

奇亚籽复合芝麻酱的稳定性及流变学特性研究

施梦娇, 孙汉巨, 袁传勋, 金日生, 沈 阳, 沈 源

Stability and Rheological Properties of Chia Compound Sesame Paste

SHI Mengjiao, SUN Hanju, YUAN Chuanxun, JIN Risheng, SHEN Yang, and SHEN Yuan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021110269>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

芝麻品种对芝麻酱品质特性的影响

Effect of Sesame Varieties on Quality Characteristics of Sesame Paste

食品工业科技. 2019, 40(2): 81–86,92

加工工艺对芝麻酱稳定性的影响

Effects of Processing Techniques on Stability of Sesame Paste

食品工业科技. 2021, 42(8): 42–48

芝麻组分对芝麻酱贮藏稳定性的影响

Effect of sesame components on sesame paste storage stability

食品工业科技. 2017(18): 25–29

不同贮藏环境下全营养医用配方食品稳定性及流变性评价

Evaluation of Stability and Rheology Properties of Whole Nutrition Medical Formula in Different Storage Environments

食品工业科技. 2020, 41(16): 21–25,31

预处理工艺对芝麻酱风味成分的影响

Effect of pretreatment process on flavor matter of sesame paste

食品工业科技. 2017(24): 6–9

奇亚籽蛋白及其活性肽的研究进展

Research Progress on Chia Seed Protein and Its Active Peptides

食品工业科技. 2020, 41(15): 345–351



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

施梦娇, 孙汉巨, 袁传勋, 等. 奇亚籽复合芝麻酱的稳定性及流变学特性研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 238–245. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110269

SHI Mengjiao, SUN Hanju, YUAN Chuanxun, et al. Stability and Rheological Properties of Chia Compound Sesame Paste[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(16): 238–245. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110269

· 工艺技术 ·

奇亚籽复合芝麻酱的稳定性及流变学特性研究

施梦娇¹, 孙汉巨¹, 袁传勋^{1,2}, 金日生^{1,2,*}, 沈 阳³, 沈 源³

(1. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230601;

2. 合肥工业大学农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽合肥 230601;

3. 安徽达园粮油有限公司, 安徽宿州 234200)

摘要: 本文采用芝麻原酱、奇亚籽提取物为主要原料, 单硬脂酸甘油酯和蔗糖脂肪酸酯为乳化剂制备低脂稳定型复合芝麻酱。以离心出油率和硬度为评价指标, 通过单因素实验研究乳化剂添加量、单甘酯与蔗糖酯复配比、搅拌时间、搅拌温度对复合芝麻酱稳定性的影响, 在此基础上进行响应面优化, 并对酱体流变学特性进行研究。结果表明, 加入 5% 奇亚籽提取物可有效降低芝麻原酱 10.82% 的粗脂肪含量, 当乳化剂添加量为 1.6%、单甘酯与蔗糖酯复配比为 2.6:1、搅拌温度 71 °C、搅拌时间 9.5 min 时, 复合芝麻酱的出油率为 2.61%, 远低于芝麻原酱, 感官品质更好。复合芝麻酱表现为非牛顿假塑性流体, 黏度随温度变化缓慢, 稳定性优于市售芝麻酱。

关键词: 奇亚籽, 芝麻酱, 复配乳化剂, 稳定性, 流变性, 响应面优化

中图分类号: TS255.6

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)16-0238-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021110269

本文网刊:



Stability and Rheological Properties of Chia Compound Sesame Paste

SHI Mengjiao¹, SUN Hanju¹, YUAN Chuanxun^{1,2}, JIN Risheng^{1,2,*}, SHEN Yang³, SHEN Yuan³

(1. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China;

2. Engineering Research Center of Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China;

3. Anhui Dayuan Grain and Oil Company Limited, Suzhou 234200, China)

Abstract: The low-fat stabilized compound sesame paste was prepared with pure sesame paste and chia seed extract as the main raw materials, and with monoglyceride and sucrose ester as emulsifier. Taking centrifugal oil yield and hardness as evaluation indicators, single factor experiments were conducted to study the effects of emulsifier addition, compound ratio of monoglyceride and sucrose ester, stirring time, and stirring temperature on the stability of compound sesame paste. On this basis, the response surface optimization and the research on the rheological properties of the product were conducted. Results showed that, adding 5% chia seed extract could effectively reduce the crude fat content of pure sesame paste by 10.82%. The oil yield of the compound sesame paste could be reduced to 2.61%, much lower than that of pure sesame paste, and the overall sensory experience could be upgraded, on the condition that the added amount of emulsifier was 1.6%, the compound ratio of monoglyceride to sucrose ester was 2.6:1, the stirring temperature was 71 °C, and the stirring time was 9.5 min. The chia compound sesame paste was a non-Newtonian pseudoplastic fluid, and the temperature had a low effect on its viscosity. The stability of the compound sesame paste was better than that of the current sesame paste on the market.

Key words: chia seed; sesame paste; compound emulsifier; stability; rheological property; response surface optimization

收稿日期: 2021-11-23

基金项目: 安徽省科技重大专项 (201903a06020024) : 芝麻高值化加工关键技术研究及产业化。

作者简介: 施梦娇 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品工艺, E-mail: shimengjiao1997@163.com。

* 通信作者: 金日生 (1982-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: jinrisheng@hfut.edu.cn。

芝麻为药食同源作物, 在我国的主产地为河南、安徽等^[1], 因其脂肪、蛋白质、矿物质、抗氧化物质芝麻素和芝麻酚^[2]等含量丰富, 被称作全能营养库^[3]。固态的芝麻变成流体状态的酱后营养价值并未发生显著变化, 食用更加方便多样^[4]。但研磨造成芝麻细胞破裂使脂肪成连续相^[5], 变性蛋白等高分子化合物结合成固相^[6], 长时间静置中受布朗运动和重力作用, 易产生油酱分离和底层板结现象^[7], 对芝麻酱的储藏期和感官品质都造成负面影响。同时纯芝麻酱脂肪含量高达 58.9%^[8], 食用过多易产生油腻感, 也不符合现代社会低脂健康饮食的需求。奇亚籽食用历史可追溯至公元前 3500 年^[9], 我国已批准其作为新食品原料使用^[10]。奇亚籽提取物氨基酸组成接近 FAO/WHO 的理想模式^[11]; 高膳食纤维使其具有一定吸油性, 还可改善肠道健康, 含有的多种抗氧化活性物质对 W/O 型食品有高抗氧化性^[12], 在食品工业有很大开发前景, 因此选择奇亚籽提取物来制备低脂型复合芝麻酱。

