

陈明惠, 石林凡, 任中阳, 等. 粉末油脂的制备及其对饺子皮理化性质的影响 [J]. 食品工业科技, 2026, 47(9): 258–265. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060005

CHEN Minghui, SHI Linfan, REN Zhongyang, et al. Preparation of Powdered Fat and Its Impact on the Physicochemical Properties of Dumpling Wrapper[J]. Science and Technology of Food Industry, 2026, 47(9): 258–265. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060005

· 工艺技术 ·

# 粉末油脂的制备及其对饺子皮 理化性质的影响

陈明惠, 石林凡, 任中阳, 翁武银\*

(集美大学海洋食品与生物工程学院, 福建厦门 361021)

**摘要:** 本研究以猪油、乳清蛋白、蔗糖脂肪酸酯和葡萄糖浆为原料, 以包埋率为指标, 通过正交试验优化制备粉末油脂, 并探究其对饺子皮理化性质的影响。结果显示, 优化工艺制备的粉末油脂的包埋率达到 85.36% 且分散均匀。随着粉末油脂添加量的增加, 饺子皮硬度和抗拉伸力逐渐降低, 拉伸距离在 4% 添加量时达到最大值 135.51 mm。流变学特性结果显示, 当粉末油脂添加量为 4% 时, 饺子皮的储能模量和损耗模量分别达到峰值 (87314 Pa 和 46281 Pa)。饺子皮的水分流动性随着粉末油脂添加量增加呈先降低后升高的趋势。扫描电子显微镜图像显示, 当粉末油脂添加量为 4% 时, 饺子皮形成连续紧密的面筋网络结构, 而超过该添加量则会破坏该结构。因此, 适量添加粉末油脂能有效稳定面筋网络结构, 从而提升饺子皮的感官品质, 结果为饺子皮品质改良提供理论支撑。

**关键词:** 粉末油脂, 饺子皮, 流变特性, 面筋网络, 质构改良

中图分类号: TS213.2

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2026)09-0258-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2025060005



本文网刊:

## Preparation of Powdered Fat and Its Impact on the Physicochemical Properties of Dumpling Wrapper

CHEN Minghui, SHI Linfan, REN Zhongyang, WENG Wuyin\*

(College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** In this study, lard, whey protein, sucrose fatty acid ester, and glucose syrup were employed as raw materials to optimize the preparation of powdered fat through orthogonal experimental design, with encapsulation efficiency as the evaluation index. The effect of powdered fat on the physicochemical properties of dumpling wrappers were systematically investigated. The results demonstrated that the powdered fat prepared under optimized conditions exhibited an embedding rate of 85.36% with uniform particle distribution. The incorporation of powdered fat gradually reduced the hardness and tensile strength of the dumpling wrappers, while the tensile distance reached a maximum value of 135.51 mm at a 4% addition level. According to the rheological study, the dumpling wrappers' energy storage modulus and loss modulus peaked at 4% powdered fat (87314 Pa and 46281 Pa, respectively). The incorporation of powdered fat initially reduced moisture mobility in dumpling wrappers, followed by a subsequent increase. Scanning electron microscopy (SEM) revealed that at a 4% powdered fat concentration, the dumpling wrappers formed a compact and continuous gluten network structure. However, this structural integrity was compromised at higher concentrations. Therefore, an appropriate addition of powdered fat can enhance the sensory qualities of dumpling wrappers while stabilizing the gluten network. These results provide a theoretical basis for improving dumpling wrappers quality.

**Key words:** powdered fat; dumpling wrappers; rheological properties; gluten network; texture improvement

收稿日期: 2025-06-01

基金项目: “十四五”国家重点研发计划重点专项 (2021YFD2100204)。

作者简介: 陈明惠 (2001-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 米面制品加工, E-mail: cminghui0815@163.com。

\* 通信作者: 翁武银 (1974-) (ORCID: 0000-0003-2996-5423), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工及其副产物综合利用, E-mail: wwymail@jmu.edu.cn。

饺子作为中国传统特色食品,因其品种丰富、味道鲜美、营养均衡等特点广受消费者喜爱<sup>[1-2]</sup>。随着现代化生活节奏的加快,饺子生产逐渐实现工业化和标准化<sup>[3]</sup>。作为饺子的关键组成部分,饺子皮主要由小麦粉、水和食盐制成,其品质直接影响饺子的食用特性<sup>[4]</sup>。然而,传统饺子皮在制备和蒸煮过程中常因水分流失和面筋结构形成不充分等原因,导致质地硬化、耐煮性降低及易破裂等品质缺陷<sup>[5]</sup>,严重影响饺子的食用品质。因此,亟需通过添加外源物质改善饺子皮品质已成为行业研究的重点方向。

油脂作为食品加工常用原料,在面团加工中能够附着在淀粉与蛋白质上形成油膜,调控面粉组分的水合作用,同时增强延展性并延缓老化<sup>[6]</sup>。研究报道,添加适量大麻籽油能够改善面团的流变特性,提高面包品质<sup>[7]</sup>。然而,液态油脂在面团中分布不均匀,且容易氧化变质。微胶囊化技术可将液态油脂转化为粉末状油脂,它以油脂为核心,通过乳化-喷雾干燥工艺包埋于碳水化合物/蛋白质基质中<sup>[8]</sup>,具有氧化稳定性高、分散性好等优点<sup>[9]</sup>。研究表明,油凝胶的添加能够改善面条的蒸煮特性和延伸性<sup>[10]</sup>。Ma 等<sup>[11]</sup>研究发现,添加 2% 牡丹籽油能优化面团流变学性质,并促进形成更为致密的面筋网络结构。王瑾等<sup>[12]</sup>的研究也表明,菜籽油和茶籽油的添加能使面条质地更加柔软,同时降低蒸煮损失率。而且,粉末油脂能优化面团加工性能,使面制品保持柔软质地并延长产品货架期<sup>[13]</sup>,目前已在饼干<sup>[14]</sup>、蛋糕<sup>[15]</sup>、面包<sup>[16]</sup>等烘焙食品上广泛应用。然而,有关粉末油脂对饺子皮品质的影响研究却尚未见报道。

因此,本研究以猪油、乳清蛋白、蔗糖脂肪酸酯和葡萄糖浆为原料制备粉末油脂,系统考察其对饺子皮的质构特性、蒸煮特性、流变特性和微观结构的影响,为饺子皮的品质改良提供理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

金龙鱼小麦粉 益海嘉里食品营销有限公司;食用盐 福建省盐业集团有限责任公司;猪板油 当地超市购买;90% 分离乳清蛋白 青岛海维森生物科技有限公司;蔗糖脂肪酸酯 柳州爱格富食品科技股份有限公司;75% 葡萄糖浆 河南飞天农业开发股份有限公司;三聚磷酸钠、六偏磷酸钠(食品级)

