



赵电波, 闫曙光, 栗俊广, 等. 不同冷冻处理对 KGM-ADSP 复合乳液凝胶质构、流变和热特性的影响[J]. 轻工学报, 2023, 38(4): 20-26.
ZHAO D B, YAN S L, LI J G, et al. Effect of different freezing treatments on the texture, rheology and thermal properties of KGM-ADSP composite emulsion gels[J]. Journal of Light Industry, 2023, 38(4): 20-26.
DOI: 10.12187/2023.04.003

不同冷冻处理对 KGM-ADSP 复合乳液凝胶质构、流变和热特性的影响

赵电波^{1,2}, 闫曙光^{1,2}, 栗俊广^{1,2}, 何向丽^{1,2}, 赵建生³, 白艳红^{1,2}

1. 郑州轻工业大学 食品与生物工程学院, 河南 郑州 450001;
2. 郑州轻工业大学 中原食品实验室, 河南 漯河 462300;
3. 河南双汇投资发展股份有限公司, 河南 漯河 462300

摘要: 以魔芋葡甘聚糖(KGM)、木薯乙酰化二淀粉磷酸酯(ADSP)为原料, 甲基纤维素为乳化剂, 大豆植物油为油相, 制备 KGM-ADSP 复合乳液凝胶, 通过测定不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂(对照组)的色泽、白度、离心损失等, 研究不同冷冻处理对 KGM-ADSP 复合乳液凝胶质构、流变和热特性的影响。结果表明: 冷冻处理可显著提高 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的白度、硬度、弹性和离心损失, 降低其蒸煮损失、储能模量和损失模量, 且 KGM-ADSP 复合乳液凝胶在升温时均不会发生油脂融化现象; 经 300 W 超声波辅助冷冻处理后的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶, 其白度、质构、硬度、内聚性、咀嚼性和流变特性均与猪背脂最接近, 且在一定热环境下与猪背脂的储能模量和损失模量差异较小, 可作为热加工肉制品的脂肪替代物。

关键词: KGM-ADSP 复合乳液凝胶; 超声波辅助冷冻; 质构特性; 流变特性; 热特性

中图分类号: TS251.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-1553(2023)04-0020-07

0 引言

脂肪是肉制品重要的组成部分, 对维持肉制品质构特性和风味起着重要作用^[1-2]。然而, 长期过量摄入脂肪不仅会导致肥胖, 还会引发心血管疾病, 产生健康隐患^[3]。近年来, 消费者对肉制品的偏好逐渐向低脂方向转变, 但直接降低肉制品中脂肪的添加量会影响产品口感和风味^[4]。因此, 用脂肪替代物生产的低脂模拟肉制品逐渐受到消费者青睐^[5]。

近年来, 科研工作者开展了利用蛋白质、淀粉、

多糖等植物基成分制备凝胶以代替块状脂肪的研究^[6], 利用植物蛋白质、多糖等作为凝胶网络主体^[7], 同时充当乳化剂, 将植物油和水乳化, 最终形成乳液凝胶, 以达到类似脂肪的滑腻口感, 同时又具有与脂肪类似的疏水特性^[8], 可减少脂肪的摄入^[9]。马兰雪^[10]将魔芋葡甘聚糖(Konjac Glucomannan, KGM)与海藻酸钠复配制备的块状脂肪替代物应用于红肠制作中, 减少了红肠的脂肪含量。余依敏等^[11]将由 KGM 与可得然胶复配制备的块状凝胶代替动物脂肪, 并应用于香肠制作中, 提高了香

收稿日期: 2023-02-20; 修回日期 2023-04-26; 出版日期: 2023-08-15

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(32102045); 河南省科技攻关项目(202102110294)

作者简介: 赵电波(1975—), 男, 山东省东明县人, 郑州轻工业大学副教授, 主要研究方向为肉品加工与质量安全控制。
E-mail: zhaodb212@163.com

肠的脂肪抗氧化活性。M. C. Baune 等^[12]从大豆、豌豆和土豆中鉴定出一种商业分离蛋白,并用于制备呈中性(pH 值为 6.5)且耐热(72 ℃)的乳状凝胶,该凝胶可用作固体动物脂肪的替代物。低脂肉制品加工已成为研究热点,但如何制备更贴近原有块状脂肪的乳液凝胶依旧是困扰产品创新的瓶颈问题。

