

发芽处理方式下鹰嘴豆粉的混合面团及饅品质比较

刘雨彤¹, 王鑫沂¹, 牙力库尼·亚森¹, 杨芳¹, 汪世杰¹, 冯作山^{1,2}, 黄文书^{1,2*}

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

(2. 新疆果品采后科学与技术重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要: 为选择合适的处理手段提升鹰嘴豆面制品品质, 分析对比未处理、发芽鹰嘴豆对面团流变学特性、蛋白质二级结构、微观结构及鹰嘴豆饅质构特性、感官特性的影响。结果表明: 随着豆粉取代率增加, 混合面团吸水率增加, 峰值粘度下降。取代率为 30% 时, 未处理组蛋白质二级稳定结构整体下降 10.07%, 不稳定结构整体上升 14.45%; 发芽组稳定结构整体上升 13.11%, 不稳定结构整体下降 1.34%, 这说明发芽鹰嘴豆粉较能维持混合面团体系稳定。发芽鹰嘴豆粉取代率为 30% 时制成的饅质构特性最好 (硬度 1 234.7 g, 胶着性 531.3 g, 咀嚼性 597.2 mJ), 感官评分最高为 93.1。综上所述, 当发芽鹰嘴豆粉添加量为 30% 时, 可赋予鹰嘴豆饅良好的机械性能及加工品质。该研究为鹰嘴豆粉在面制品中的应用与开发提供了科学依据, 并揭示了通过添加鹰嘴豆粉提高面团质量的潜力。

关键词: 鹰嘴豆; 发芽处理; 面团; 流变学特性; 饅

文章编号: 1673-9078(2026)3-242-249

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.3.1652

Comparison of the Quality of Mixed Dough and Nang with Chickpea Flour Under Germination Treatment

LIU Yutong¹, WANG Xinyi¹, YALI KUNI Yasen¹, YANG Fang¹, WANG Shijie¹,

FENG Zuoshan^{1,2}, HUANG Wenshu^{1,2*}

(1.College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

(2.Xinjiang Key Laboratory of Postharvest Science and Technology, Urumqi 830052, China)

Abstract: To select appropriate treatment methods for enhancing the quality of chickpea-based flour products, this study investigated the effects that untreated and germinated chickpea flour have on the rheological properties, protein secondary structure, and microstructure of dough, as well as the textural and sensory characteristics of chickpea-based nang, a traditional flatbread in Xinjiang, China. Results revealed that as the substitution rate of chickpea flour increased, the water absorption rate of mixed dough increased, whereas the peak viscosity decreased. At a 30% substitution rate, the presence of stable protein secondary structures in the untreated group decreased by 10.07%, whereas that of unstable structures increased by 14.45%. In contrast, the germinated group exhibited an increase of 13.11% in the presence of stable structures and a decrease of 1.34% in that of unstable structures, indicating that germinated chickpea flour was more effective in maintaining stability of the mixed dough system. Nang prepared with 30%

引文格式:

刘雨彤,王鑫沂,牙力库尼·亚森,等.发芽处理方式下鹰嘴豆粉的混合面团及饅品质比较[J].现代食品科技,2026,42(3): 242-249.

LIU Yutong, WANG Xinyi, YALI KUNI Yasen, et al. Comparison of the quality of mixed dough and nang with chickpea flour under germination treatment [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(3): 242-249.

收稿日期: 2024-11-06; 修回日期: 2025-03-17; 接受日期: 2025-03-26

基金项目: 新疆自治区重点研发任务专项 (2021B02001-2)

作者简介: 刘雨彤 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工, E-mail: 571270354@qq.com

通讯作者: 黄文书 (1975-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 农产品加工, E-mail: xjnd-hws@126.com

germinated chickpea flour demonstrated optimal textural properties (hardness: 1 234.7 g, cohesiveness: 531.3 g, chewiness: 597.2 mJ) and achieved the highest sensory score of 93.1. In conclusion, incorporating 30% germinated chickpea flour imparted favorable mechanical properties and processing quality to the chickpea-based nang. This study provides a scientific basis for the application and development of chickpea flour in flour-based products and highlights its potential to improve dough quality.