湖北兴发化工集团股份有限公司;无水乙醇(分析纯) 西陇化工股份有限公司;石油醚(分析纯,沸点 30~60 °C) 国药集团化学试剂有限公司;尼罗红、异硫氰酸荧光素(分析纯) 阿拉丁试剂有限公司(中国上海)。

YC-015 实验室喷雾干燥机 上海雅程仪器设备有限公司;VM0109 食物搅拌机 厦门闽侑贸易有限公司;RC-227B 多功能商用搅拌机 广州荣川电器设备有限公司;PDF-100 面团成型机 佩克昂科技有限公司;PSX-330H 恒温恒湿培养箱 宁波莱福

科技有限公司;BA210 光学显微镜 麦克奥迪实业集团有限公司;SCF-108A 激光粒度分析仪 珠海欧美克仪器有限公司;YS3010 分光测色仪 深圳市三恩时科技有限公司;TA-XT Plus 质构仪 英国 Stable Micro System 公司;DHR-2 流变仪 美国 TA 仪器有限公司;HT-MRSI20-60A 核磁共振分析仪 上海寰彤科教设备有限公司;Nicolet iS50 傅里叶变换红外光谱仪、Thermo Scientific Phenom ProX G6 扫描电子显微镜 美国赛默飞世尔科技有限公司;TCS SP8 激光共聚焦扫描显微镜 徕卡显微系统(上海)贸易有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 粉末油脂的制备 将 430 g 磷酸盐溶液与 570 g 纯水混合,按表 1 所示比例依次加入乳清蛋白、蔗糖脂肪酸酯和葡萄糖浆,充分搅拌。将获得的混合液置于 70 °C 水浴中磁力搅拌 30 min,随后加入由猪板油经 150 °C 加热制备的猪油,并在 70 °C 水浴下继续搅拌 30 min。最后,使用食物搅拌机(27000 r/min)均质处理 3 min,制备成乳状液,经过喷雾干燥(进风温度 170 °C,出口温度 70 °C)制得粉末油脂。

1.2.2 粉末油脂制备的正交试验设计 根据相关文献报道及前期预实验结果确定猪油、乳清蛋白、葡萄糖浆及蔗糖脂肪酸酯的添加量范围,采用  $L_{16}(4^4)$  正交试验设计(表 1),以包埋率为评价指标,对粉末油脂的配方组成进行优化<sup>[17-18]</sup>。

表 1 正交试验因素与水平  
Table 1 Factors and levels of orthogonal experiment

水平	因素			
	A猪油 (%)	B乳清蛋白 (%)	C葡萄糖浆 (%)	D蔗糖脂肪酸酯 (%)
1	5.0	1.0	3.0	0.3
2	10.0	2.0	6.0	0.6
3	15.0	3.0	9.0	0.9
4	20.0	4.0	12.0	1.2

### 1.2.3 粉末油脂指标测定

1.2.3.1 包埋率 总油含量:精确称取 1 g 粉末油脂置于瓶子中,加入 20 mL 无水乙醇,充分溶解后,再加入 30 mL 石油醚。密封后在功率 120 W 下超声提取 30 min 再磁力搅拌 60 min。将混合液经滤纸过滤至预烘干的烧瓶中,并用 30 mL 石油醚冲洗确保完全转移。获得的滤液于 50 °C 水浴下旋蒸浓缩除去溶剂,105 °C 烘干至恒重,冷却至室温后称重。

表面油含量:参考蔡芸丹等<sup>[8]</sup>的方法并稍作修改。精确称取 0.5 g 粉末油脂于烧杯中,沿杯壁加入 5 mL 石油醚,轻轻摇晃,过滤至预先烘干的烧瓶,并用 10 mL 石油醚冲洗确保转移完全,获得的滤液于 50 °C 水浴下旋蒸浓缩除去溶剂,105 °C 烘干至恒重,冷却至室温后称重。

粉末油脂的包埋率按照下列公式进行计算:

$$\text{包埋率}(\%) = \left(1 - \frac{\text{表面油含量}}{\text{总油含量}}\right) \times 100$$

1.2.3.2 粒径分布测定 参考 Wang 等<sup>[19]</sup>的方法,使用激光粒度分析仪测定粉末油脂复溶乳液的粒径分布。以纯水为分散介质,设定乳液的相对折射率为 1.095,结果以样品平均粒径  $d(4,3)$  表示。

1.2.3.3 微观结构表征 取适量的粉末油脂溶于纯水中(质量浓度为 2% w/v),充分搅拌溶解得到复溶乳液。取 10  $\mu\text{L}$  利用光学显微镜在物镜 40 倍下观察复溶乳液的微观结构。同时,将复溶乳液与等体积混合染色液(FITC:Nile Red=1:1 v/v)混匀,参考 Wang 等<sup>[19]</sup>的方法利用激光共聚焦扫描显微镜(confocal laser scanning microscope, CLSM)观察染色后的复溶乳液微观形态。扫描条件设置如下:40 倍物镜,用 552 nm 处通道来激发 FITC 染色的蛋白质,用 488 nm 处通道来激发尼罗红染色的脂肪。

1.2.4 饺子皮制备 称取 400 g 小麦粉,分别添加 0%(对照)、2%、4%、6%、8%(w/w)的粉末油脂,混合均匀。按小麦粉质量的 45% 添加纯水并加入 1% 的食用盐,采用搅拌机以低速模式搅拌 10 min。将和好的面团经压面机复合压延 4 次后,置于自封袋中密封,于恒温恒湿箱中(25  $^{\circ}\text{C}$ )醒发 20 min。再次压延至最终厚度 2 mm,切割为 2.5 cm $\times$ 2.5 cm 的面片,保鲜膜包裹后置于 4  $^{\circ}\text{C}$  冷藏备用。

1.2.5 质构特性分析 参考张艳杰等<sup>[20]</sup>的方法并稍作修改。饺子皮经沸水煮制 8 min 后,于 25  $^{\circ}\text{C}$  冷水中冷却 30 s,用厨房纸吸干表面水分,采用质构仪(P50 圆柱探头)测定。测试参数设置为:测前速度 2 mm/s;测中速度 1 mm/s;测后速度 5 mm/s;压缩比 20%;触发力 5 g;两次压缩间隔时间 5 s。

1.2.6 拉伸特性测试 参考 Zhao 等<sup>[21]</sup>的方法并稍作修改,采用质构仪测定生饺子皮的拉伸特性。将饺子皮样品切割成 15 mm $\times$ 40 mm 的矩形条,设置夹具初始间距为 10 mm,拉伸速率 2 mm/s,起始触发力为 5 g。