冷冻是调节 KGM 凝胶特性的重要手段,可显著提高 KGM 的凝胶强度。相较于传统的空气冷冻(Air Freezing, AF),浸渍冷冻(Immersion Freezing, IF)使用导热系数更高的低温冷冻液,可有效改善产品的冷冻品质。而超声波辅助冷冻(Ultrasonic-assisted Freezing, UF)技术是指产品在浸渍冷冻的同时施加一定功率的超声波,可进一步改善产品的冷冻品质^[13]。木薯乙酰化二淀粉磷酸酯(Acetylated Distarch Phosphate, ADSP)对冻融 KGM 凝胶解冻时的脱水收缩现象有较好的抑制效果,可作为冻融 KGM 凝胶的品质改良剂^[14]。

基于此,本研究拟以 KGM、ADSP 为原料,甲基纤维素为乳化剂,大豆植物油为油相,制备 KGM-ADSP 复合乳液凝胶,分别采用空气冷冻、浸渍冷冻和超声波(300 W)辅助冷冻对该复合乳液凝胶进行冻融处理,测定其色泽、质构、保水保油性、流变、热特性等的变化,并与对照组块状脂肪猪背脂进行对比分析,以期为块状脂肪替代物在肉制品加工中的应用提供理论指导和参考。

1 材料与amp;方法

1.1 主要材料与试剂

KGM(型号 S30903,纯度 80%,试剂级)、甲基纤维素(纯度 BR,黏度 25 mPa·s),上海源叶生物科技有限公司;无水 Na₂CO₃(分析纯),天津市大茂化学试剂有限公司;ADSP(纯度 99%,食品级),青州北联淀粉有限公司;大豆植物油、猪背脂,郑州丹尼斯百货有限公司。

1.2 主要仪器与设备

T25 型数显高速匀浆机,德国 IKA 公司;BPHJ-500C 型高低温交变箱,上海一恒科学仪器有限公司;JK-8U 型温度巡检仪,常州金艾联电子科技有限公司;SZ-22A 型绞肉机,广州旭众食品机械有限

公司;CR-GIII 型高速冷冻离心机,日本日立公司;NR10QC 型色差仪,深圳三恩时有限公司;GM200 型斩拌机,德国莱驰公司;SJT-1-10 L 型超声波辅助速冻设备,无锡上佳生物科技有限公司;TA-XT Plus 型质构分析仪,英国 Stable Micro System 公司;Discovery 型旋转流变仪、Q20 型差示扫描量热仪,美国 TA 仪器公司。

1.3 实验方法

1.3.1 甲基纤维素乳液制备 将 1 g 甲基纤维素溶解于 40 g 去离子水中,加入 15 g 大豆植物油,在高速匀浆机中以 10 000 r/min 的转速匀浆 2 min,即获得甲基纤维素乳液。将该乳液于 0~4 ℃ 冰箱中储存,备用。

1.3.2 未冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶制备 将 2.5 g KGM 和 1.5 g ADSP 充分溶解于 90 g 去离子水中,加入 6.48 g 碱液(0.48 g 无水 Na₂CO₃ 完全溶解于 6 g 去离子水中)和 1.3.1 制备的全部甲基纤维素乳液,以 2000 r/min 的转速搅拌 2 min 后,封口溶胀 2 h;然后于 90 ℃ 隔水加热 1 h 形成凝胶,待凝胶冷却至室温(25 ℃)后,于 4 ℃ 冰箱中静置 12 h,即制得未经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶,记为 NO-FREEZE。

1.3.3 不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶制备 分别采用空气冷冻、浸渍冷冻和超声波辅助冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶。空气冷冻在 -20 ℃ 高低温交变箱中进行,所制备样品记为 AF。浸渍冷冻在浸渍冷冻池中进行,复合乳液凝胶样品浸没于 -20 ℃ 冷冻液中,所制备样品记为 IF。超声波辅助冷冻同样在浸渍冷冻池中进行,同步施加功率为 300 W 的超声波,超声波工作 5 s,暂停 5 s,所制备样品记为 UF-300 W。所有样品在中心温度达到 -18 ℃ 时转移至 -18 ℃ 冰箱中静置 12 h,再在室温下解冻 6 h,即制得经不同冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶。将猪背脂作为对照,不经冻融处理,记为 FAT。