Key words: chickpeas; germination treatment; dough; rheological properties; nang

小麦在我国种植面积大,是我国重要的主食之一^[1]。小麦粉中营养价值丰富,含有蛋白质、维生素、碳水化合物、磷、钾、钙、铁、镁等矿物质^[2]。鹰嘴豆营养丰富,分布在世界各国。其中亚洲栽培面积最大,其次是非洲^[3]。在大多数亚洲国家,特别是巴基斯坦,最常消费的最便宜的产品是鹰嘴豆^[4]。我国主要的鹰嘴豆种植区域集中于新疆、甘肃、云南和青海等地区^[5,6]。鹰嘴豆属于富含膳食纤维、蛋白质、矿物质、氨基酸等多种营养素的五谷杂粮^[7,8],其中蛋白质功效的比值和消化率均显著高于其他食用豆类^[9]。将鹰嘴豆粉掺入小麦粉中增加了面食的矿物质和脂肪含量,从而增加了产品的营养价值。随着含有鹰嘴豆的杂粮混合物比例的增加,混合粉在灰分、蛋白质、脂肪和膳食纤维含量方面的营养特性也会增加^[10]。目前鹰嘴豆因其富含的营养和活性成分逐渐被应用于食品、医学等领域。

在鹰嘴豆中,存在抗营养因子^[11],这些因子会妨碍蛋白质的消化过程,进而削弱其整体的营养价值。但通过发芽过程,鹰嘴豆能够产生一系列酶类,这些酶类能够有效消除或降低抗营养因子的影响,从而提升鹰嘴豆的营养价值,这一过程并不会导致维生素和微量元素的损失^[12],鹰嘴豆经过萌发处理后,其异黄酮含量和水溶性膳食纤维等功能成分均显著增长,同时氨基酸的组成比例也得到优化,进一步增强了营养价值^[13,14]。该研究分析对比了未处理、发芽处理鹰嘴豆粉对面团流变学特性、蛋白质二级结构、微观结构及鹰嘴豆饅头质构特性、感官特性的影响,可为选择合适的处理手段提升鹰嘴豆面制品品质提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料

鹰嘴豆,新疆农业大学正门祥和华府生活超市(蛋白质含量为 9 540 mg/100 g);特制一等小麦粉,新疆仓卖园有限责任公司(蛋白质含量为 13 500 mg/100 g)。

1.2 仪器与设备

HZF-150 电子粉质仪,浙江托普云农科技股份有限公司;H20F 型立式双速和面机,广东力丰机械制造有限公司;

860702 电子式拉伸仪,德国 Brabender 公司;RVA-TECMASTER 快速粘度仪,澳大利亚 Nnewport 公司;JSM-7610FPlus 热场发射扫描电子显微镜,日本电子株式会社;PerkinElmer Frontier 红外光谱仪,珀金埃尔默企业管理(上海)有限公司;LC-18N-50D 型冷冻干燥机,上海力辰仪器科技有限公司;TA-XT 质构仪,英国 BMS 有限公司。

1.3 方法

1.3.1 鹰嘴豆的预处理

未处理:挑选颗粒饱满的鹰嘴豆加入粉碎机研磨 5 min 过 80 目筛后装袋备用。

发芽处理:参照李学红等^[15]的方法进行适度调整,筛选出颗粒饱满的鹰嘴豆,将其置于 10 倍体积的水中于室温环境下浸泡整夜,将浸泡后的鹰嘴豆均匀铺展于发芽盘上,并维持室温条件促使其萌芽,萌芽过程中每 4 h 进行浇水以保持适宜的湿度。鹰嘴豆萌发 48 h 后生出白色豆芽,于 26 °C 风速烘干,加入粉碎机研磨 5 min 过 80 目筛后装袋备用。

1.3.2 面团的制备

将豆粉、发芽豆粉按质量分数为 0%、10%、20%、30%、40%、50% 与小麦粉进行配粉混均。取 150.00 g 的混合粉倒入和面机,加入相应比例的蒸馏水,揉搓 15 min 制成面团。

1.3.3 面团粉质特性的测定

参考国标 GB/T 14614-2019。精确称量 300.00 g 混合粉将其加入到粉质仪的揉混器中。随后加入适量的蒸馏水,持续搅拌 1 min 确保混合均匀。搅拌过程中,注意保持粉质曲线的最大值在 480~520 FU 的范围内,确保测试结果的准确性。

1.3.4 面团糊化特性的测定

参照 GB/T 24853-2010。精确称取 (3.00±0.01) g 混合粉,将其置于样品桶中。随后加入 (25±0.01) mL 蒸馏水,通过上下搅动 10 次使混合粉与蒸馏水充分混匀。混匀后将样品桶放入旋转塔中进行测定。测定结束后,通过分析得到的 RVA 曲线,获取混合粉的相关糊化特性参数。