目前国内外对芝麻酱的稳定性多从两方面解决: 一是改善芝麻焙烧和研磨工艺; 二是添加稳定剂。采用改善工艺的方式比较繁琐且成本较高, 因此目前多采取第二种方式。Al-Mahasneh 等^[13]在芝麻酱中加入 8% 蒸馏单甘酯有效减少油分离, 出油率降低了 50%。Guneser 等^[14]将乳化剂添加到芝麻酱中发现除改善油分离问题外, 对样品的品质特性几乎无影响。周国磊等^[15]将单甘酯与起酥油进行复配, 可延缓芝麻酱分层三个月以上。现有研究已证实单甘酯具有很好的应用前景, 但单一使用量较大, 所以本文选择复配使用乳化剂。目前关于新型芝麻酱制品的开发和品质特性的研究还不多, 复合芝麻酱产品不仅能丰富芝麻酱种类, 对于稳定性也能有所改善, Tounsi 等^[16]发现芝麻油滴能被糖浆的长链牢牢保留, 形成紧凑的网络, 可提高芝麻酱的乳化稳定性, 所以开发复合稳定型芝麻酱具有很高的实用价值。

本研究主要使用芝麻原酱和奇亚籽提取物, 通过控制产品配方及响应面优化制备工艺制备复合芝麻酱。高速离心下析出的油被认为是储存过程中可分离的最大油量^[17], 并且芝麻酱需要一定的硬度进行涂抹, 因此本文用离心出油率和硬度作为评价指标。并对流变学特性进行测定, 对食品加工储运、质量控制和感官评价具有重要意义^[18-19], 可为生产一种健康低脂的稳定型芝麻酱提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

芝麻原酱 安徽达园粮油有限公司; 奇亚籽提取物 主要成分为脂肪 30%、蛋白质 23.5%、膳食纤维 37.3%, 陕西硕农生物科技有限公司; 浓缩红枣汁 65°Bx 原浆, 山西树德农业科技股份有限公司; 果葡糖浆 醇源食品有限公司; 单硬脂酸甘油酯(食品级) 佳力士添加剂(海安)有限公司; 蔗糖脂肪酸

酯 SE-11(食品级), 杭州瑞霖化工有限公司; 纯芝麻酱、稳定型芝麻酱 市售, 北京某食品有限公司; 其他试剂 均为分析纯。

BSG-26 恒温水浴锅 上海一恒科学仪器有限公司; JJ-1A 数显增力电动搅拌器 金坛区西城新瑞仪器厂; TA-XT plus 物性测试仪 英国 Stable Micro Systems 公司; DHR-3 旋转流变仪 美国 TA 公司; RE52CS-1 旋转蒸发器 上海亚荣生化仪器厂; TG16-WS 湘立离心机 湖南湘立科学仪器有限公司; DHG 型智能电热鼓风干燥箱 上海成顺仪器仪表有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 芝麻原酱基本组成成分测定 粗脂肪测定参考 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》、粗蛋白测定参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》、水分测定参考 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》、总糖测定采用苯酚-硫酸法。

1.2.2 奇亚籽复合芝麻酱制备工艺流程 芝麻原酱→加入配料(红枣汁 6%、糖浆 3%)→加入奇亚籽提取物→搅拌均匀并静置 30 min→加入单甘酯、蔗糖酯→水浴搅拌→5 °C 快速冷却→奇亚籽复合芝麻酱样品

1.2.3 奇亚籽提取物添加量对芝麻酱品质的影响 取 30 g 芝麻原酱, 分别加入 0、1%、3%、5%、7%、9%、11% 的奇亚籽提取物, 采用 GB 5009.6-2016 中的索氏提取法对复合芝麻酱粗脂肪含量进行测定。并考察奇亚籽提取物添加量为 1%、3%、5%、7%、9% 时的离心出油率和感官评分, 从而确定奇亚籽提取物的适宜添加量。

1.2.4 稳定性单因素实验 复配乳化剂添加量对稳定性的影响: 固定单甘酯与蔗糖酯复配比 3:1、搅拌时间 10 min, 搅拌温度 70 °C, 分别在复配乳化剂添加量 0、0.4%、0.8%、1.2%、1.6%、2.0% 时测定离心出油率和硬度。

单甘酯与蔗糖酯复配比对稳定性的影响: 固定复配乳化剂添加量为 1.2%, 搅拌时间 10 min, 搅拌温度 70 °C, 分别在单甘酯与蔗糖酯的复配比 4:1、3:1、2:1、1:1、1:2 时测定离心出油率和硬度。

搅拌温度对稳定性的影响: 固定复配乳化剂添加量 1.2%、单甘酯与蔗糖酯复配比 3:1、搅拌时间 10 min, 分别在搅拌温度为 50、60、70、80、90 °C 时测定离心出油率和硬度。

搅拌时间对稳定性的影响: 固定复配乳化剂添加量 1.2%、单甘酯与蔗糖酯复配比 3:1、搅拌温度 70 °C, 分别在搅拌时间为 5、10、15、20、25、30 min 时测定离心出油率和硬度。

所有样品搅拌完成后, 均放置在冰箱 5 °C 恒温冷却 24 h, 测离心出油率和硬度前取出, 于 25 °C 水浴 2 h 后测定, 并做三组平行。

1.2.5 响应面试验设计方法 在单因素实验的基础上,选择乳化剂添加量(A)、复配比(B)、搅拌温度(C)、搅拌时间(D)4个因素,以离心出油率为响应值,采用 Box-Behnken 法进行响应面设计。利用 Design-Expert 分析处理数据,各因素水平见表 1。