1.3.4 色泽和白度测定 将复合乳液凝胶样品和猪背脂均切成 2 cm³ 小块,用滤纸轻轻吸去表面水分后,使用色差仪测定其 L*、a* 和 b*,其中, L* 代表亮度, a* 代表偏红或偏蓝, b* 代表偏黄或偏绿。

白度计算公式如下:

$$\text{白度} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

1.3.5 离心损失和蒸煮损失测定 测定离心损失时,用滤纸轻轻吸去复合乳液凝胶样品和猪背脂表面水分,于4℃、10 000 r/min条件下离心20 min后,再次吸去表面水分,称量离心前后样品的质量。测定蒸煮损失时,将复合乳液凝胶样品和猪背脂均切成1 cm³小块,分别称取6 g样品于10 mL离心管中,经90℃水浴加热1 h后,用滤纸吸去水分和油脂,称量蒸煮前后样品的质量。离心损失(%)和蒸煮损失(%)的计算公式如下:

$$\text{离心损失} = (b - a) / b \times 100\%$$

$$\text{蒸煮损失} = (c - d) / c \times 100\%$$

式中:*a*为离心后样品质量/g,*b*为离心前样品质量/g;*c*为蒸煮前样品质量/g;*d*为蒸煮后样品质量/g。

1.3.6 质构参数测定 将复合乳液凝胶样品和猪背脂均切成直径约25 mm,高约10 mm的圆柱体,在室温下使用质构分析仪测定其质构参数,程序设定如下:使用P/36R探头,压缩形变量50%,触发力5 g,测前速度2 mm/s,测中、测后速度1 mm/s,间隔时间5 s。

1.3.7 流变特性测定 将复合乳液凝胶样品和猪背脂分别在绞肉机中经4 mm孔板绞制后,在斩拌机中斩拌2 min形成泥状样品,将其充分覆盖在平板底座上,使用40 mm夹具下压,切边后进行流变频率扫描和温度扫描。预先进行应变扫描以确保形变时的应变值在线性黏弹区内,测定指标为储能模量和损失模量。频率扫描测定参数如下:夹具缝隙0.5 mm,频率范围0.1~500 rad/s,应变1%,温度25℃。温度扫描时为防止水分蒸发,切片后应在样品与夹具的缝隙处涂抹高密度硅油,测定参数如下:温度25℃,以1℃/min的速率加热到90℃,应变1%,频率0.1 Hz。

1.3.8 热特性测定 将复合乳液凝胶样品和猪背脂分别称重后密封于铝盘中,平衡24 h,使用差示扫描量热仪测定其于4~60℃温度范围内的热流变化,升温速率设定为1℃/min,并绘制热流曲线。

1.4 数据分析

以上所有实验均重复3次,通过Origin 2018软

件绘制图表,使用IBM SPSS 22.0软件进行显著性分析, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 对KGM-ADSP复合乳液凝胶色泽的影响

不同冷冻处理KGM-ADSP复合乳液凝胶和猪背脂的色泽见表1。由表1可知,猪背脂的 L^* 显著高于KGM-ADSP复合乳液凝胶($P < 0.05$), a^* 和 b^* 均显著低于KGM-ADSP复合乳液凝胶($P < 0.05$)。KGM-ADSP复合乳液凝胶的色泽也有差异,其中,未经冷冻处理的KGM-ADSP复合乳液凝胶的 L^* 显著低于经冷冻处理的KGM-ADSP复合乳液凝胶($P < 0.05$),这可能是由于经冷冻处理后,复合乳液凝胶内部水分向表面迁移,致使亮度提高。

不同冷冻处理KGM-ADSP复合乳液凝胶和猪背脂的白度如图1所示,其中,不同小写字母表示组间差异显著($P < 0.05$),下同。由图1可知,猪背脂的白度最高,未经冷冻处理的KGM-ADSP复合乳液