1.2.7 蒸煮特性评价 将生饺子皮进行准确称重( $M_1$ ),随后于沸水中煮制 8 min 后,于 25  $^{\circ}\text{C}$  冷水中冷却 30 s,用厨房纸吸干表面水分,然后对饺子皮进行称重( $M_2$ ),以计算饺子皮的吸水率。利用直接干燥法测定生饺子皮的水分含量( $W_1$ ),同时将煮熟后的饺子皮置于 105  $^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干水分后称量剩余的干物质含量( $M_3$ ),利用以下公式计算饺子皮的吸水率及蒸煮损失率。

$$\text{吸水率}(\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100$$

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{M_1 \times (1 - W_1) - M_3}{M_1} \times 100$$

式中, $M_1$  为生饺子皮的质量, g;  $M_2$  为熟饺子皮

的质量, g;  $M_3$  为熟饺子皮烘干后的质量, g;  $W_1$  为生饺子皮的水分含量, %。

1.2.8 色泽 使用分光测色仪测定生饺子皮表面色泽。测试前以标准白板( $L^*=96.79$ ,  $a^*=-0.28$ ,  $b^*=0.34$ )及黑板( $L^*=0.08$ ,  $a^*=0.09$ ,  $b^*=-0.03$ )进行校准。记录样品的亮度值( $L^*$ )、红/绿值( $a^*$ )、黄/蓝值( $b^*$ )。

1.2.9 流变学特性 参考 Cui 等<sup>[22]</sup>的方法并稍作修改。将生饺子皮置于平板间,调整间隙至 1 mm,测试温度 25  $^{\circ}\text{C}$ ,先以 10 rad/s 的角频率在 0.01%~100% 应变范围中确定线性黏弹区,随后在 0.1% 应变下进行 0.1~100 rad/s 的频率扫描,测定储能模量( $G'$ )和损耗模量( $G''$ ),测试过程中在样品边缘涂覆硅油以防止水分蒸发。

1.2.10 傅里叶变换红外光谱(Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR)分析 参考 Chen 等<sup>[23]</sup>的方法并稍作修改。将生饺子皮使用液氮研磨成粉,利用傅里叶变换红外光谱仪在 4000~400  $\text{cm}^{-1}$  波数范围内进行扫描,以 4  $\text{cm}^{-1}$  的分辨率进行 32 次扫描。

1.2.11 低场核磁共振(low field nuclear magnetic resonance, LF-NMR)分析 参考 Zhu 等<sup>[24]</sup>的方法并稍作修改。将饺子皮面团切割成 2.5 cm $\times$ 0.5 cm $\times$ 4.0 cm 的长方体,放入低场核磁管中,采用 CPMG 脉冲序列测定样品的横向弛豫时间( $T_2$ )。测试参数设置为:回波间隔 1.0 ms,回波数 2048 个,重复时间 2.0 s,累加扫描次数 20 次。

1.2.12 微观结构观察 将生饺子皮利用液氮进行脆断后,选取平整的断面,喷金处理后使用扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)观察其断面形貌。

## 1.3 数据处理

所有实验均不少于 3 个平行,实验数据以平均值 $\pm$ 标准偏差的形式表示,采用 SPSS statistics 27.0 软件进行 Duncan 检验,对数据进行显著性分析,显著性水平设为 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 粉末油脂正交试验优化结果

粉末油脂的正交优化试验结果如表 2 所示。经极差分析发现,影响包埋率的主次顺序依次为乳清蛋白、葡萄糖浆、猪油和蔗糖脂肪酸酯。方差分析结果显示,在 95% 的置信区间内,乳清蛋白、葡萄糖浆、猪油和蔗糖脂肪酸酯的  $P$  值分别为 0.23、0.40、0.43 和 0.63,说明改变单一原料含量对粉末油脂包埋率的提升效果不显著( $P>0.05$ )。方差分析结果还表明,乳清蛋白含量对包埋率的影响程度最大,这与极差分析结果一致。正交试验结果表明,粉末油脂的最优工艺组合为  $A_2B_3C_3D_4$ ,即猪油 10.0%、乳清蛋白 3.0%、葡萄糖浆 9.0%、蔗糖脂肪酸酯 1.2%。经验证实验

表 2 正交试验方案及结果

Table 2 Design and results of orthogonal experimental

试验号	A猪油 (%)	B乳清蛋白 (%)	C葡萄糖浆 (%)	D蔗糖脂 脂肪酸酯 (%)	包埋率 (%)
1	5.0	1.0	3.0	0.3	59.50±2.35
2	5.0	2.0	6.0	0.6	63.04±2.83
3	5.0	3.0	9.0	0.9	82.73±0.28
4	5.0	4.0	12.0	1.2	84.20±2.50
5	10.0	1.0	6.0	0.9	62.77±1.85
6	10.0	2.0	3.0	1.2	66.26±2.75
7	10.0	3.0	12.0	0.3	84.40±1.30
8	10.0	4.0	9.0	0.6	78.81±2.61
9	15.0	1.0	9.0	1.2	73.42±2.35
10	15.0	2.0	12.0	0.9	69.07±2.93
11	15.0	3.0	3.0	0.6	73.38±0.17
12	15.0	4.0	6.0	0.3	56.19±1.21
13	20.0	1.0	12.0	0.6	44.32±4.83
14	20.0	2.0	9.0	0.3	66.05±2.90
15	20.0	3.0	6.0	1.2	67.43±1.62
16	20.0	4.0	3.0	0.9	69.50±2.71
k <sub>1</sub>	72.37	60.00	67.16	66.54	
k <sub>2</sub>	73.06	66.11	62.36	64.89	
k <sub>3</sub>	68.02	76.99	75.25	71.02	
k <sub>4</sub>	61.83	72.18	70.50	72.83	
R	11.24	16.98	12.90	7.94	
最优组合	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> D <sub>4</sub>				

证实, 采用该优化组合制备的粉末油脂其包埋率达到 85.36%, 显著高于其他实验组 ( $P < 0.05$ )。研究表明, 包埋率是评价粉末油脂品质的重要指标, 能够直接反映油脂包埋的均匀性与稳定性, 且包埋率与表面油脂含量呈显著负相关关系<sup>[25]</sup>。在实际应用中, 微胶囊包埋的粉末油脂可使其在面团中起到缓释效果<sup>[26]</sup>。相较于直接添加普通油脂, 粉末油脂不仅具有良好的分散性, 还能有效抑制油脂氧化, 同时改善面团品质<sup>[27]</sup>。