表 1 响应面试验因素水平设计

Table 1 Factors level table of response surface experiment

水平	因素			
	A乳化剂添加量 (%)	B复配比	C搅拌温度 (℃)	D搅拌时间 (min)
-1	0.8	2:1	60	5
0	1.2	3:1	70	10
1	1.6	4:1	80	15

1.2.6 离心出油率的测定 参考王英丹等^[20]方法,在 10 mL 离心管内称取定量样品,置于台式离心机中,25 ℃ 下 5000 r/min 的转速离心 20 min。把取出后的离心管倒置约 5 min,让离心油沥出,再称取离心管及底部沉淀物总质量,每个样品重复 3 次。离心出油率根据析油的质量与样品质量比值计算。

1.2.7 感官评价 感官评定选取经过专业培训的 10 名成员,依次对样品的外观形态、香味、色泽、口感 4 个方面评分,为排除样品间的影响,对每个样品进行评估后净水漱口去除口腔残留。芝麻酱感官评分标准见表 2。

1.2.8 硬度的测定 使用 TA-XT Plus 物性测试仪,取 30 g 待测样品于 50 mL 烧杯中,25 ℃ 水浴恒温 2 h 后进行测定。采用直径为 35 mm 的 A/BE 探头,用 5 g 的触发力下压到芝麻酱中。测前、测中、测后速度分别为 2、1、2 mm/s,下压距离设定 10 mm。硬度为下压过程的峰值,每个样品重复 3 次取平均值。

1.2.9 流变性质测定 流动曲线:使用旋转流变仪,取适量样品置于直径 40 mm 平板,测量间隙 1 mm,擦净平板边缘多余样品,固定测量温度 25 ℃,剪切速率 0.1~50 s⁻¹,根据不同样品的表观黏度随剪切速

率的变化情况,判断芝麻酱流体类型,并将曲线拟合为幂律方程^[21]:

$$\sigma = K \times \gamma^n$$

式中: σ 为剪切应力, Pa; K 为稠度系数, Pa·sⁿ; γ 为剪切速率, s⁻¹; n 为流动性特征指数。

温度扫描:固定剪切速率 12 s⁻¹,温度变化范围 0~37 ℃,模拟样品在储存过程中的温度变化范围,测定样品表观黏度随温度的变化情况。

1.3 数据处理

试验获得的数据取 3 次重复试验的平均值和标准偏差,用 Excel、Origin 2021、Design-Expert 8.0.6 软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 芝麻原酱基本成分检测结果

如表 3 所示,芝麻原酱中粗脂肪、粗蛋白含量较高,由于密度的差异,油脂上浮,蛋白质等固形物沉降在底部,在储藏过程中体系处于不稳定状态,易发生油酱分离现象。

2.2 奇亚籽提取物添加量对复合芝麻酱的影响

由图 1 可见,随着奇亚籽提取物添加量的增加,芝麻酱的粗脂肪含量逐渐降低,这说明奇亚籽提取物可在一定范围内降低脂肪含量,原因可能是提取物中含有丰富的奇亚籽纤维,具有一定的吸油性^[22]。芝麻原酱的粗脂肪含量为 56.4%,添加 5% 奇亚籽提取物后,粗脂肪的含量为 50.3%,相对含量降低 10.82%,当添加量超过 5% 后,粗脂肪含量下降缓慢,效果不明显。这也与图 2 中离心出油率的趋势一致,添加量较低时,大量的油脂超出奇亚籽提取物的最大吸收值,随着奇亚籽提取物添加量的增加,可供吸附油的表面积增加^[23],吸附的油也越来越多,因此离心出油率不断降低。当奇亚籽提取物含量超过 5% 时,此时对油脂的吸附趋近平衡,离心出油率下降趋势减缓。而芝麻酱的感官评分随着添加量的增加呈现先上升后下降的趋势,添加量为 5% 时最高,添加过多导致

表 2 芝麻酱感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard of sesame paste

评定等级	好(20~25)	较好(15~20)	一般(10~15)	差(<10)
外观形态	混合物融合均匀,浓稠度适宜,无油析现象	混合物融合均匀,比较浓稠,无油析现象	混合物融合较好,酱体偏稀,有油析现象	混合物融合度差,酱体稀,有油析现象
香味	芝麻、红枣香味浓郁、无异味	芝麻、红枣香味较浓郁、无异味	芝麻、红枣香味淡无异味	几乎没有香味或有异味
色泽	色泽棕黄,有光泽	色泽棕黄,略有光泽	酱体较暗,无光泽	酱体深暗色,无光泽
口感	口感细腻,涂抹性好,甜度适宜,无苦味	口感较细腻,涂抹性较好,甜度适宜,无苦味	口感较粗糙,味道不协调,略有苦味	口感粗糙,味道不协调,有苦味

表 3 基本组成成分

Table 3 Basic composition of sesame paste

指标	质量分数(%)			
	粗脂肪	粗蛋白	总糖	水分及挥发物
芝麻原酱	56.41±0.18	22.70±0.23	10.30±0.09	0.61±0.05

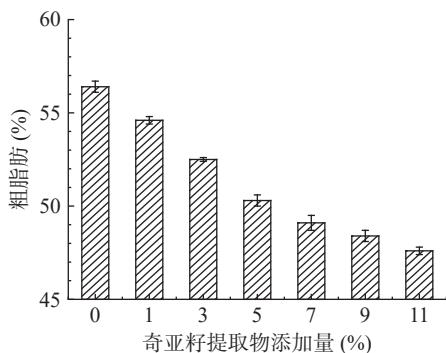


图 1 奇亚籽提取物添加量对复合芝麻酱粗脂肪含量的影响
Fig.1 Effect of chia seed extract amount on crude fat content of compound sesame paste