表1 不同冷冻处理KGM-ADSP复合乳液凝胶和猪背脂的色泽

Table 1 Color of KGM-ADSP composite emulsion gels with different freezing treatments and porcine back fat

样品	L^*	a^*	b^*
FAT	81.61±0.23 ^a	1.75±0.09 ^c	4.26±0.23 ^c
NO-FREEZE	73.12±0.71 ^c	3.45±0.27 ^{ab}	8.45±0.71 ^{ab}
AF	77.25±0.43 ^b	3.46±0.07 ^{ab}	9.62±0.43 ^{ab}
IF	76.86±0.60 ^b	3.54±0.18 ^a	10.05±0.60 ^a
UF-300 W	77.58±0.37 ^b	3.22±0.09 ^b	7.81±0.37 ^b

注:同列不同小写字母表示组间差异显著($P < 0.05$),下同。

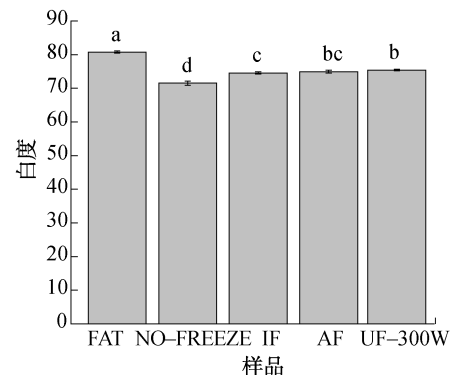


图1 不同冷冻处理KGM-ADSP复合乳液凝胶和猪背脂的白度

Fig. 1 Whiteness of KGM-ADSP composite emulsion gels with different freezing treatments and porcine back fat

凝胶的白度显著低于经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶 ($P<0.05$),且经 300 W 超声波处理后的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的白度与猪背脂最为接近,即更易被消费者接受。

2.2 对 KGM-ADSP 复合乳液凝胶保水保油性的影响

不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的离心损失和蒸煮损失如图 2 所示。由图 2 可知,猪背脂的离心损失显著低于 KGM-ADSP 复合乳液凝胶 ($P<0.05$),但蒸煮损失显著高于 KGM-ADSP 复合乳液凝胶 ($P<0.05$),这表明猪背脂在常温下的易加工性高于 KGM-ADSP 复合乳液凝胶,但经高温蒸煮后,蒸煮损失较大。由图 2a)可知,未经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的离心损失显著低于经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶 ($P<0.05$),这可能是由于经冷冻处理后,复合乳液凝胶网络结构内部的水分向外迁移且更易析出。而经超声波辅助冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的离心损失显著低于经空气冷冻和浸渍冷冻处理的

KGM-ADSP 复合乳液凝胶 ($P<0.05$),且与猪背脂的离心损失更接近,这可能是由于超声波辅助冷冻可形成更小冰晶,对复合乳液凝胶网络破坏更小,凝胶网络结构更完整。由图 2b)可知,经超声波辅助冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的蒸煮损失显著低于其他复合乳液凝胶 ($P<0.05$),且未经冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的蒸煮损失显著高于经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶 ($P<0.05$),这可能是由于经冷冻处理后,复合乳液凝胶网络结构被重组,整体网络结构的强度高于未经冷冻处理的凝胶。猪背脂经高温蒸煮后,部分脂肪融化分离,导致蒸煮损失严重^[15],而用 KGM-ADSP 复合乳液凝胶代替猪背脂可减少蒸煮后脂肪的融化损失。

2.3 对 KGM-ADSP 复合乳液凝胶质构特性的影响

不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的质构参数见表 2。由表 2 可知,在常温下,猪背脂的硬度、内聚性和咀嚼性均显著高于 KGM-ADSP 复合乳液凝胶 ($P<0.05$);而未经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的硬度和弹性均显著低于经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶 ($P<0.05$),且经超声波辅助冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的硬度、内聚性和咀嚼性均最高,这可能是由于经冷冻处理后,复合乳液凝胶网络结构更致密^[16],其硬度和弹性均有所提高;经超声波辅助冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶在冷冻时的冷冻速率更快,形成的冰晶更小,对凝胶网络结构的破坏更小,同时超声波的空化效应对已成核的冰晶有一定的破坏效果,可进一步减小冰晶的尺寸,进而减小冰晶对凝胶网络结构的破坏,且超声波的机械效应具有一定的均质效果,可使凝胶内部结构更紧密

