	0.66±0.05 ^{de}	1.40±0.01 ^d	1.69±0.01 ^b	1.85±0.02 ^a	1.90±0.01 ^c

注: C代表未进行替代的对照组; TSO 50%, 70%, 90%代表茶籽油替代比例分别为50%, 70%, 90%; NTM 50%, 70%, 90%代表纳米茶籽油微囊替代比例分别为50%, 70%, 90%; 同列中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

组($P<0.05$);且在第8d时90%NTM替代组的氧化水平(TBARS值为1.90 mg/kg)显著低于无替代对照组(TBARS值为2.09 mg/kg)($P<0.05$)。朱虹^[38]的研究表明蜂胶可以增强菜籽油和猪油的抗氧化能力,而卵磷脂可以作为蜂胶抗氧化的增效剂,进一步提高其抗氧化能力。由此可以看出添加以蜂胶和卵磷脂作为壁材的NTM可以抑制油脂的氧化,提高低脂肉制品的贮藏时间。

3 结论

与无替代组相比,NTM添加量在50%、70%时能够显著提高肉糜凝胶中不易流动水的占比,降低肉糜凝胶的脂肪氧化水平,同时对肉糜凝胶的保水性、蒸煮得率、弹性、粘聚性、回复性、亮度未出现显著性影响($P>0.05$);且均优于添加相同比例的TSO肉糜凝胶。另外,与TSO替代组相比,NTM在凝胶中的分布更加均匀,起到稳定的替代脂肪的作用。说明添加适量的NTM可以改善直接添加TSO对猪肉糜的理化性质造成的劣化。综上,70%NTM替代猪背膘可在不影响肉糜凝胶结构以及各种感官指标的基础上,起到降低猪肉糜制品中的饱和脂肪酸含量效果。本实验可为微囊化植物油替代猪肉脂肪的研究提供一定的理论与数据基础。

本研究发 现 NTM 可对猪肉肉糜的理化性质产生一定的影响,但对产品风味和体内消化的性质还需深入研究,下一步将通过体外消化实验来探究使用NTM替代猪肉脂肪的低脂肉糜制品的消化特性。