1.3.5 面筋蛋白的制备

参照仇成功等^[16]的方法并稍作修改，将适量混合粉称取后放入和面机，并加入对应比例的蒸馏水，对混合物进行揉搓，持续时间 15 min 充分混合，随后将揉好的面团在室温下静置 30 min 使其达到稳定状态。用蒸馏水不断洗涤面团，直至洗涤液与碘液接触后不再呈现蓝色，称取湿面筋的质量。对湿面筋进行冷冻处理（冷冻温度为 -25 ℃），冷冻完成后将面筋放入真空冷冻干燥机中进行干燥。干燥后的面筋经过研磨和过筛（过 120 目），最后将处理好的面筋粉末进行真空包装，以备后续实验使用。

1.3.6 面团的扫描电镜观察

将 1.3.5 干燥 48 h 的样品断裂面置于样品台上喷金镀膜，在 300 倍数下观察结构，分析豆粉的添加量对面团微观结构的影响。

1.3.7 面筋蛋白的二级结构测定

取 1.3.5 制备的样品与 KBr 混合并用压片机进行压片处理后进行红外测定。

1.3.8 鹰嘴豆饅的制作流程

操作要点：
制成面团：将两组鹰嘴豆粉与小麦粉混合均匀后依次添加糖、盐、水、酵母、油，揉搓 15 min 后制成面团。
发酵：将面团揉至表面光滑，用真空袋包裹后置于 30 ℃ 的条件下发酵。
醒发：取出发酵后的面团揉搓排气，分为大小均等的小剂子，再次放入真空袋醒发。
烤制：将成型后的饅胚底部均匀抹上盐水，置于单通道炉（上温 190 ℃、下温 200 ℃）烘烤 15 min。

1.3.9 鹰嘴豆饅的感官评分表

鹰嘴豆饅的感官评分见表 1。

1.3.10 饅质构的测定

将烤制好的鹰嘴豆饅置于室温冷却 1 h，测试前用擦镜纸擦拭干净探头重复测试。设定程序参数：选取

饅的中心部位，使用 P/5 探头，测试前、中、后速度分别选用 2.0、5.0、5.0 mm·s⁻¹，触发模式。

1.3.11 数据处理

采用 Excel、SPSS 26.0 进行数据分析处理，使用 Origin 2021 进行作图，Omnice 8.2、Peakfit 4.12 选取酰胺 I 带、基线校准、卷积处理、二阶导数拟合、多次拟合等，通过计算峰面积确定各二级结构的相对含量。显著性分析使用 Duncan 法，显著性差异为 $P<0.05$ ，数据用平均值 ± 标准差来表示， $P<0.05$ 代表显著性差异，对相同规格相同配方的样品平行测试 3 次。

表 1 鹰嘴豆饅感官评分表		
Table 1 Chickpea naan sensory score sheet		
评分项目	评分标准	得分
色泽 (20 分)	色泽均匀一致	15~20
	色泽不均匀	10~15
	色泽较差	10 以下
香气 (20 分)	鹰嘴豆粉特有香气浓郁，无豆腥味	15~20
	鹰嘴豆粉特有香气较浓郁，豆腥味轻	10~15
	鹰嘴豆粉特有香气淡，豆腥味较重	10 以下
口感 (40 分)	口感较好	35~40
	硬度、咀嚼适中	30~35
	产品较硬，咀嚼费力	30 以下
组织状态 (20 分)	外形规则，厚度适中	15~20
	外形较规则，厚度适中	10~15
	外形不规则，偏厚或者偏薄	10 以下

2 结果与讨论

2.1 豆粉添加量对面团粉质特性的影响

粉质特性在和面过程中得以体现，主要表现为面团在揉制过程中的耐揉性与粘弹性^[17]，这对面团的可操作性起到关键作用，并直接影响面团的加工性能。因此深入研究面团的粉质特性对于提升面制品的整体品质具有重要意义^[18,19]。

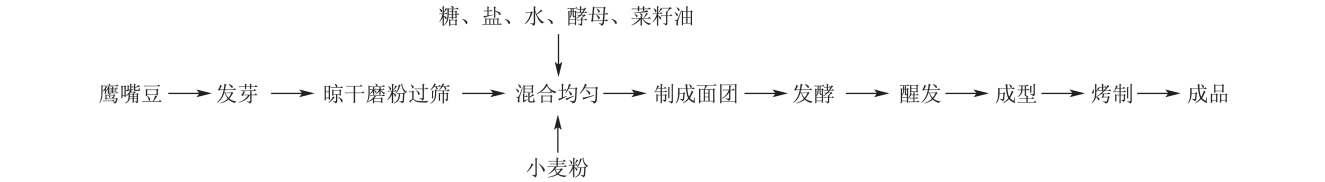


图 1 鹰嘴豆饅的制作工艺
Fig.1 Production process of chickpea Nang

由表 2 可见，相较于对照组，未处理组的吸水率下降了 22.69%，而发芽组下降了 21.22%；同时未处理组的形成时间增加了 44.28%，发芽组增加 49.83%。当两组豆粉的取代率超过 30% 时，吸水率和稳定时间显著大幅下降，而形成时间和弱化度则显著上升。这可能是由于鹰嘴豆中的酶或其他活性成分与面筋蛋白发生强烈相互作用，抑制了理想流变特性的形成^[20,21]。当豆粉添加量过某一临界点后，会破坏麦醇溶蛋白与麦谷蛋白之间的交联结构，从而阻碍正常面筋形成过程。