因此, 本研究选择工艺优化制备的高包埋率粉末油脂, 考察其添加量对饺子皮理化性质的影响。

### 2.2 粉末油脂复溶乳液表征

由图 1(a)可知, 粉末油脂复溶乳液的粒径呈单峰分布, 主要分布在 1~100 μm 范围内, 体积平均粒径为 9.71 μm。光学显微镜观察结果(图 1b)表明, 复溶后的粉末油脂乳液油滴粒径分布均匀, 无明显聚结现象。为深入表征油滴分布特性, 利用激光共聚焦显微镜进行观察(图 1c), 其中油脂相(红色)与蛋白质相(绿色)呈现清晰的界面分布。结果表明, 油滴在连续相中分散均匀, 未观察到明显的聚集体。这一观察结果与光学显微镜所得到的结论一致, 均证实了粉末油脂复溶后油滴具有良好分散性和不易聚集的特性。

### 2.3 饺子皮质构特性

粉末油脂对饺子皮质构特性影响如表 3 所示。前期针对市售饺子皮产品的测试表明, 当其质构硬度值处于 1500.00 g 左右时, 感官评价中的口感最优。在本研究中, 随着粉末油脂添加量的增加, 饺子皮的硬度显著下降 ( $P < 0.05$ ), 当添加量为 4% 时硬度值为 1572.25 g, 接近市售饺子皮的质构硬度。粉末油脂对饺子皮的胶着性和咀嚼性的影响趋势与硬度基本一致, 均呈现显著下降趋势 ( $P < 0.05$ )。这可能是由于粉末油脂在面团中的均匀分散及其润滑作用, 降低了面筋网络结构内部的摩擦力, 从而使饺子皮质构特性减弱、质地更为柔软。该结果与 Devi 等<sup>[28]</sup>关于花生油影响小麦面粉凝胶特性的研究结论相符。在本研究添加量范围内, 饺子皮的弹性和内聚性并未出现显著变化 ( $P > 0.05$ ), 表明粉末油脂的添加对这些特性无明显影响。这一发现与沈忱等<sup>[29]</sup>关于猪油对面团物理特性的影响不同, 他们发现猪油因固态特性和

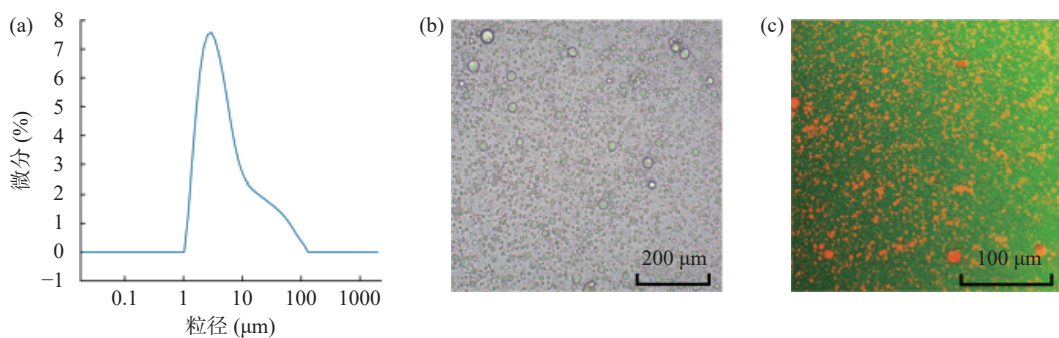


图 1 复溶乳液的粒径分布(a)和微观结构(b, c)

Fig.1 Particle size distribution (a) and microstructure (b, c) of reconstituted emulsions

表 3 粉末油脂对饺子皮质构特性的影响

Table 3 Effect of powdered fat on the texture properties of dumpling wrappers

粉末油脂添加量 (%)	硬度 (g)	弹性	内聚性	胶着性	咀嚼性 (g)
0	2177.78±129.90 <sup>a</sup>	0.82±0.01 <sup>a</sup>	0.98±0.04 <sup>a</sup>	2124.74±123.99 <sup>a</sup>	1734.95±107.17 <sup>a</sup>
2	1881.22±155.79 <sup>b</sup>	0.83±0.03 <sup>a</sup>	0.97±0.06 <sup>a</sup>	1823.08±151.03 <sup>b</sup>	1513.09±129.24 <sup>b</sup>
4	1572.25±68.99 <sup>c</sup>	0.84±0.02 <sup>a</sup>	1.00±0.05 <sup>a</sup>	1562.08±68.73 <sup>c</sup>	1316.59±60.29 <sup>c</sup>
6	1275.69±149.94 <sup>d</sup>	0.84±0.03 <sup>a</sup>	0.94±0.06 <sup>a</sup>	1210.73±218.86 <sup>d</sup>	1016.98±152.11 <sup>d</sup>
8	1118.96±39.90 <sup>d</sup>	0.83±0.02 <sup>a</sup>	0.96±0.02 <sup>a</sup>	1069.35±13.54 <sup>d</sup>	891.94±20.74 <sup>d</sup>

注: 同一列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 表 4~表 5 同。

低表面张力,易形成棒状或片状不均匀分布,既阻碍限制面筋网络形成,又导致产品品质波动。相比之下,粉末油脂的物理特性使其在面团中分散更稳定,有助于提升面制品品质稳定性。

### 2.4 饺子皮拉伸特性

粉末油脂对饺子皮拉伸特性的影响如图2所示。伴随着粉末油脂的添加,饺子皮抗拉伸力逐渐减小,这可能是由于油脂的润滑作用削弱了面筋网络间的结合力。该现象与油凝胶对面条拉伸断裂力的影响研究结果一致<sup>[10]</sup>。饺子皮拉伸距离随着粉末油脂的添加呈现先增加后减小的趋势,在4%添加量时达到最大值135.51 mm,这可能与油脂在面团中的分散状态及其对面筋网络的影响有关。郭孝源<sup>[30]</sup>研究指出,猪油因其弱极性难以与面粉有效结合,对面条拉伸性能改良效果较差。相比之下,本研究制备的粉末状油脂可均匀分散在面团中,适量添加时可能通过促进水与面筋蛋白结合,有助于形成更连续均匀的面筋网络结构,从而提升拉伸性能。相关研究也支持这一推测,如添加0.5%~10%的菜籽油可促进水与面筋结合,改善面团的拉伸性能<sup>[31]</sup>。然而,过量的杏仁油则会破坏面团结构,致使拉伸性能下降<sup>[32]</sup>,这与本研究中过量粉末油脂使拉伸距离下降的现象一致。