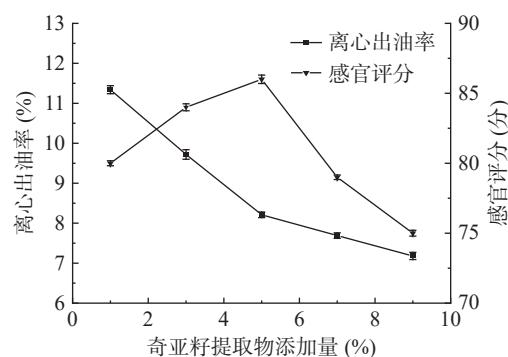


图 2 奇亚籽提取物添加量对复合芝麻酱离心出油率和感官评分的影响
Fig.2 Effects of chia seed extract amount on the centrifugal oil yield and sensory score of compound sesame paste

芝麻酱过于黏稠, 口感粗糙, 因此感官评分大幅度降低。综合考虑, 选择奇亚籽提取物添加量为 5% 最为适宜。

2.3 稳定性单因素实验结果

2.3.1 复配乳化剂添加量对稳定性的影响 在芝麻酱中, 单甘酯极性头部是自由羟基可吸附极性的酱体颗粒, 非极性尾部的长碳氢链伸入油中, 形成 W/O 的缓冲结构, 使碰撞的颗粒不聚集, 降低表面自由能, 提高了两相间的兼容性^[24]。而蔗糖酯具有较好的表面活性, 蔗糖部分是亲水基, 长链脂肪酸部分是亲油基, 还可稳定单甘酯的 α -晶型^[25]。因此采取复配的方式添加乳化剂。

从图 3 可以看出, 随着复配乳化剂添加量的增加, 离心出油率不断降低。这是因为乳化剂单甘酯通过弱氢键的作用在酱体内形成环状结晶网络^[25], 添加量越多, 晶体生长形成的结晶网络更加密集, 增加芝麻酱的流动阻力, 从而阻止了液体油的流动; 并且乳化剂在界面上的浓度越高, 越能降低界面张力, 宏观表现即为离心出油率的降低。单甘酯在芝麻酱脂肪体系中起骨架作用^[26], 因此硬度很大程度上受复配乳化剂中单甘酯含量的影响, 添加量超过 0.8% 时, 浓度越高形成凝胶网络越强, 硬度急剧增加。综合离心出油率和硬度范围, 选择乳化剂的添加量为 0.8%~1.6%, 此时的酱体有较易涂抹、延展的质地, 同时保持油相

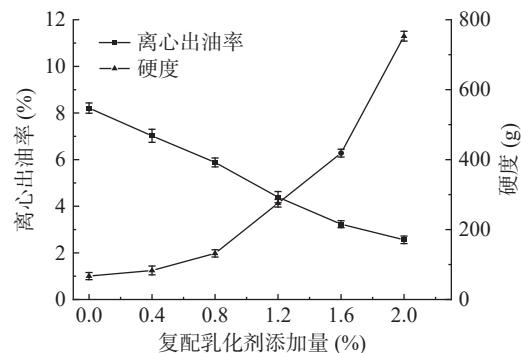


图 3 复配乳化剂添加量对复合芝麻酱离心出油率和硬度的影响
Fig.3 Effects of compound emulsifier amount on the centrifugal oil yield and hardness of compound sesame paste

的凝固状态。

2.3.2 单甘酯与蔗糖酯复配比对稳定性的影响 由图 4 可知, 单甘酯的稳定效果优于蔗糖酯, 当复配比为 3:1 时, 芝麻酱离心出油率最低, 为 3.94%, 这可能与复配乳化剂中的亲水亲油基团含量有关, 此时各基团刚好能吸附界面的油相水相, 达到了平衡状态, 提高芝麻酱的稳定性。当单甘酯的比重降低后, 亲油基团的含量随之减少, 不足以吸附油脂, 部分自由浮动的油脂聚集, 导致离心出油率升高^[23]。而单甘酯对酱体的硬度影响明显大于蔗糖酯, 随着比值的降低, 芝麻酱的硬度也随之降低, 但是总体来看乳化剂复配比对硬度影响均在较适宜的范围之内, 综合考虑选择单甘酯与蔗糖酯的复配比为 2:1~4:1。

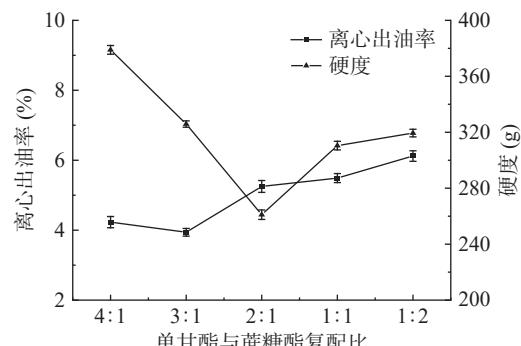


图 4 乳化剂复配比对复合芝麻酱离心出油率和硬度的影响
Fig.4 Effects of emulsifier compound ratio on the centrifugal oil yield and hardness of compound sesame paste

2.3.3 搅拌温度对稳定性的影响 由图 5 可知, 随着搅拌温度的升高, 复合芝麻酱离心出油先减后增, 硬度先增后减。搅拌温度为 50 °C 时, 复配乳化剂单甘酯与蔗糖酯在酱体中的溶解度较小, 离心出油率略有降低。当搅拌温度为 70 °C 时, 复配乳化剂已完全溶解形成凝胶网络结构, 能够阻截油的流动, 此时的离心出油率达到最低值。温度对芝麻酱的质构有很大影响, 水浴搅拌使得复合芝麻酱处于不稳定的高能状态, 此时酱体黏度低, 温度升高后, 分子间的剧烈运动容易使刚形成的乳化网状结构被破坏^[27], 酱体流动性大大加强, 硬度下降。温度过高还会导致芝麻酱内部

的蛋白质等物质发生变性, 影响已经形成的结构^[28], 离心出油率随之增大。适当的温度能激发芝麻酱的香味, 但温度过高则会产生焦糊味, 降低感官品质和营养价值。因此搅拌温度范围选择 60~80 ℃。