此外，鹰嘴豆经过发芽处理后，可溶性膳食纤维的含量显著增加^[22]。在面团体系中，可溶性膳食纤维能够发挥润滑作用，类似水胶体的角色，减少面筋网络之间的空隙，使面团结构更加紧密。可溶性膳食纤维含量越高，面筋网络连接更致密^[23,24]。因此，与未

处理组相比，发芽组的吸水率、形成时间及稳定时间整体高于豆粉组，而弱化度整体低于未处理组。

2.2 豆粉添加量对配粉糊化特性的影响

面粉中含有大量淀粉，其糊化特性对面制品的外观表现和加工质量有显著影响^[25,26]。面粉中的基础组分，如脂肪、蛋白质和纤维等，也都会对淀粉的糊化特性产生作用。衰减值作为衡量淀粉糊热稳定性的重要指标，数值越大，表明淀粉糊的稳定性越差^[27]。

由表 3 可见，与对照组相比，两组豆粉的衰减值、峰值黏度、回生值均随着豆粉取代率增加而降低，均在取代率为 50% 时达到最小值。发芽组峰值黏度减少了 37.61%，回生值下降了 55.76%；未处理组峰值黏度减少 27.76%，回生值下降 48.48%。

表 2 豆粉添加量对粉质特性的影响

Table 2 Effect of chickpea flour addition amount on powder characteristics					
样品	添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/FU
对照组	0	64.82 ± 1.77 ^a	7.62 ± 0.36 ^{ef}	12.82 ± 0.34 ^a	59.46 ± 0.74 ^e
	10	62.23 ± 0.88 ^{bc}	8.33 ± 0.52 ^{ef}	11.44 ± 0.07 ^b	61.28 ± 1.13 ^e
	20	59.21 ± 0.62 ^{de}	8.52 ± 0.2 ^{de}	10.70 ± 0.18 ^c	64.47 ± 0.68 ^e
	30	57.78 ± 0.24 ^{ef}	9.27 ± 0.09 ^{cd}	9.89 ± 0.12 ^d	71.53 ± 3.47 ^d
	40	54.86 ± 1.03 ^g	11.20 ± 0.44 ^b	9.17 ± 0.44 ^e	82.51 ± 4.92 ^c
未处理组	50	50.13 ± 0.56 ^h	12.62 ± 0.22 ^b	7.42 ± 0.16 ^f	101.52 ± 2.13 ^a
	10	62.73 ± 0.46 ^b	7.43 ± 0.26 ^f	11.63 ± 0.17 ^b	62.03 ± 2.82 ^e
	20	61.84 ± 0.35 ^{bc}	9.29 ± 0.47 ^d	11.13 ± 0.32 ^{bc}	63.91 ± 0.06 ^e
	30	60.38 ± 0.14 ^{cd}	11.11 ± 0.29 ^c	11.03 ± 0.41 ^{bc}	69.82 ± 1.11 ^d
	40	56.12 ± 0.96 ^{fg}	13.14 ± 0.72 ^b	9.81 ± 0.22 ^{de}	78.98 ± 1.42 ^c
发芽组	50	51.00 ± 0.03 ^h	14.12 ± 0.24 ^a	7.72 ± 0.38 ^f	95.53 ± 3.49 ^b