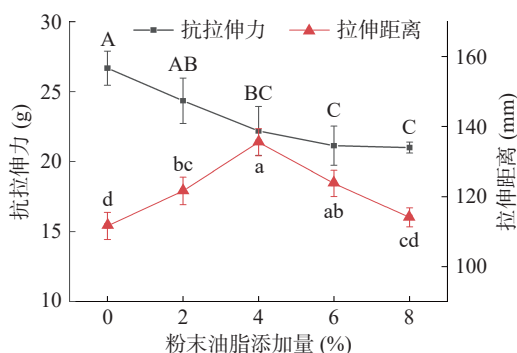


图2 粉末油脂对饺子皮拉伸特性的影响

Fig.2 Effect of powdered fat on the tensile properties of dumpling wrappers

注:不同大写或小写字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 2.5 饺子皮蒸煮特性

表4显示了粉末油脂对饺子皮吸水率及蒸煮损失率的影响。当粉末油脂添加量为4%时,饺子皮的吸水率达到峰值,偏离该添加量均会导致吸水率下降。适量粉末油脂可能通过与面筋蛋白结合形成稳

表4 粉末油脂对饺子皮蒸煮特性的影响

Table 4 Effect of powdered fat on the cooking characteristics of dumpling wrappers

粉末油脂添加量 (%)	吸水率 (%)	蒸煮损失率 (%)
0	64.35±0.53 <sup>d</sup>	4.31±0.17 <sup>a</sup>
2	64.82±1.47 <sup>cd</sup>	3.18±0.17 <sup>b</sup>
4	72.54±0.96 <sup>a</sup>	3.08±0.20 <sup>b</sup>
6	67.51±0.29 <sup>b</sup>	3.98±0.15 <sup>a</sup>
8	66.38±0.53 <sup>bc</sup>	4.06±0.15 <sup>a</sup>

定的面筋网络结构,增强水分保持能力;而过量添加粉末油脂则可能破坏面筋网络致密性,从而抑制饺子皮对水的结合能力导致持水性下降。这一规律与微胶囊对新鲜面条烹饪后吸水率的影响研究结果类似<sup>[33]</sup>。另一方面,饺子皮的蒸煮损失率随着粉末油脂添加量的增加呈现先降后升趋势,在4%添加量时达到最低值。这可能是由于适量的粉末油脂能够稳定饺子皮的面筋网络结构使蒸煮过程中淀粉颗粒的溶出减少,但过量添加会削弱面筋蛋白质对淀粉的束缚作用。该变化趋势与Hou等<sup>[34]</sup>关于酶改性大豆油对冷冻熟面蒸煮损失率的研究发现一致。

### 2.6 饺子皮色泽

粉末油脂对饺子皮色泽的影响如表5所示。随着粉末油脂添加量的增加, $L^*$ 值逐渐增大,表明饺子皮的亮度升高。这可能是由于粉末油脂的添加改善了饺子皮表面光洁度,从而增强了光反射效率,与Chao等<sup>[35]</sup>关于I型淀粉-脂质复合物提升小麦面条亮度的研究结果一致。同时,饺子皮的 $a^*$ 值和 $b^*$ 值均随着粉末油脂添加量的增加逐渐增大,表明饺子皮的色泽逐渐向红、黄方向发生转变。这可能是由于粉末油脂本身的乳黄色对饺子皮整体色泽产生了影响。

表5 粉末油脂对饺子皮色泽的影响  
Table 5 Effect of powdered fat on the color of dumpling wrappers

粉末油脂添加量 (%)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
0	82.67±0.05 <sup>b</sup>	0.11±0.03 <sup>d</sup>	15.92±0.10 <sup>e</sup>
2	82.86±0.09 <sup>b</sup>	0.12±0.02 <sup>d</sup>	17.15±0.22 <sup>d</sup>
4	82.89±0.04 <sup>b</sup>	0.29±0.02 <sup>c</sup>	18.24±0.02 <sup>c</sup>
6	83.37±0.11 <sup>a</sup>	0.37±0.06 <sup>b</sup>	18.67±0.10 <sup>b</sup>
8	83.56±0.07 <sup>a</sup>	0.46±0.02 <sup>a</sup>	19.10±0.09 <sup>a</sup>

### 2.7 饺子皮流变学特性

$G'$ 和 $G''$ 分别代表面团的弹性和粘性特征<sup>[36]</sup>,图3显示了不同添加量的粉末油脂对饺子皮 $G'$ 值和 $G''$ 值的影响。在频率扫描范围内,饺子皮的 $G'$ 值和 $G''$ 值均随着角频率的增加而上升,且 $G'$ 值始终高于 $G''$ 值,表明饺子皮具有典型的粘弹特征并以弹性为主。这是由于面团中的淀粉颗粒起到了支撑作用,增强了面筋网络结构的强度,产生了更强的结合力,从而表现出更高的模量<sup>[37]</sup>。另一方面,当粉末油脂添加量增至4%时,饺子皮的 $G'$ 值和 $G''$ 值呈现上升趋势,表明适量粉末油脂可通过与面筋蛋白的相互作用强化网络结构。该结果与酶改性菜籽油改善面团流变学特性的研究一致<sup>[38]</sup>。然而,继续增加粉末油脂添加量导致饺子皮的 $G'$ 值和 $G''$ 值下降,这与棕榈油过量添加(>8%)抑制面筋蛋白水合作用、削弱网络强度的研究结论相符<sup>[39]</sup>。

### 2.8 饺子皮傅里叶变换红外光谱

图4展示了粉末油脂添加量对饺子皮FTIR光

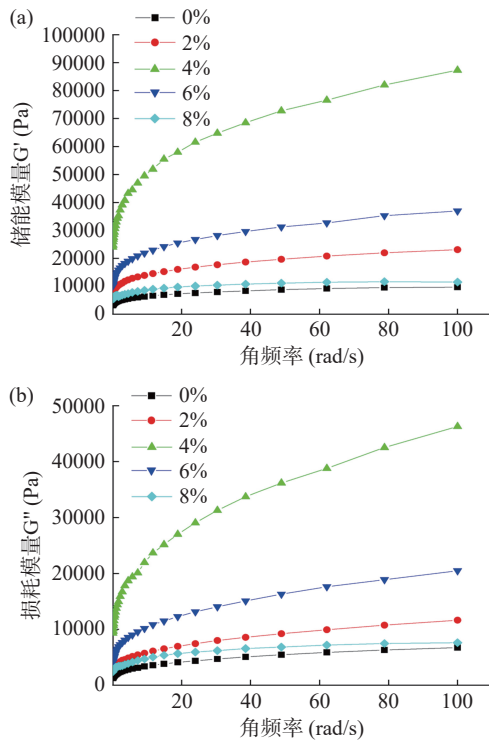


图 3 粉末油脂对饺子皮储能模量(a)及损耗模量(b)的影响  
Fig.3 Effect of powdered fat on energy storage modulus (a) and loss modulus (b) of dumpling wrappers