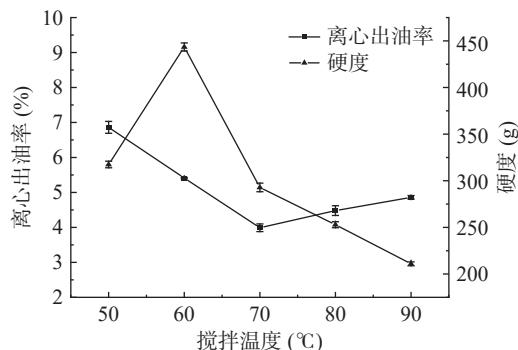


图 5 搅拌温度对复合芝麻酱离心出油率和硬度的影响
Fig.5 Effects of stirring temperature on the centrifugal oil yield and hardness of compound sesame paste

2.3.4 搅拌时间对稳定性的影响 从图 6 可以看出, 随着搅拌时间的延长, 芝麻酱的离心出油率先减小再增大。这可能是因为搅拌时间过短, 乳化剂分散缓慢, 作用效果不明显, 凝胶网络尚未形成。当搅拌时间为 10 min 时, 乳化剂分散均匀, 形成结构比较稳定, 搅拌时间过长, 会导致部分蛋白质结构发生改变, 已经形成的网络结构又被破坏, 束缚的油减少^[28], 出油率相应增大。芝麻酱的硬度随搅拌时间的增加呈先增后减趋势, 这是由芝麻酱剪切稀化的流变学性质决定的, 随着搅拌时间的增加, 受到作用力破坏了空间网状结构, 减弱分子间的相互作用^[29], 表现在质构上就是黏度、硬度的下降。因此选择搅拌时间为 5~15 min 比较合适。

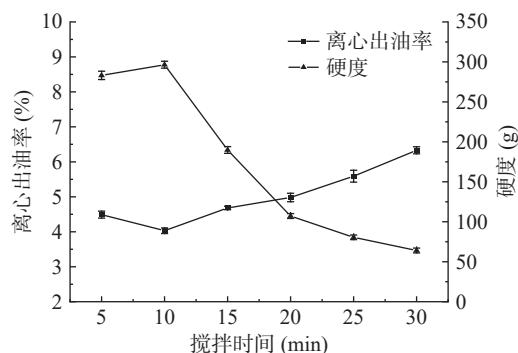


图 6 搅拌时间对复合芝麻酱离心出油率和硬度的影响
Fig.6 Effects of mixing time on the centrifugal oil yield and hardness of compound sesame paste

2.4 响应面分析和优化

2.4.1 响应面结果 在单因素实验的结果上进行响应面优化, 试验结果见表 4。

2.4.2 回归模型与显著性分析 对表 4 数据进行二次多元回归拟合, 得到芝麻酱离心出油率预测值对乳化剂添加量(A)、复配比(B)、搅拌温度(C)、搅拌时间(D)的二次多项回归方程如下:

表 4 响应面试验结果

Table 4 The design and result of response surface experiment

实验号	A	B	C	D	Y: 离心出油率(%)
1	1	0	0	-1	2.82
2	-1	1	0	0	5.81
3	0	0	1	-1	5.02
4	0	0	-1	1	5.38
5	1	0	0	1	2.95
6	0	0	-1	-1	5.26
7	1	0	-1	0	3.29
8	0	1	1	0	5.10
9	0	-1	0	1	4.74
10	0	-1	0	-1	4.56
11	0	1	0	-1	4.72
12	1	-1	0	0	2.81
13	0	0	1	1	5.12
14	1	0	1	0	3.06
15	0	1	0	1	4.99
16	-1	0	1	0	6.01
17	0	1	-1	0	5.02
18	0	0	0	0	4.27
19	-1	0	0	1	5.94
20	0	0	0	0	4.30
21	0	0	0	0	4.15
22	-1	-1	0	0	5.74
23	0	0	0	0	4.23
24	0	-1	1	0	4.61
25	-1	0	0	-1	5.85
26	1	1	0	0	2.99
27	-1	0	-1	0	6.18
28	0	0	0	0	4.19
29	0	-1	-1	0	4.95

$$Y=4.23-1.47A+0.10B-0.097C+0.074D+0.027AB-0.015AC+1\times 10^{-2}AD+0.10BC+0.022BD-5\times 10^{-3}CD-0.14A^2+0.19B^2+0.56C^2+0.35D^2$$

对上述响应面回归模型进行方差分析, 分析结果见表 5。

从表 5 可以看出, 模型 P 值 <0.0001 , 则模型极显著, 失拟项 $P=0.2014>0.05$, 无显著差异, 表明拟合情况相对较好。拟合度 $R^2=0.9965$, 表明该模型有 99.65% 的变化来源于自变量。 $R^2_{\text{Adj}}=0.9930$ 与 $R^2_{\text{pred}}=0.9818$ 合理一致, 意味着该试验方法可靠。响应值的变异系数 $C.V.=1.86\%$, 证明该实验的稳定性好。分析各个因素的显著性水平差异可知, A、B、C、D、 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 项的影响极显著($P<0.01$), BC 对结果影响显著($P<0.05$), 各因素对离心出油率的影响次序为乳化剂添加量(A)>复配比(B)>搅拌温度(C)>搅拌时间(D)。

2.4.3 响应面分析 根据二次多元回归模型作曲线图, 代表性曲面如下图所示。由图 7 可知, 乳化剂复配比与搅拌温度的等高线图为椭圆形, 说明两两交互作用对复合芝麻酱离心出油率影响较大。

2.4.4 优化结果及验证 通过软件对试验结果进行优化, 当乳化剂添加量为 1.6%, 复配比为 2.6:1, 搅拌温度为 71 ℃, 搅拌时间为 9.5 min, 此时芝麻酱离心出油率的最优预测值为 2.59%。按此条件重复 3 次

表 5 响应面回归模型方差分析结果

Table 5 The results of variance analysis for the regression model of response surface