表 2 不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的质构参数

Table 2 Texture of KGM-ADSP composite emulsion gels with different freezing treatments and porcine back fat

样品	硬度/g	弹性	内聚性	咀嚼性/g
FAT	5 625.57±200.10 ^a	0.48±0.02 ^b	0.47±0.05 ^a	1 134.55±101.14 ^a
NO-FREEZE	829.16±66.34 ^d	0.37±0.01 ^c	0.10±0.02 ^c	37.16±4.72 ^d
AF	991.69±35.80 ^d	0.50±0.01 ^b	0.12±0.01 ^{bc}	57.11±6.93 ^d
IF	1 178.64±19.19 ^c	0.54±0.01 ^a	0.13±0.01 ^{bc}	80.78±7.26 ^c
UF-300 W	1 441.19±25.76 ^b	0.54±0.02 ^a	0.15±0.01 ^b	94.85±4.83 ^b

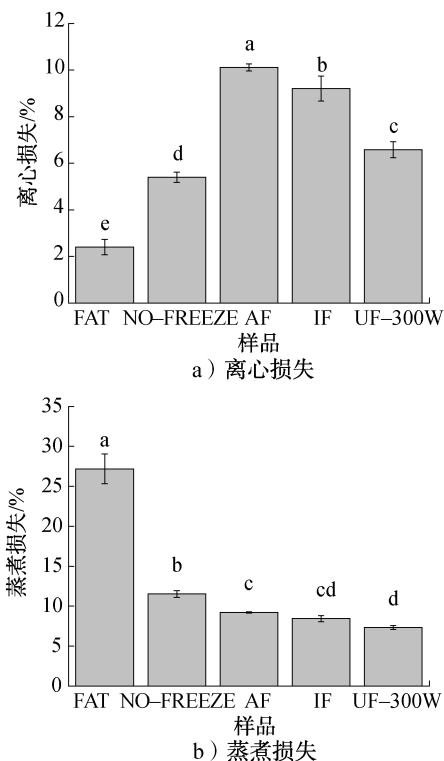


图 2 不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的离心损失和蒸煮损失

Fig. 2 Centrifugal loss and cooking loss of KGM-ADSP composite emulsion gels with different freezing treatments and porcine back fat

有序。经 300 W 超声波辅助冷冻的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的质构特性与猪背脂最接近,这与离心损失的结果类似。

2.4 对 KGM-ADSP 复合乳液凝胶流变特性的影响

在动态流变振荡中,储能模量和损失模量分别代表样品对弹性变性和黏性变性的抵抗能力^[17]。不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的动态流变曲线如图 3 所示。由图 3 可知,随着角频率的增加,猪背脂的弹性模量和损失模量均呈较为相近的增大趋势,且储能模量一直远高于损失模量,这表明猪背脂在受力发生形变时主要为弹性形变。而不同 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的储能模量也均高于损失模量,这表明复合乳液凝胶也发生了弹性形变^[18]。未经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的储能模量和损失模量最低,而经超声波辅助冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的储能模量和损失模量最高,这可能是因为超声波辅助冷冻减小了冷冻时冰晶对凝胶网络结构的破坏,同时冻

融处理能极大地增强 KGM 凝胶的机械强度,而 KGM 分子在冷冻过程中的运动被限制,相互接触而紧密结合,形成了高分子聚集微区和非聚集微区。但经超声波辅助冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的储能模量和损失模量仍低于猪背脂,这与其他处理组的趋势类似。其原因可能是样品间的成分不同,猪背脂中脂肪含量较高,水分含量较少,且具有一定的胶原蛋白;而复合乳液凝胶中水分含量较高,脂肪含量较少,且通过 KGM 分子相互交联支撑凝胶内部网状结构。