参考文献

- [1] 李可,李燕,刘俊雅,等.竹笋膳食纤维结合预乳化植物油对低脂猪肉糜乳化稳定性和流变学特性的影响[J].*食品与发酵工业*,2020,46(20):9-14. [LI Ke, LI Yan, LIU Junya, et al. Effects of bamboo shoots dietary fiber combined with pre-emulsified vegetable oil on emulsion stability and rheological properties of lower-fat meat batters[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(20): 9-14.]
- [2] 孟令义,戴瑞彤.脂肪替代物及其在食品中的应用[J].*肉类研究*,2007(6):40-43. [MENG Lingyi, DAI Ruitong. Fat substitute and its application in food industry[J]. *Meat Research*, 2007(6): 40-43.]
- [3] 周玲,周萍.亲水胶体对低脂肉糜加热稳定性的影响[J].*肉类工业*,2008(6):12-14. [ZHOU Ling, ZHOU Ping. Effect of hydrophilic colloids on thermal stability of low fat emulsion products [J]. *Meat Industry*, 2008(6): 12-14.]
- [4] CHOI Y S, KIM Y B, HWANG K E, et al. Effect of apple pomace fiber and pork fat levels on quality characteristics of uncured, reduced-fat chicken sausages[J]. *Poultry Science*, 2016, 95(6): 1465-1471.
- [5] 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 Yanqun, LI Ling. Effect 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.]
- [6] PANERAS E D, BLOUKAS J G. Vegetable oils replace pork backfat for low-fat frankfurters[J]. *Journal of Food Science*, 1994, 59(4): 725-728.
- [7] YOUSSEF M K, BARBUT S, SMITH A. Effects of pre-emulsifying fat/oil on meat batter stability, texture and microstructure[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2011, 46(6): 1216-1224.
- [8] ASUMING-BEDIAKO N, JASPAL M H, HALLETT K, et al. Effects of replacing pork backfat with emulsified vegetable oil on fatty acid composition and quality of UK-style sausages[J]. *Meat Science*, 2014, 96(1): 187-194.
- [9] GANI A, BENJAKUL S, NUTHONG P. Effect of virgin coconut oil on properties of surimi gel[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, 55: 496-505.
- [10] YOUSSEF M K, BARBUT S. Fat reduction in comminuted meat products-effects of beef fat, regular and pre-emulsified canola oil[J]. *Meat Science*, 2011, 87(4): 356-360.
- [11] KIM J S, GODBER J S, PRINAYWIWATKUL W. Restructured beef roasts containing rice bran oil and fiber influences cholesterol oxidation and nutritional profile[J]. *Journal of Muscle Foods*, 2000, 11(2): 111-127.
- [12] CITTADINI A, MUNEKATA P E S, PATEIRO M, et al. Encapsulation techniques to increase lipid stability[J]. *Food Lipids*, 2022: 413-459.
- [13] GÓMEZ B, BARBA F J, DOMÍNGUEZ R, et al. Microencapsulation of antioxidant compounds through innovative technologies and its specific application in meat processing[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 82: 135-147.
- [14] PÉREZ-PALACIOS T, RUIZ-CARRASCAL J, JIMÉNEZ-MARTÍN E, et al. Improving the lipid profile of ready-to-cook meat products by addition of omega-3 microcapsules: Effect on oxidation and sensory analysis[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(14): 5302-5312.
- [15] CITTADINI A, MUNEKATA P E S, PATEIRO M, et al. Microencapsulated healthy oil mixtures to enhance the quality of foal pâtés[J]. *Foods*, 2022, 11(21): 3342.
- [16] 于江颖,黄骅,宋仁德,等.微胶囊技术及其在肉制品中的应用研究进展[J].*肉类工业*,2022,493(5):46-53. [YU Jiangying, HUANG Hua, SONG Rende, et al. Research progress on microcapsule technology and its application in meat products[J]. *Meat Industry*, 2022, 493(5): 46-53.]
- [17] MUTHUKUMARASAMY P, HOLLEY R A. Microbiological and sensory quality of dry fermented sausages containing alginate-microencapsulated *Lactobacillus reuteri*[J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2006, 111(2): 164-169.
- [18] LOTFY S N, FADEL H H M, EL-GHORAB A H, et al. Stability of encapsulated beef-like flavourings prepared from enzymatically hydrolysed mushroom proteins with other precursors under conventional and microwave heating[J]. *Food Chemistry*, 2015, 187: 7-13.
- [19] 李铁纯,侯冬岩,回瑞华,等.茶籽油和橄榄油脂肪酸的分析[J].*鞍山师范学院学报*,2020,22(6):29-32. [LI Tiechun, HOU Dongyan, HUI Ruihua, et al. Analysis of tea seed oil and olive oil fatty acids[J]. *Journal of Anshan Normal University*, 2020, 22(6): 29-32.]
- [20] 曾祥基.食用油脂营养的新观点[J].*四川粮油科技*,2000(3):40-42,46. [ZENG Xiangji. New perspectives on edible oil nutrition[J]. *Sichuan Grain and Oil Technology*, 2000(3): 40-42, 46.]
- [21] 李秋庭,陆顺忠.前景广阔的保健食用油-茶籽油[J].*广西林业科学*,2003(3):154-156,158. [LI Qiuting, LU Shunzhong.