注：每列不同字母表示 $P<0.05$ ，组间具有显著性差异。下同。

表 3 豆粉添加量对糊化特性的影响

Table 3 Effect of chickpea flour addition amount on gelatinization characteristics						
样品	添加量/%	峰值黏度/cp	回生值	衰减值/cp	峰值时间/min	糊化温度/℃
对照组	0	2 573.23 ± 10.62 ^a	1 038.23 ± 14.83 ^a	1 242.49 ± 10.61 ^a	6.04 ± 0.10 ^a	67.02 ± 0.00 ^e
	10	2 152.74 ± 75.64 ^b	878.71 ± 48.76 ^{bc}	1 065.28 ± 25.24 ^b	5.84 ± 0.11 ^b	67.82 ± 0.00 ^e
	20	2 027.36 ± 43.87 ^{cd}	782.39 ± 32.50 ^{de}	1 073.12 ± 32.54 ^b	5.57 ± 0.12 ^{cd}	70.01 ± 0.60 ^e
	30	1 992.68 ± 53.70 ^{cde}	760.42 ± 29.74 ^{de}	1 034.34 ± 47.27 ^{bc}	5.44 ± 0.10 ^{de}	70.83 ± 0.50 ^e
	40	1 901.29 ± 9.93 ^{efg}	629.26 ± 3.54 ^f	982.65 ± 4.23 ^{cd}	5.33 ± 0.01 ^{ef}	73.20 ± 0.60 ^b
未处理组	50	1 859.34 ± 40.32 ^{fg}	535.52 ± 36.07 ^g	986.23 ± 19.81 ^{cd}	5.17 ± 0.10 ^g	74.51 ± 0.00 ^a
	10	2 079.45 ± 75.73 ^{bc}	897.36 ± 24.72 ^b	1 065.45 ± 17.64 ^b	5.8 ± 0.12 ^b	67.93 ± 0.00 ^e
	20	1 942.88 ± 48.17 ^{def}	826.55 ± 25.40 ^{cd}	1 039.77 ± 36.82 ^{bc}	5.64 ± 0.11 ^c	69.10 ± 0.60 ^d
	30	1 822.67 ± 21.20 ^g	755.29 ± 9.94 ^e	913.54 ± 33.91 ^d	5.34 ± 0.10 ^{ef}	72.80 ± 0.00 ^b
	40	1 878.37 ± 9.90 ^{fg}	722.63 ± 7.06 ^e	979.69 ± 12.73 ^{cd}	5.27 ± 0.10 ^{fg}	73.32 ± 0.60 ^b
发芽组	50	1 605.11 ± 93.33 ^h	459.35 ± 46.67 ^h	764.38 ± 57.22 ^e	5.00 ± 0.00 ^h	75.34 ± 0.00 ^a

发芽鹰嘴豆粉能有效降低淀粉颗粒间的摩擦程度,进而保护部分淀粉颗粒的完整性,混合粉表面的峰值粘度降低,有利于改善面团的加工性能^[28]。发芽组整体回生值较小,这表明其具有出色的抗老化能力。这是由于蛋白质和淀粉间的相互作用得到增强,能够有效阻止淀粉分子的重新聚集,从而维持淀粉结构的稳定性^[29]。发芽鹰嘴豆粉的添加可以缓解淀粉老化,从而达到延长产品保质期的目的。

2.3 混合面团的微观结构

由图2可见,对照组(a)面团的网络形态保持良好且均匀覆盖于大小淀粉颗粒表面。随着面团中鹰嘴豆粉含量的逐渐提升,淀粉颗粒表面所覆盖的面筋网络开始出现断裂现象,(图a~k中网状部分)。取代率为10%~30%时,两组面团微观状态差异不明显。但当豆粉取代率超过30%后,可显著观察到更多暴露的淀粉颗粒,取代率为50%(f、k)时,淀粉颗粒彻底暴露在外,且淀粉颗粒之间缝隙较大,面筋网络结构几乎完全被破坏。鹰嘴豆粉本身无法形成面筋蛋白,当大量鹰嘴豆粉取代小麦粉时,混合面团的面筋含量降低,无法形成连续的三维面筋网络结构。扫描电镜的结果进一步证实鹰嘴豆粉可影响面筋网络结构,导致面团流变特性产生变化。

2.4 两种鹰嘴豆粉对面团面筋蛋白二级结构的影响

傅里叶变换红外光谱是分析蛋白质和多肽结构的关键手段,适用于研究面筋蛋白的二级结构。通过对面筋进行全波段的扫描,可以利用去卷积和二阶导数拟合技术,计算各吸收峰面积与酰胺I带总面积之间的比例,精确测定面筋蛋白中各二级结构的相对含量^[30]。在傅里叶变换红外光谱图中,酰胺I带的不同吸收波数对应着面筋蛋白中特定的二级结构: α -螺旋结构($1\ 650\sim 1\ 660\text{ cm}^{-1}$)、 β -转角结构($1\ 660\sim 1\ 700\text{ cm}^{-1}$)、 β -折叠结构($1\ 600\sim 1\ 640\text{ cm}^{-1}$)和无规则卷曲($1\ 640\sim 1\ 650\text{ cm}^{-1}$)^[31]。面筋蛋白二级结构中的 α -螺旋、 β -折叠结构具有弹性,且相对稳定牢固,主要影响面团的弹性和硬度,无规则卷曲结构会使蛋白构象不稳定^[32]。