谱的影响。波数  $3296\text{ cm}^{-1}$  处的酰胺 A 带吸收峰与 N-H 和 O-H 的伸缩振动有关, 波数  $2925\text{ cm}^{-1}$  处的酰胺 B 带和波数  $2852\text{ cm}^{-1}$  吸收峰与脂肪酸亚甲基- $\text{CH}_2$  的伸缩振动有关, 波数  $1744\text{ cm}^{-1}$  代表油脂中  $\text{C}=\text{O}$  的特征<sup>[24,40]</sup>。随着粉末油脂添加量增加至 4% 时, 酰胺 A 带吸收峰强度呈现上升趋势, 表明适量添加粉末油脂可以促进面筋蛋白分子间氢键的形成。这可能是因为油脂的疏水作用诱导面筋蛋白分子重排, 从而增强氢键的形成。该现象与 Zhao 等<sup>[41]</sup> 关于磷酸化长链菊粉增强面筋稳定性的研究结果一致。当粉末油脂添加量达到 6% 及以上时, 酰胺 A 带吸收峰强度出现下降, 表明过量油脂干扰面筋蛋白分子排列, 导致氢键的形成受到阻碍。楚雯文<sup>[42]</sup> 研究发现, 淀粉-面筋蛋白的红外图谱在  $3315\text{ cm}^{-1}$  处特征峰强度也随脂肪酸的添加出现减弱的趋势。随着粉末油脂添加量的增加, 波数  $2925$ 、 $2852$  及  $1744\text{ cm}^{-1}$

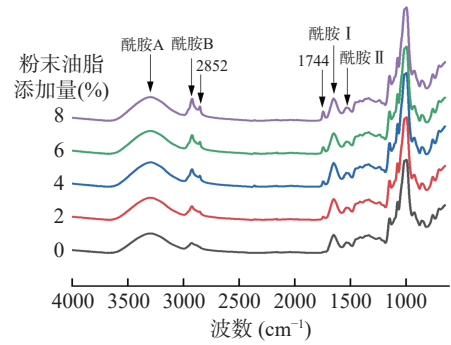


图 4 粉末油脂对饺子皮 FTIR 光谱的影响  
Fig.4 Effect of powdered fat on FTIR spectra of dumpling wrappers

处吸收峰强度逐渐上升, 直接反映了体系中油脂含量增加。类似的现象也出现在大豆油、猪油等不同油脂添加对面团红外光谱的影响中<sup>[24]</sup>。

### 2.9 饺子皮水分分布

图 5 显示了粉末油脂添加量对饺子皮水分分布状态的影响。A<sub>21</sub>、A<sub>22</sub> 和 A<sub>23</sub> 分别表示饺子皮中的结合水、准结合水和自由水的峰面积比, 反映了不同状态水的相对含量<sup>[43]</sup>。随着粉末油脂添加量增至 4%, A<sub>21</sub> 逐渐增加而 A<sub>23</sub> 减少, 表明适量粉末油脂能促进面筋蛋白与水分子结合, 形成紧密的面筋网络结构从而降低水分子流动性。Zhang 等<sup>[44]</sup> 也研究发现, 添加 3% 的乳液能够增强面团中面筋蛋白与水分

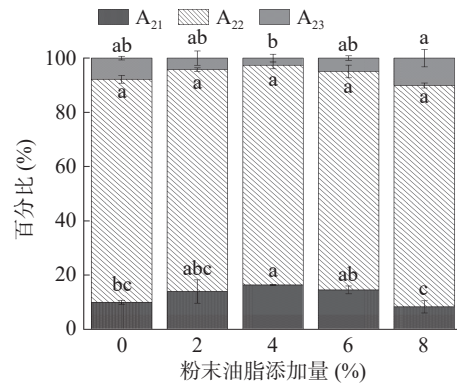


图 5 粉末油脂对饺子皮峰面积比例的影响  
Fig.5 Effect of powdered fat on peak area ratio of dumpling wrappers

注: 不同小写字母表示组间差异显著 ( $P < 0.05$ )。

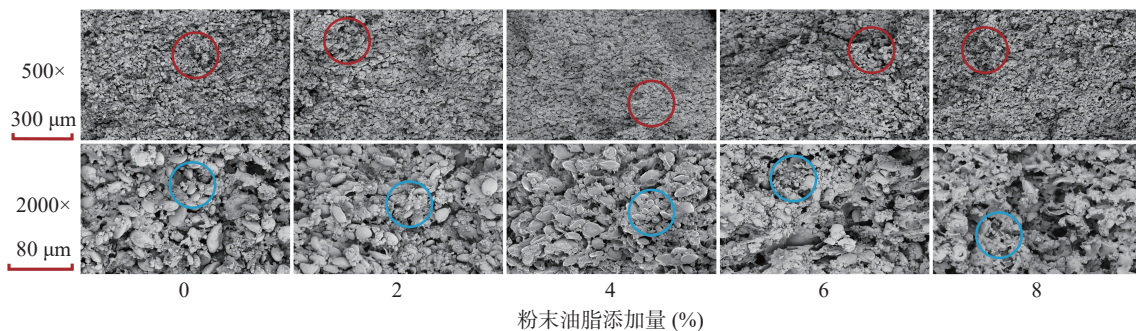


图 6 粉末油脂对饺子皮微观结构的影响

Fig.6 Effect of powdered fat on the microstructure of dumpling wrappers

的结合能力,降低水分的流动性。然而,当粉末油脂添加量超过4%时, $A_{21}$ 下降而 $A_{23}$ 上升,这可能是由于过量油脂的疏水作用阻碍面筋蛋白与水分子结合,削弱了面筋网络结构的持水能力。该现象与油凝胶影响面团水分流动性的研究相符<sup>[37]</sup>。

### 2.10 饺子皮微观结构

粉末油脂对饺子皮微观结构的影响如图6所示。红圈部分为孔洞分布情况,蓝圈部分为淀粉颗粒分布情况。未添加粉末油脂的饺子皮样品中,淀粉颗粒分散于面筋基质中,孔洞分布不均匀。当粉末油脂添加量增至4%时,饺子皮的面筋网络结构明显变得紧密,这可能是由于油脂的润滑作用促进了淀粉颗粒与面筋蛋白的结合。Liu等<sup>[45]</sup>研究发现,添加2%甘露糖基赤藓糖醇脂质A能够促使淀粉颗粒嵌入面筋网络中,从而形成更为连续和紧密的面筋网络结构。然而,当粉末油脂添加量超过4%时,过量油脂导致面筋网络破坏,孔洞增大。该现象与高剂量大豆油(>6%)影响面团结构的研究相似<sup>[46]</sup>。结果表明,适量粉末油脂可优化面筋网络结构,提高饺子皮的品质和口感,但过量添加会损害饺子皮品质。