不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的温度扫描曲线如图 4 所示。由图 4 可知,在升温至 50 °C 过程中,猪背脂的储能模量和损失模量急剧下降,这可能是由于猪背脂中的脂肪融化,部分固体转变为液体,致使猪背脂的力学强度下降^[19]。在 70 °C 左右,猪背脂的储能模量和损失模量开始缓慢增长,至 80 °C 附近保持稳定。KGM-ADSP 复

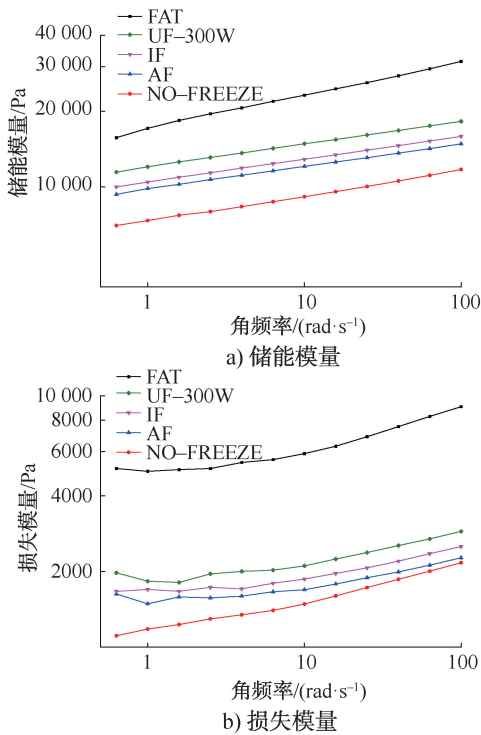


图 3 不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的动态流变曲线
Fig. 3 Dynamic rheological curves of KGM-ADSP composite emulsion gels with different freezing treatments and porcine back fat

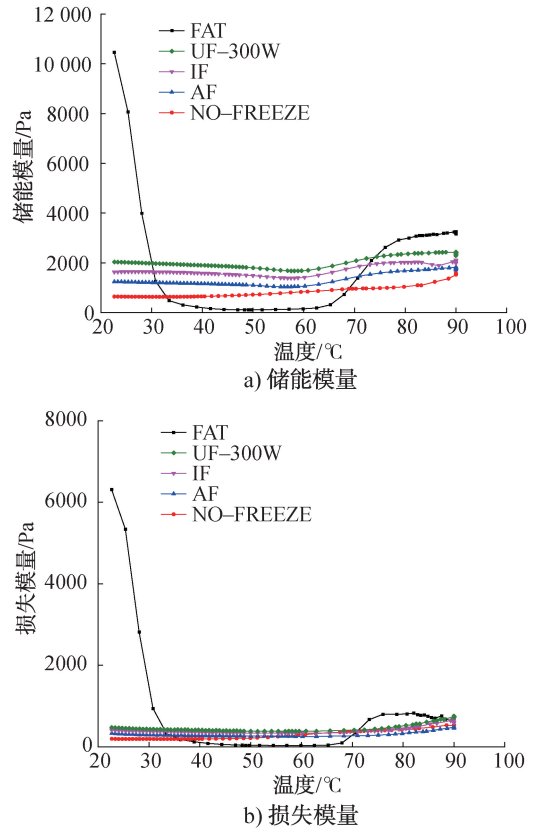


图 4 不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的温度扫描曲线
Fig. 4 Temperature scanning curves of KGM-ADSP composite emulsion gels with different freezing treatments and porcine back fat

合乳液凝胶和猪背脂的储能模量均远高于损失模量,这表明二者在升温过程中均发生了弹性形变。而 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的储能模量和损失模量在整个升温范围内均呈小幅度增长,这可能是由于复合乳液凝胶中含有较多水分,且 KGM 分子在升温过程中相互聚集提高了凝胶网络结构的强度。在升温过程中,经超声波辅助冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的储能模量和损失模量均最高,在 73 ℃ 左右时,其与猪背脂的储能模量和损失模量相近。此外,在 90 ℃ 时,经超声波辅助冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶与猪背脂的储能模量和损失模量差异最小。这表明使用 300 W 超声波辅助冷冻制备的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶,在一定的热环境下与猪背脂的储能模量和损失模量差异较小,可作为热加工肉制品中的脂肪替代物。