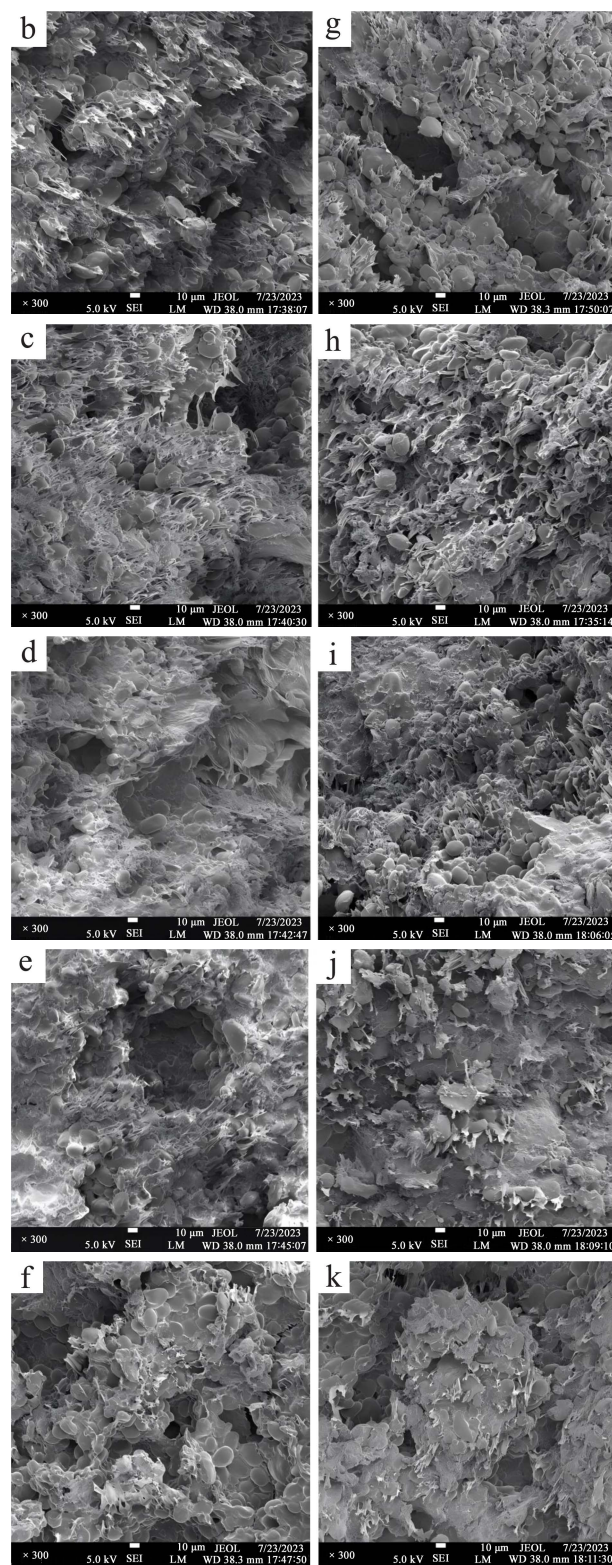
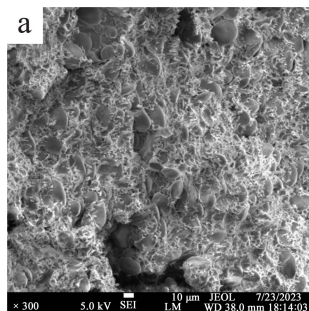


图2 不同豆粉添加量的微观电镜图

Fig.2 Microscopic electron microscopy of different chickpea powder dosages

注: a 为对照组, b 为未处理组添加量10%, g 为发芽组添加量10%, c 为未处理组添加量20%, h 为发芽组添加量20%, d 左为未处理组添加量30%, i 为发芽组添加量30%, e 为未处理组添加量40%, j 为发芽组添加量40%, f 为未处理组添加量50%, k 为发芽组添加量50%。

由表 4 可见,与对照组相比,豆粉取代率为 30%时,未处理组的稳定结构(α -螺旋结构+ β -折叠结构)含量为 37.93,整体下降 10.07%;发芽组含量为 47.71,整体上升 13.11%。未处理组的不稳定结构(无规则卷曲+ β -转角结构)含量为 61.48,整体上升 14.45%;发芽组含量为 53.00,整体下降 1.34%。发芽鹰嘴豆粉添加量为 30% 时,发芽组的稳定结构含量反而显著上升,达到最大值。豆粉添加过量会破坏面筋蛋白的网络结构,因此取代率为 40%、50% 时均无法制备出面筋蛋白,这与前面微观结构的结果一致。