## 3 结论

本研究通过正交试验优化了猪油、乳清蛋白、蔗糖脂肪酸酯和葡萄糖浆等为原料的粉末油脂制备工艺配方,获得具有高包埋率的粉末油脂产品,其复溶乳液的油滴粒径小且呈现出良好的分散性。研究发现,4%的粉末油脂添加量能促进淀粉-面筋蛋白相互作用形成紧密面筋网络,不仅提高了面团中的结合水比例,还使饺子皮获得最佳的抗拉伸性能和蒸煮特性。然而,进一步提高粉末油脂的添加量,过量油脂的疏水作用会破坏面筋网络结构连续性,导致结构疏松和饺子皮品质下降。研究结果可为饺子皮品质改良提供理论依据和技术支撑。

© The Author(s) 2026. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 参考文献

[1] PAN Z, BAI Y, XU L, et al. The effect of freeze-thaw cycles on the microscopic properties of dumpling wrappers[J]. Foods, 2023, 12(18): 3388.

[2] 陶春生, 王克俭, 刘学军, 等. 麦麸添加量和粒度对饺子皮品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 28-32. [TAO C S, WANG K J, LIU X J, et al. Effects of the addition level and particle size of wheat bran on the quality of dumpling wrapper[J]. Food Industry Science and Technology, 2019, 40(11): 28-32.]

[3] 闵照永, 路源, 汪雅馨, 等. 漆酶在饺子皮面团制作中的应用[J]. 食品工业科技, 2020, 41(8): 62-66, 73. [MIN Zhaoyong, LU Yuan, WANG Yaxin, et al. Application of laccase in making dumpling dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(8): 62-66, 73.]

[4] LIU Yufen, GAO Haiyan, ZENG Jie, et al. Effect of *Canna edulis* Ker flour on quality of quick-frozen dumpling wrappers[J].

Journal of Food Processing and Preservation, 2022, 46(5): e16516.

[5] 高文倩, 邢雪羽, 胡炎华, 等. 海藻糖对水饺皮保水性及质构特性的改良[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 235-241, 281. [GAO Wenqian, XING Xueyu, HU Yanhua, et al. Improvement of trehalose on water retention and texture properties of dumpling wrapper[J]. Modern Food Science & Technology, 2020, 36(7): 235-241, 281.]

[6] 马启昱, 刘忠义, 付满, 等. 油脂对面团特性及面制品品质影响研究进展[J]. 食品与机械, 2021, 37(10): 235-240. [MA Qiyu, LIU Zhongyi, FU Man, et al. Research progress on the effect of oil on dough properties and quality of dough products[J]. Food & Machinery, 2021, 37(10): 235-240.]

[7] ROPCIUC S, APOSTOL L C, DAMIAN C, et al. Effect of hemp seed oil addition on the rheological properties of dough and bread[J]. Applied Sciences, 2022, 12(6): 2764.

[8] 蔡芸丹, 饶胜其, 顾璐萍, 等. 蛋黄脂质粉末油脂制备工艺优化及性质研究[J]. 中国油脂, 2025, 50(5): 34-42, 62. [CAI Yundan, RAO Shengqi, GU Luping, et al. Optimization of preparation process and properties of egg yolk lipids powdered oil[J]. China Oils and Fats, 2025, 50(5): 34-42, 62.]

[9] XU Yaguang, YAN Xinxin, ZHENG Haibo, et al. The application of encapsulation technology in the food industry: Classifications, recent advances, and perspectives[J]. Food Chemistry: X, 2024, 21: 101240.

[10] OH I, LEE S. Rheological, microstructural, and tomographical studies on the rehydration improvement of hot air-dried noodles with oleogel[J]. Journal of Food Engineering, 2020, 268: 109750.

[11] MA R, HAN S, SONG J, et al. Rheology, moisture distribution, and retrogradation characteristics of dough containing peony seed oil and quality of corresponding steamed bread[J]. Foods, 2025, 14(9): 1505.

[12] 王瑾, 杨占威, 肖建辉, 等. 不同油脂的添加对面条品质的影响[J]. 粮食与油脂, 2015, 28(5): 37-39. [WANG Jin, YANG Zhanwei, XIAO Jianhui, et al. Effect of different oils added on the qualities of noodles[J]. Cereals & Oils, 2015, 28(5): 37-39.]

[13] 孙艳辉, 张宜凤, 梁军. 粉末油脂的开发及其在食品工业中的应用[J]. 农业机械, 2012(9): 38-40. [SUN Yanhui, ZHANG Yifeng, LIANG Jun. Development of powdered oil and its application in food industry[J]. Farm Machinery, 2012(9): 38-40.]

[14] SRIVASTAVA S, MISHRA H N. Development of microencapsulated vegetable oil powder based cookies and study of its physicochemical properties and storage stability[J]. LWT, 2021, 152: 112364.

[15] NAYANA N, MARY A L, PADMA I S, et al. Spray-dried microcapsules of red palm olein-flaxseed oil blend: Development, physicochemical characterization, and evaluation of its potential applications as a fat replacer and  $\beta$ -carotene fortificant in cupcakes[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(9): e15663.

[16] KAIRAM N, KANDI S, SHARMA M. Development of functional bread with flaxseed oil and garlic oil hybrid microcapsules[J]. LWT, 2021, 136: 110300.

[17] 伊野大記. 粉末油脂の特性と食品への応用例[J]. オレオサイエンス, 2019, 19(10): 417-422. [INO D. Characteristics of powdered oil and its application examples in food[J]. Oleoscience, 2019, 19(10): 417-422.]

[18] 任东东, 郑为完, 李春莉, 等. 高米蛋白含量粉末油脂的制备研究[J]. 食品科学, 2008(8): 323-325. [REN D D, ZHENG W W, LI C L, et al. Study on preparation of powered oil with high rice protein content[J]. Food Science, 2008(8): 323-325.]