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	Pr>F	显著性
模型	29.20	14	2.09	283.31	<0.0001	**
A	25.84	1	25.84	3510.72	<0.0001	**
B	0.12	1	0.12	16.85	0.0011	**
C	0.11	1	0.11	15.23	0.0016	**
D	0.066	1	0.066	8.97	0.0097	**
AB	3.025×10^{-3}	1	3.025×10^{-3}	0.41	0.5318	-
AC	9.00×10^{-4}	1	9.00×10^{-4}	0.12	0.7318	-
AD	4.00×10^{-4}	1	4.00×10^{-4}	0.054	0.8191	-
BC	0.044	1	0.044	5.99	0.0282	*
BD	2.025×10^{-3}	1	2.025×10^{-3}	0.28	0.6081	-
CD	1.00×10^{-4}	1	1.00×10^{-4}	0.014	0.9089	-
A ²	0.12	1	0.12	16.72	0.0011	**
B ²	0.22	1	0.22	30.49	<0.0001	**
C ²	2.01	1	2.01	272.41	<0.0001	**
D ²	0.79	1	0.79	107.79	<0.0001	**
残差	0.10	14	7.361×10^{-3}			
失拟项	0.089	10	8.857×10^{-3}	2.45	0.2014	-
纯误差	0.014	4	3.620×10^{-3}			
总离差	29.30	28				

注: **表示差异极显著($P<0.01$), *表示差异显著($P<0.05$), -表示差异不显著($P>0.05$)。

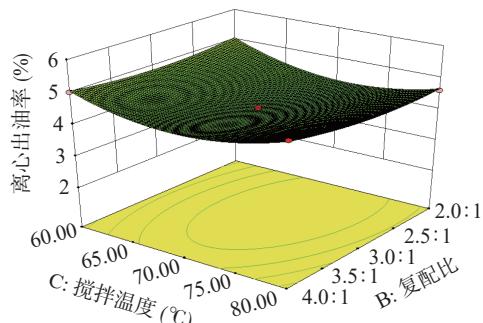


图 7 交互作用的响应面曲线图

Fig.7 Response surface plots for the interactions

试验验证, 得到平均出油率为 2.61%, 与预测值非常接近, 表明该模型优化的工艺参数具有可靠性。

2.5 流变学特性研究

2.5.1 复合芝麻酱流体类型的判断 测定芝麻原酱与奇亚籽复合芝麻酱的流动曲线, 观察添加物对酱体流动性的改变情况, 并选取市场上常见的两个品牌的纯芝麻酱与添加乳化剂的稳定型复合芝麻酱进行对比, 结果如图 8 所示。

由图 8 可知, 随着剪切速率的增大, 芝麻原酱、复合芝麻酱、市售芝麻酱 1、2 的表现黏度均呈现减小趋势, 表现出剪切稀化的假塑性^[30]。复合芝麻酱的黏度与市售稳定型芝麻酱相似, 均高于纯芝麻酱。剪切速率在 0.1~2 s⁻¹ 范围时, 两个纯芝麻酱样品略微下降, 而添加乳化剂的两个样品表现黏度急剧下降, 此后各芝麻酱样品的黏度变化趋于平衡, 差异不再明显。

表 6 为不同芝麻酱样品的幂律方程参数, R^2 均

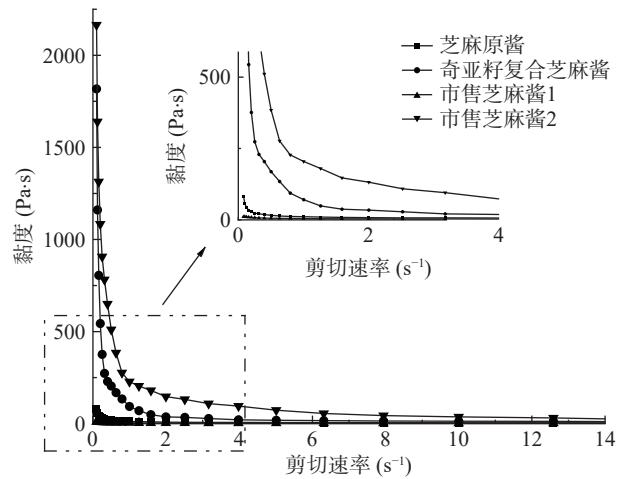


图 8 表观黏度随剪切速率的变化

Fig.8 Apparent viscosity changes with shear rate

注: 市售芝麻酱 1 为纯芝麻酱, 市售芝麻酱 2 为添加乳化剂的稳定型复合芝麻酱。

表 6 不同芝麻酱幂律方程参数

Table 6 Power law equation parameters of different sesame paste

样品	$K(\text{Pa} \cdot \text{s}^n)$	n	R^2
芝麻原酱	9.67 ± 1.04^c	0.75 ± 0.05^b	0.9960
复合芝麻酱	26.62 ± 1.25^b	0.66 ± 0.02^c	0.9968
市售芝麻酱1	3.99 ± 0.42^d	0.83 ± 0.04^a	0.9994
市售芝麻酱2	167.13 ± 3.86^a	0.30 ± 0.01^d	0.9555

注: 同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

大于 0.9, 拟合度良好, 表明芝麻酱的流动行为服从幂律方程。四个样品的流动性指数 n 在 0.30~0.83 范围内, 均小于 1, 符合假塑性流体的特征, 这也与流动曲线的剪切变稀趋势一致。n 越偏离 1 说明假塑性越强^[31], 复合芝麻酱与市售芝麻酱 2 的 n 值均比纯芝麻酱的值小, 且稠度系数较大, 说明添加乳化剂使酱体具有更坚硬的结构。

2.5.2 温度对不同芝麻酱流变学特性的影响 由图 9 可以看出, 所有芝麻酱样品随温度的增加, 表观黏度均减小, 这是因为温度升高加剧分子间的运动, 分子间距增大使链段更易于活动^[28]。在 0~10 °C 范围内, 黏度变化明显。在同样的温度范围内, 添加了乳化剂