2.5 两种鹰嘴豆粉对饅质构及感官评分的影响

质构分析以数据形式将样品在测试过程中的物性特点表示出来,反映出食品物理性状的优劣,在食品行业中已经得到广泛的应用^[33]。饅的硬度、咀嚼性、胶着性与品质成负相关,数值越大品质越差。由表

可得,随着豆粉的添加,两组饅的硬度、胶着性、咀嚼性较对照组相比均呈现“低-高”的显著变化趋势($P<0.05$),这说明豆粉的添加破坏了饅松软的质地,使得各项指标降低。

由表 5 可见,两组饅的硬度、胶着性、咀嚼性均在取代率为 50% 时达到最大值,未处理组分别为 2 611.03 g、1 622.94 g、1 103.11 mJ;发芽组分别为为 2 186.93 g、1 319.14 g、1 005.65 mJ。发芽组饅制品的硬度、胶着性、咀嚼性均显著低于未处理组。取代率为 10%、20% 时,饅制品并未产生鹰嘴豆特有的香气;当取代率为 30% 时,发芽组饅的感官评分达到最大值,此时制备出的饅制品具有浓厚的鹰嘴豆特殊香气,口感、组织最符合理想状态。取代率超过 30% 后,感官评分急剧下降,50% 时的感官评分最低。豆粉添加量过多使饅的口感粗糙、弹性较差且颜色深,最终出现表面颗粒明显、组织干裂的状态。

表 4 鹰嘴豆添加量对面筋蛋白二级结构的影响

Table 4 Effects of dosages of chickpeas on the secondary structure of gluten protein					
样品	添加量/%	α -螺旋/%	β -折叠/%	无规则卷曲/%	β -转角/%
对照组	0	12.35 $\pm$ 0.43 ^{cd}	29.83 $\pm$ 0.40 ^c	21.95 $\pm$ 0.49 ^a	37.11 $\pm$ 0.41 ^{cd}
	10	11.81 $\pm$ 0.10 ^e	35.20 $\pm$ 0.74 ^{ab}	16.76 $\pm$ 0.91 ^b	37.21 $\pm$ 0.31 ^{cd}
未处理组	20	12.09 $\pm$ 0.06 ^{de}	27.98 $\pm$ 0.04 ^d	22.87 $\pm$ 0.27 ^a	37.40 $\pm$ 0.23 ^{bc}
	30	12.62 $\pm$ 0.05 ^c	25.31 $\pm$ 0.47 ^e	22.16 $\pm$ 0.37 ^a	39.32 $\pm$ 0.04 ^a
发芽组	发 10	20.98 $\pm$ 0.10 ^a	34.34 $\pm$ 0.15 ^b	7.56 $\pm$ 0.62 ^c	37.77 $\pm$ 0.34 ^b
	发 20	19.96 $\pm$ 0.22 ^b	34.49 $\pm$ 0.43 ^b	8.10 $\pm$ 0.57 ^c	38.02 $\pm$ 0.06 ^b
	发 30	11.60 $\pm$ 0.18 ^e	36.11 $\pm$ 0.47 ^a	16.30 $\pm$ 0.56 ^b	36.70 $\pm$ 0.13 ^d

注:未处理组、发芽组添加量为 40%、50% 时均无法制备出面筋蛋白。

表 5 两种鹰嘴豆粉对对饅质构及感官评分的影响

Table 5 The effect of two kinds of chickpea powder on the texture and sensory score of Nang					
样品	添加量/%	硬度/g	胶着性/g	咀嚼性/mJ	感官评分/分
对照组	0	385.82 $\pm$ 18.12 ^a	173.02 $\pm$ 12.71 ^a	164.95 $\pm$ 11.25 ^a	76.64 $\pm$ 0.63 ^f
	10	555.93 $\pm$ 27.91 ^b	278.04 $\pm$ 23.83 ^b	256.82 $\pm$ 37.93 ^a	79.21 $\pm$ 0.84 ^e
未处理组	20	1 311.31 $\pm$ 67.83 ^c	572.11 $\pm$ 42.64 ^c	549.86 $\pm$ 24.39 ^b	84.60 $\pm$ 0.86 ^c
	30	1 754.26 $\pm$ 52.90 ^d	767.73 $\pm$ 58.46 ^d	703.95 $\pm$ 77.84 ^c	91.84 $\pm$ 1.26 ^b
	40	2 218.57 $\pm$ 141.62 ^e	1 063.10 $\pm$ 77.92 ^e	926.12 $\pm$ 57.13 ^d	82.96 $\pm$ 1.57 ^d
	50	2 611.08 $\pm$ 87.55 ^f	1 622.89 $\pm$ 25.11 ^f	1 103.14 $\pm$ 59.82 ^e	73.97 $\pm$ 0.93 ^g
发芽组	10	454.33 $\pm$ 33.17 ^a	186.52 $\pm$ 4.50 ^a	187.25 $\pm$ 8.83 ^a	80.64 $\pm$ 0.51 ^c
	20	851.60 $\pm$ 38.63 ^b	412.35 $\pm$ 20.33 ^b	425.54 $\pm$ 57.03 ^b	85.73 $\pm$ 0.71 ^c
	30	1 234.74 $\pm$ 114.45 ^c	531.33 $\pm$ 32.74 ^c	597.22 $\pm$ 70.9 ^c ^d	93.10 $\pm$ 1.33 ^a
	40	1 632.25 $\pm$ 105.30 ^d	757.95 $\pm$ 32.67 ^d	748.23 $\pm$ 24.86 ^d	79.71 $\pm$ 1.54 ^e
	50	2 186.93 $\pm$ 48.21 ^e	1 319.17 $\pm$ 54.53 ^e	1 005.78 $\pm$ 71.84 ^e	74.43 $\pm$ 1.45 ^g