- Tea seed oil-A promising health edible oil[J]. *Guangxi Forestry Science*, 2003(3): 154-156,158.]
- [22] MEI L, JI Q Y, JIN Z, et al. Nano-microencapsulation of tea seed oil via modified complex coacervation with propolis and phosphatidylcholine for improving antioxidant activity[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 163: 113550.]
- [23] KANG Z L, WANG P, XU X L, et al. Effect of a beating process, as a means of reducing salt content in Chinese-style meatballs (kung-wan): A dynamic rheological and Raman spectroscopy study[J]. *Meat Science*, 2014, 96(2): 669-674.]
- [24] 王硕博. 不同玉米油凝胶作为火腿肠中脂肪替代品[J]. *中国油脂*, 2021, 46(7): 121-126. [WANG Songbo. Different corn oil gel as a substitute for ham sausage fat[J]. *China Oils and Fats*, 2021, 46(7): 121-126.]
- [25] 王春彦, 康壮丽, 马汉军, 等. 不同食盐添加量和蒸煮温度对猪肉糜品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(3): 194-198. [WANG Chunyan, KANG Zhuangli, MA Hanjun, et al. Effects of salt and temperatures on gel characteristics of ground pork[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2018, 44(3): 194-198.]
- [26] 李德海, 徐颖, 顾嘉琳, 等. 黑木耳多糖对猪肉糜质构及氧化特性的影响[J]. *食品科学*, 2016, 37(15): 88-93. [LI Dehai, XU Ying, GU Jialin, et al. Effects of *Auricularia auricula* polysaccharides (AAP) on the texture of minced pork and their antioxidant potential[J]. *Food Science*, 2016, 37(15): 88-93.]
- [27] LI K, KANG Z L, ZHAO Y Y, et al. Use of high-intensity ultrasound to improve functional properties of batter suspensions prepared from PSE-like chicken breast meat[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, 7: 3466-3477.]
- [28] 李可, 刘俊雅, 扶磊, 等. 竹笋膳食纤维对猪肉盐溶性蛋白热诱导凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(4): 56-61. [LI Ke, LIU Junya, FU Lei, et al. Effect of bamboo shoot dietary fiber on heat induced gel properties of pork salt soluble protein[J]. *Food Science*, 2019, 40(4): 56-61.]
- [29] HAN M Y, WANG P, XU X L, et al. Low-field NMR study of heat-induced gelation of pork myofibrillar proteins and its relationship with microstructural characteristics[J]. *Food Research International*, 2014, 62: 1175-1182.]
- [30] 朱东阳, 康壮丽, 何鸿举, 等. 猪血浆蛋白乳化棕榈油对猪肉糜凝胶特性的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(5): 71-75. [ZHU Dongyang, KANG Zhuangli, HE Hongju, et al. Effect of porcine plasma protein emulsified palm oil on gel properties of minced pork[J]. *Food Science*, 2018, 39(5): 71-75.]
- [31] JIMÉNEZ-COLMENERO F, HERRERO A, PINTADO T, et al. Influence of emulsified olive oil stabilizing system used for pork backfat replacement in frankfurters[J]. *Food Research International*, 2010, 43(8): 2068-2076.]
- [32] 王正荣, 阮夏青, 马文涛, 等. 苹果渣结合预乳化稻米油对低脂猪肉丸品质的影响[J]. *食品科学*, 2020, 41(12): 54-59. [WANG Zhengrong, RUAN Xia Qing, Ma Wentao, et al. Effect of apple pomace combined with pre emulsified rice oil on the quality of low fat pork pills[J]. *Food Science*, 2020, 41(12): 54-59.]
- [33] 李守海. 预乳化植物油替代背膘脂肪对狮子头食用品质影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015. [LI Shouhai. Effects of replacement of back fact by pre-emulsified vegetable oil on the quality of pork ball[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.]
- [34] 李晓毓, 曹莹莹, 耿雪晴, 等. 魔芋葡甘露聚糖对中式香肠品质及凝胶特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(10): 72-77. [LI Xiaoyu, CAO Yingying, GENG Xueqing, et al. Effects of konjac glucomannan (KGM) on quality and gel properties of Chinese-style sausage[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(10): 72-77.]
- [35] 张艳玲, 夏远, 朝格图, 等. 野菊花不同提取物的红外光谱分析[J]. *光谱学与光谱分析*, 2012, 32(12): 3225-3228. [ZHANG Yanling, XIA Yuan, CHAO Getu, et al. Study on different extracts of chrysanthemum indicum by fourier transform infrared spectroscopy[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2012, 32(12): 3225-3228.]
- [36] HU H Y, PEREIRA J, XING L J, et al. Thermal gelation and microstructural properties of myofibrillar protein gel with the incorporation of regenerated cellulose[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 86: 14-19.]
- [37] 胡忠良, 邹玉峰, 林玉海, 等. 氧化对鸡胸肉肌原纤维蛋白热诱导凝胶保水性及水分子 T2 弛豫特性的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36(4): 121-126. [HU Zhongliang, ZOU Yufeng, LIN Yuhai, et al. Effects of oxidation on water hoding capacity and T2 relaxation of heat-induced gel of myofibrillar proteins isolated from chicken breast muscle[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2013, 36(4): 121-126.]
- [38] 朱虹. 蜂胶在食用油脂中的抗氧化作用[J]. *现代食品科技*, 2007, 101(11): 22-23,46. [ZHU Hong. Evaluation of antioxidant effect of propolis in edible oil[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2007, 101(11): 22-23,46.]