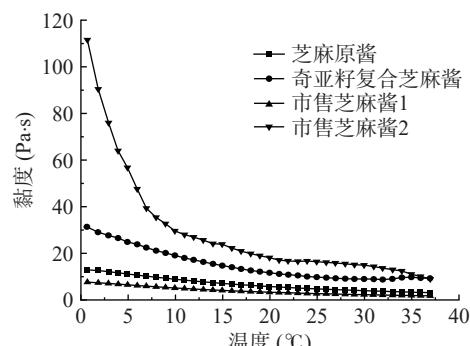


图 9 温度对芝麻酱黏度的影响

Fig.9 Effect of temperature on viscosity of sesame paste

的芝麻酱(复合芝麻酱、市售芝麻酱 2)黏度高于未添加东西的芝麻酱(芝麻原酱、市售芝麻酱 1),这是因为添加乳化剂后,形成的晶体网络增大了酱体的流动阻力,造成黏度的增大。由温度扫描结果可以得出,对照组市售芝麻酱 2 在 0~10 ℃ 范围内黏度随温度升高明显降低,表明温度对酱体的影响极大,而本文制得的奇亚籽复合芝麻酱黏度在 0~37 ℃ 温度变化范围内降低缓慢,说明在储藏期间可以维持稳定的流变性质,且稳定性优于市售芝麻酱。

2.6 感官评定

将不同芝麻酱进行比较分析,结果如图 10、图 11 所示,从左到右依次是芝麻原酱、奇亚籽复合芝麻酱、市售芝麻酱 1、市售芝麻酱 2。两个纯芝麻酱样品黏稠度小,难以成型,而市售稳定型芝麻酱黏稠度过大,难以搅动。奇亚籽复合芝麻酱黏稠度介于中间,既拥有一定的流动性,利于搅拌,也具备适当的硬度方便涂抹。由图 11 可知,在室温下放置 40 d 后,纯芝麻酱样品均析油严重,而奇亚籽复合芝麻酱仅出现少量的析油现象,证明了其具有良好的稳定性。



图 10 不同芝麻酱外观比较

Fig.10 Comparison of appearance of different sesame paste



图 11 不同芝麻酱室温下储藏 40 d 后析油情况比较

Fig.11 Comparison of oil evolution of different sesame sauces after storage for 40 days at room temperature

感官评分结果如表 7 所示,不同芝麻酱在外观形态、香味、色泽、口感方面均存在不同程度的差异,从数据上可以看出奇亚籽复合芝麻酱总分最高,其次是同样为复合稳定型的芝麻酱 2,除色泽评分略低外,其余指标都明显高于纯芝麻酱。纯芝麻酱的口感较为苦涩,且放置一段时间后开始析油,严重影响了外观形态。而本实验所制得的奇亚籽复合芝麻酱既能减少脂肪含量,加入的糖浆和红枣汁还可减少苦

味,使酱体甜香醇厚,富有层次感^[32],且质地比市售芝麻酱 2 流动性好,更加易于涂抹,方便食用。

表 7 芝麻酱感官评分结果(分)

Table 7 Sensory evaluation results of sesame paste (scores)

指标	芝麻原酱	奇亚籽复合芝麻酱	市售芝麻酱 1	市售芝麻酱 2
外观形态	12.8	23.1	15.2	22.4
香味	17.2	21.3	16.5	19.7
色泽	21.7	19.4	21.5	20.1
口感	9.8	22.8	13.9	23.1
总分	61.5	86.6	67.1	85.3

3 结论

本研究添加奇亚籽提取物这一新食品原料,降低了芝麻酱的粗脂肪含量,并通过响应面优化了复合芝麻酱的工艺条件,当乳化剂添加量为 1.6%,单甘酯与蔗糖酯复配比为 2.6:1,搅拌温度为 71 ℃,搅拌时间为 9.5 min,此时制得的复合芝麻酱离心出油率仅为 2.61%,改善了油酱分离问题,稳定性得到很大提高。复合芝麻酱口感醇香,不仅丰富了芝麻酱的种类,也为解决其他酱体储藏过程中的分层现象提供了一定的参考。由酱体的流变实验可知,制得的奇亚籽复合芝麻酱为假塑性流体,黏度随温度变化缓慢,可以在储藏期间保持稳定的性质,为产品生产、储运等提供理论依据。

参考文献

- [1] 马凤,方伟.芝麻活性成分及产品开发的研究进展[J].安徽农学通报,2019,25(20):46~48,61. [MA Feng, FANG Wei. Research progress on active components and products development of sesame[J]. Anhui Agri, Sci, Bull, 2019, 25(20): 46~48,61.]
- [2] OGUTCU M, ARIFOGLU N, DINCIER E, et al. Factors affecting tahini quality[J]. Agriculture & Food, 2017, 5(1): 366~373.
- [3] 李娜.芝麻的营养成分与食疗保健作用[J].中国食物与营养,2008(5): 55~57. [LI Na. Sesame's nutritional composition and dietary health care function[J]. Food and Nutrition in China, 2008(5): 55~57.]
- [4] 赵思雨,戴建伟,王丽梅,等.花生酱的营养及新型花生酱的研究进展[J].食品安全质量检测学报,2018,9(14): 3693~3698. [ZHAO Siyu, DAI Jianwei, WANG Limei, et al. Nutrition of peanut butter and research advances on new peanut butter[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(14): 3693~3698.]
- [5] GORREPATI K, BALASUBRAMANIAN S, CHANDRA P. Plant based butters[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 52(7): 3965~3976.
- [6] 毕海燕,邵悦,马勇.乳化剂对芝麻酱稳定性的影响[J].食品研究与开发,2016,37(1): 5~8. [BI Haiyan, SHAO Yue, MA Yong. The Influence of emulsifiers on the stability of sesame paste[J]. Food Research and Development, 2016, 37(1): 5~8.]
- [7] 刘日斌,刘晓萍,吴凌莺,等.利用有机凝胶制备稳定型花生酱工艺优化及其贮藏品质[J].食品工业科技,2019,40(2): 201~205,214. [LIU Ribin, LIU Xiaoping, Wu Lingying, et al. Optimization of preparation process of stabilized peanut butter[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(2): 201~205,214.]