2.5 对 KGM-ADSP 复合乳液凝胶热特性的影响

不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的热特性如图 5 所示。由图 5 可知,在升温过程中,猪背脂在 30 ℃ 左右会有明显的相态转变现象,即猪背脂内的固态脂肪会融化为液态油脂^[20]; KGM-ADSP 复合乳液凝胶因在升温过程中没有发生相态转变而始终未形成固态相,继而在热流保持稳定后没有峰出现;不同冷冻处理会影响 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的热流大小,其中未经冷冻处理的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶升温所需热流最少,而经浸渍冷冻和超声波辅助冷冻处理的 KGM-

ADSP 复合乳液凝胶升温所需的热流均较多,这可能是由于冷冻处理会使复合乳液凝胶浓缩,继而使其升温所需热流更多。

3 结论

本文以 KGM、ADSP 为原料,甲基纤维素为乳化剂,大豆植物油为油相,制备了 KGM-ADSP 复合乳液凝胶,以猪背脂为对照,研究了不同冷冻处理对 KGM-ADSP 复合乳液凝胶色泽、质构、流变、热特性等的影响,得出以下结论:使用 300 W 超声波辅助冷冻制备的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的色泽和白度均与猪背脂最接近,且蒸煮损失相较猪背脂更低;猪背脂的硬度、内聚性和咀嚼性均显著高于 KGM-ADSP 复合乳液凝胶;使用 300 W 超声波辅助冷冻制备的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的流变特性与猪背脂接近,在 73 ℃ 附近的储能模量和损失模量与猪背脂相近,且 KGM-ADSP 复合乳液凝胶在升温时均不会发生脂肪融化现象。因此,经 300 W 超声波辅助冷冻制备的 KGM-ADSP 复合乳液凝胶具备作为热加工肉制品中植物基脂肪替代物的应用潜力。本研究通过改变冷冻工艺和添加 ADSP,在一定程度上改善了 KGM-ADSP 复合乳液凝胶的凝胶特性,在后续研究中可进一步探究不同冷冻工艺处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶时,KGM 分子与水分子的相互作用及定量分析冰晶的大小。

参考文献:

- [1] PINTADO T, MUNOZ-GONZALEZ 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.
- [2] 黄红涛,冯若楠,夏天宇,等. 脂肪对肉品质的影响 [J]. *畜牧兽医杂志*, 2018, 37(1):59-60.
- [3] REN Y Q, HUANG L, ZHANG Y X, et al. Application of emulsion gels as fat substitutes in meat products [J]. *Foods*, 2022, 11(13):1950.
- [4] 王丽,句荣辉,王辉,等. 脂肪替代物在肉制品中的应用 [J]. *粮食与油脂*, 2020, 33(2):7-9.
- [5] 冯扬扬,徐敬欣,于栋,等. 乳液凝胶替代动物脂肪在肉制品中应用的研究进展 [J]. *食品科学*, 2019, 40(21):236-242.
- [6] 高艳蕾,张丽,余群力,等. 动物脂肪替代物及其在肉

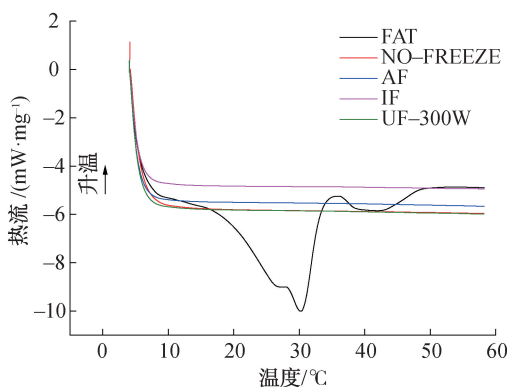


图 5 不同冷冻处理 KGM-ADSP 复合乳液凝胶和猪背脂的热特性

Fig. 5 Thermal properties of KGM-ADSP composite emulsion gels with different freezing treatments and porcine back fat