- [ 19 ] WANG J, CUI Y, SHI L, et al. Effect of ionic types on the characteristics of Pickering emulsions stabilized by myofibrillar proteins from hairtail (*Trichiurus lepturus*)[J]. *LWT*, 2023, 189: 115559.
- [ 20 ] 张艳杰, 王金慧, 刘胜男, 等. 燕麦抗冻蛋白对冻藏期间速冻饺子皮品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(2): 316–322. [ ZHANG Yanjie, WANG Jinhui, LIU Shengnan, et al. Effects of oat antifreeze protein on quick-frozen dumpling wrapper during freezing and storage[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(2): 316–322. ]
- [ 21 ] ZHAO Y, REN Z, SHI L, et al. Effects of pre-emulsion prepared using sucrose esters with different hydrophile-lipophile balances on characteristics of soy protein isolate emulsion films[J]. *Food Research International*, 2023, 165: 112542.
- [ 22 ] CUI T, LIU R, WU T, et al. Influence of konjac glucomannan and frozen storage on rheological and tensile properties of frozen dough[J]. *Polymers*, 2019, 11(5): 794.
- [ 23 ] CHEN H, HUANG J, SU Y, et al. Effects of oil and heating on the physicochemical and microstructural properties of gluten-starch dough[J]. *Food Chemistry*, 2024, 436: 137571.
- [ 24 ] ZHU X, YUAN P, ZHANG T, et al. Effect of carboxymethyl chitosan on the storage stability of frozen dough: State of water, protein structures and quality attributes[J]. *Food Research International*, 2022, 151: 110863.
- [ 25 ] 叶英, 曾波, 宋明发, 等. 微胶囊化对山桐子油理化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2025, 40(6): 136–142. [ YE Ying, ZENG Bo, SONG Mingfa, et al. Effect of microencapsulation on the physicochemical properties of *Idesia polycarpa* oil[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2025, 40(6): 136–142. ]
- [ 26 ] TEODORO R A R, de BARROS FERNANDES R V, BOTREL D A, et al. Characterization of microencapsulated rosemary essential oil and its antimicrobial effect on fresh dough[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2014, 7(9): 2560–2569.
- [ 27 ] 徐梁, 丁文平. 粉末油脂在面包预混粉中应用的研究[J]. *粮油加工*, 2008(10): 90–92. [ XU Liang, DING Wenping. Study on the application of powdered oil in the premixed bread flour[J]. *Cereals and Oils Processing*, 2008(10): 90–92. ]
- [ 28 ] DEVI A, SINDHU R, KHATKAR B S. Effect of fats and oils on pasting and textural properties of wheat flour[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 57(10): 3836–3842.
- [ 29 ] 沈忱, 蒋予箭, 林家莲. 油脂对面团物理特性的影响[J]. *食品与机械*, 2007, 23(3): 45–47. [ SHEN Chen, JIANG Yujian, LIN Jialian. The influence of fat and oil on physical property of dough[J]. *Food and Machinery*, 2007, 23(3): 45–47. ]
- [ 30 ] 郭孝源. 油脂对面团及面条品质的影响[D]. 郑州: 河南工业大学, 2013. [ GUO Xiaoyuan. Effects of lipids on dough properties and noodle quality[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2013. ]
- [ 31 ] CHEN H, LI H, CHEN K, et al. Effect of oleic acid-rich rapeseed oil on the physicochemical, rheological, and structural characteristics of wheat dough[J]. *Food Chemistry*, 2024, 458: 140227.
- [ 32 ] 王富刚. 杏仁油对面粉理化指标的影响研究[J]. *粮食与油脂*, 2022, 35(5): 80–82. [ WANG Fugang. Study on the effect of almond oil on the physical and chemical indexes of flour[J]. *Cereals & Oils*, 2022, 35(5): 80–82. ]
- [ 33 ] LUO Songming, CHEN Jundong, ZENG Yuanbo, et al. Effect of water-in-oil-in-water (W/O/W) double emulsions to encapsulate nisin on the quality and storage stability of fresh noodles[J]. *Food Chemistry*, 2022, 15: 100378.
- [ 34 ] HOU Liuyu, ZHAO Beibei, WU Chuanjing, et al. Physicochemical and microstructural properties of frozen cooked noodles during frozen storage affected by enzymatically interesterified soybean oil-based plastic fat[J]. *Food Research International*, 2025, 203: 115842.
- [ 35 ] CHAO Chen, LIANG Song, SUN Bowen, et al. Effects of starch-lipid complexes on quality and starch digestibility of wheat noodles[J]. *Starch-Stärke*, 2024, 76(11-12): 2300155.
- [ 36 ] YANG Jingjie, ZHANG Bo, ZHANG Yingquan, et al. Effect of freezing rate and frozen storage on the rheological properties and protein structure of non-fermented doughs[J]. *Journal of Food Engineering*, 2021, 293: 110377.
- [ 37 ] ZHANG Yuanyuan, LIU Chang, WANG Baogang. Effect of *Camellia* oil gel on rheology, water distribution and microstructure of flour dough for crispy biscuits[J]. *Journal of Cereal Science*, 2024, 117: 103912.
- [ 38 ] ZHAO Beibei, HOU Liuyu, LIU Xinru, et al. Effect of enzymatically interesterified rapeseed oil-based plastic fats on the dough properties and corresponding steamed bread[J]. *Food Bioscience*, 2024, 62: 105295.
- [ 39 ] 马启昱, 刘忠义, 付满, 等. 棕榈油添加量对面团质量的影响[J]. *食品与机械*, 2022, 38(5): 179–183. [ MA Qiyu, LIU Zhongyi, FU Man, et al. Effect of the amount of palm oil on dough quality[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(5): 179–183. ]
- [ 40 ] BOCK J E, DAMODARAN S. Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by Fourier transform infrared spectroscopy[J]. *Food Hydrocolloids*, 2013, 31(2): 146–155.
- [ 41 ] ZHAO Yingyu, LUO Denglin, YUE Chonghui, et al. Structural characteristics variations of dough incorporated with long-chain inulin modified by phosphorylation[J]. *Journal of Cereal Science*, 2023, 114: 103782.
- [ 42 ] 楚雯文. 脂肪酸对淀粉与面筋蛋白体系影响的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023. [ CHU Wenwen. Study on the effects of fatty acids on starch and gluten proteins[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023. ]
- [ 43 ] ZHANG Yanyan, WANG Suo, BAI Jianing, et al. Effect of resting time on water distribution and gluten formation of dough[J]. *LWT*, 2024, 204: 116425.
- [ 44 ] ZHANG C, YANG Y, MA C, et al. High freeze-thaw stability of Pickering emulsion stabilized by SPI-maltose particles and its effect on frozen dough[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024, 276: 133778.
- [ 45 ] LIU S, GU S, SHI Y, et al. Alleviative effects of mannosylerythritol lipid-A on the deterioration of internal structure and quality in frozen dough and corresponding steamed bread[J]. *Food Chemistry*, 2024, 431: 137122.
- [ 46 ] JIA S, CAO J, DAI Y, et al. Effects of soybean oil on rheological characteristics of dough under high hydrostatic pressure[J]. *Journal of Texture Studies*, 2022, 53(5): 684–692.