- 214.]
- [8] SAWAYA W N, AYAZ M, KHALIL J K, et al. Chemical composition and nutritional quality of tehineh (sesame butter)[J]. *Food Chemistry*, 1985, 18(1): 35–45.
- [9] LORETO A M, COBOS A, DIAZ O, et al. Chia seed (*Salvia hispanica*): An ancient grain and a new functional food[J]. *Food Reviews International*, 2013, 29(4): 394–408.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 关于批准塔格糖等 6 种新食品原料的公告[J]. *中国食品添加剂*, 2014(5): 202–204. [National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Announcement on the approval of 6 new food ingredients including tagatose[J]. *China Food Additives*, 2014(5): 202–204.]
- [11] 荣旭, 陶宁萍, 李玉琪, 等. 奇亚籽营养成分分析与评价[J]. *中国油脂*, 2015, 40(9): 89–93. [RONG Xu, TAO Ningping, LI Yuqi, et al. Analysis and evaluation on the nutritional components of chia seed[J]. *China Oils and Fats*, 2015, 40(9): 89–93.]
- [12] REYES-CAUDILLO E, TECANTE A, VALDIVIA-LÓPEZ M A. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds[J]. *Food Chemistry*, 2007, 107(2): 656–663.
- [13] AL-MAHASNEH M, RABABAH T, ALUDATT M. Effect of palm oil (PO) and distilled mono-glycerid (DMG) on oil separation and rheological properties of sesame paste[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(3): 1–8.
- [14] GUNESER O, ZORBA M. Effect of emulsifiers on oil separation problem and quality characteristics of tahin helva during storage[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2011, 51(6): 1085–1093.
- [15] 周国磊, 揭金潮, 傅科涵, 等. 粒径和稳定剂对芝麻酱稳定性的影响[J]. *食品科技*, 2019, 44(12): 212–217. [ZHOU Guolei, JIE Jinchao, FU Kehan, et al. Effect of particle size and stabilizers on the stability of sesame paste[J]. *Food Science And Technology*, 2019, 44(12): 212–217.]
- [16] TOUNSI L, KCHAOU H, CHAKER F, et al. Effect of adding carob molasses on physical and nutritional quality parameters of sesame paste[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019: 1502–1509.
- [17] TANTI R, BARBUT S, GMARANGONI A, et al. Oil stabilization of natural peanut butter using food grade polymers[J]. *Food Hydrocolloids*, 2016, 61: 399–408.
- [18] OGUTCU M, ARIFOGLU N, YILMAZ E. Restriction of oil migration in tahini halva via organogelation[J]. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2017, 119(9): 1–12.
- [19] ABU-JDAYIL B, AL-MALAH K, ASOUD H. Rheological characterization of milled sesame(tehineh)[J]. *Food Hydrocolloids*, 2002, 16(1): 55–61.
- [20] 王英丹, 马传国, 李胜, 等. 利用有机凝胶提高芝麻酱的稳定性[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2016, 37(4): 28–33,40. [WANG Yingdan, MA Chuanguo, LI Sheng, et al. Improvement of the sesame paste stability by organicgel[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2016, 37(4): 28–33,40.]
- [21] ABU-JDAYILBASIM. Flow properties of sweetened sesame paste (halawa tehineh)[J]. *European Food Research and Technology*, 2004, 219(3): 265–272.
- [22] 马云芳, 相启森, 申瑞玲, 等. 奇亚籽的营养成分、健康功效和在食品工业中的应用[J]. *食品工业*, 2015, 36(5): 207–212. [MA Yunfang, XIANG Qisen, SHEN Ruiling, et al. Nutritional components, health-promoting effects of Chia seeds and their application in the food industry[J]. *Food Industry*, 2015, 36(5): 207–212.]
- [23] 李凌峰, 徐延良, 王金来, 等. 小麦纤维及复合乳化剂对花生酱稳定性的影响[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(22): 232–237,245. [LI Lingfeng, XU Yanliang, WANG Jinlai, et al. Effect of wheat fiber and compound emulsifier on the stability of peanut butter[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(22): 232–237,245.]
- [24] 阎杰. 稳定型花生酱的研制[J]. *食品与发酵工业*, 2005(6): 140–143. [YAN Jie. Study on preparation of stabilized peanut butter[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2005(6): 140–143.]
- [25] YILMAZ E, OGUTCU M. Properties and stability of hazelnut oil organogels with beeswax and monoglyceride[J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2014, 91(6): 1007–1017.
- [26] 刘怡真, 马传国, 李婕妤. 不同凝胶剂对芝麻酱稳定性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(12): 70–77. [LIU Yizhen, MA Chuanguo, LI Jieyu. Effect of different organogelators on the stability of sesame paste[J]. *Food Science*, 2019, 40(12): 70–77.]
- [27] GONG Ana, SHI Aimin, LIU Hongzhi, et al. Relationship of chemical properties of different peanut varieties to peanut butter storage stability[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(5): 1003–1010.
- [28] 吕秋冰, 王敏, 吴明, 等. 利用有机凝胶因子提高花生酱稳定性工艺研究[J]. *食品科技*, 2020, 45(2): 197–204. [LÜ Qubing, WANG Min, WU Ming, et al. Study on improving the stability of peanut butter by organic gel factor[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(2): 197–204.]
- [29] 仇记红, 侯利霞. 浸泡及萌芽处理对芝麻酱流变特性影响的研究[J]. *中国调味品*, 2018, 43(5): 48–54. [QIU Jihong, HOU Lixia. Effect of soaking and germinating treatment on rheological properties of sesame butter[J]. *China Condiment*, 2018, 43(5): 48–54.]
- [30] 于甜. 软质食品流变学特性及测量方法的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012. [YU Tian. Study on rheological properties of semi-solid food and their determination method[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.]
- [31] ALPASLAN M, HAYTA M. Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin(sesame paste)blends[J]. *Journal of Food Engineering*, 2002, 54(1): 89–93.
- [32] 刘素慧, 汪学德, 马宇翔, 等. 芝麻花生酱的制备及其流变学性质的研究[J]. *中国油脂*, 2019, 44(2): 141–146. [LIU Suhui, WANG Xuede, MA Yuxiang, et al. Preparation of sesame peanut paste and its rheological properties[J]. *China Oils and Fats*, 2019, 44(2): 141–146.]