- 制品中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(15): 315-324.
- [7] YANG J, LIU L L, WANG B J, et al. Polysaccharide-based edible emulsion gel stabilized by regenerated cellulose[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 91: 232-237.
- [8] 袁冬雪, 常婧瑶, 殷永超, 等. 油凝胶替代动物脂肪在肉制品中应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(14): 467-474.
- [9] 吴雪, 陶志华, 刘伟铸, 等. 乳化植物油对香肠品质影响的研究进展[J]. 中国调味品, 2021, 46(11): 173-177, 182.
- [10] 马兰雪. 植物基块状脂肪替代物及其在红肠中的应用研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2021.
- [11] 余依敏, 夏强, 杨林林, 等. 魔芋葡甘聚糖-可得然胶共混凝胶替代动物脂肪对乳化肠品质特性的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(16): 46-53.
- [12] BAUNE M C, SCHROEDER S, WITTE F, et al. Analysis of protein-network formation of different vegetable proteins during emulsification to produce solid fat substitutes[J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15: 2399-2416.
- [13] GIOVANA M G, DE MORAES M A, BEPPU M M, et al. Freezing influence on physical properties of glucomannan hydrogels[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 128: 401-405.
- [14] 徐聪, 栗俊广, 张旭玥, 等. 不同木薯淀粉对冻融魔芋葡甘聚糖凝胶特性的比较分析[J]. 现代食品科技, 2022, 38(5): 145-151.
- [15] KIM D H, MINSHIN D, SEO H G, et al. Effects of konjac gel with vegetable powders as fat replacers in frankfurter-type sausage[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2019, 32(8): 1195-1204.
- [16] 栗俊广, 徐聪, 张旭玥, 等. 不同冷冻处理对魔芋葡甘聚糖凝胶特性和结构的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(21): 111-116.
- [17] 张根生, 徐旖梦, 刘欣慈, 等. 湿法糖基化改性对蛋清蛋白凝胶特性及微观结构的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(6): 105-112.
- [18] VARGAS-RAMELLA M, LORENZO J M, ZAMUZ S, et al. Influence of pork backfat replacement by microencapsulated fish oil on physicochemical, rheological, nutritional, and sensory features of pork liver pâtés[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 163: 113522.
- [19] 张雪花, 李艳萍, 鲁飞, 等. 结冷胶对猪肉糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(14): 222-226.
- [20] 高佳佳, 马冰冰, 马腾飞, 等. 猪不同部位脂肪理化检测及结晶特性分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(6): 34-39.

Effect of different freezing treatments on the texture, rheology and thermal properties of KGM-ADSP composite emulsion gels

ZHAO Dianbo^{1,2}, YAN Shuliang^{1,2}, LI Junguang^{1,2}, HE Xiangli^{1,2}, ZHAO Jiansheng³, BAI Yanhong^{1,2}

1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;

2. Henan Food Laboratory of Zhongyuan, Zhengzhou University of Light Industry, Luohe 462300, China;

3. Henan Shuanghui Investment & Development Co., Ltd., Luohe 462300, China

Abstract: Konjac glucomannan (KGM) and cassava acetylated distarch phosphate (ADSP) were used as raw materials, methyl cellulose as emulsifying agent, and soybean oil as oil phase to prepare KGM-ADSP composite emulsion gels. The effects of different freezing treatments on the texture, rheology and thermal properties of KGM-ADSP composite emulsion gels were studied by measuring the color, whiteness, centrifugal loss, ect. of KGM-ADSP composite emulsion gels after different freezing treatments and porcine back fat (control group). The results showed that freezing treatment could significantly improve the whiteness, hardness, elasticity and centrifugal loss of KGM-ADSP composite emulsion gels, and reduce the cooking loss, storage modulus and loss modulus, and no oil melting occurred in KGM-ADSP composite emulsion gels when heating up. The whiteness, texture, hardness, cohesion, chewiness and rheological properties of KGM-ADSP composite emulsion gels after 300 W ultrasonic-assisted freezing treatment were closest to those of porcine back fat. And the differences in storage modulus and loss modulus between KGM-ADSP composite emulsion gels after 300 W ultrasonic-assisted freezing treatment and pig back fat were minimal under certain thermal environment. It could be used as the fat mimetic in hot processed meat products.

Key words: KGM-ADSP composite emulsion gel; ultrasonic-assisted freezing; texture property; rheological property; thermal property

(责任编辑: 杨晓娟)