3 结论

与未处理组相比,发芽鹰嘴豆粉取代率为10%~30%时对混合面团流变学特性影响程度较轻,面筋蛋白中的稳定结构(α -螺旋结构+ β -折叠结构)含量高,面团具有较高的稳定性。这说明在一定程度内,发芽鹰嘴豆粉对面团的流变学特性影响较小,能够较大程度保持面团原有体系。随着豆粉取代率超过30%后,混合面团的面团吸水率、峰值黏度、稳定性蛋白质结构含量显著降低,无法制备出面筋蛋白,面团微观结构完全被破坏(无法观测到面筋网络结构,只能观察到暴露在外的淀粉颗粒)。

在制备鹰嘴豆饅的过程中,鹰嘴豆粉取代率少(10%~20%)会使饅缺少特有的鹰嘴豆香气,但取代率过高(40%~50%)后会使饅的咀嚼性、硬度等感官特性变差。综上所述,当发芽鹰嘴豆粉添加量为30%时,可赋予鹰嘴豆饅良好的机械性能及加工品质,提升面制品的品质,该研究可为选择合适的处理手段提升鹰嘴豆面制品品质提供数据参考。

参考文献

- [1] SUN X Y, BU Z W, QIAO B Q, et al. The effects of wheat cultivar, flour particle size and bran content on the rheology and microstructure of dough and the texture of whole wheat breads and noodles [J]. Food Chemistry, 2023, 410: 135447.
- [2] 古丽乃再尔·斯热依力,阿衣古丽·阿力木,白羽嘉,等.复配改良剂对洋葱浆饅品质的影响[J].食品工业科技,2022,43(3):298-307.
- [3] 郑雁,林江涛,岳清华.鹰嘴豆和鹰嘴豆蛋白的特性及应用研究进展[J].中国油脂,2024,49(4):20-27.
- [4] FAROOQ Z, HUMMA. Selection of wheat variety for the development of composite flour naan with enhanced quality and storability [J]. Food Science and Technology Research, 2012, 18(6): 805-811.
- [5] 石尚,段庆奥,朱小萌,等.萌芽鹰嘴豆对魔芋粉条品质的影响[J].中国食品添加剂,2024,35(8):82-88.
- [6] 莫琼雪,孙江怡,校俊波,等.发芽处理对鹰嘴豆淀粉结构和理化性质的影响[J].食品科技,2023,48(1):212-219.
- [7] HAN J, ZHANG R, MUHEYATI D, et al. The effect of chickpea dietary fiber on lipid metabolism and gut microbiota in high-fat diet induced hyperlipidemia in rats [J]. Journal of Medicinal Food, 2021, 24(2): 124-134.
- [8] 侯贺丽,杨玲玲,王梦月,等.鹰嘴豆粉面包的加工工艺优化及品质分析[J].食品研究与开发,2022,43(9):48-55.
- [9] 张桦,钟金锋,雷凡,等.鹰嘴豆粉对面团流变学特性及面条品质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(1):171-176.
- [10] HEYMICH M L, FRIEDLEIN U, TROLLMANN M, et al. Generation of antimicrobial peptides Leg1 and Leg2 from chickpea storage protein, active against food spoilage bacteria and foodborne pathogens [J]. Food Chemistry, 2021, 347: 128917.
- [11] SINGH U. Antinutritional factors of chickpea and pigeonpea and their removal by processing [J]. Plant Foods Human Nutr, 1988, 38: 251-261.
- [12] 肖俊松,吴华,张亚歌.鹰嘴豆萌发过程中营养成分和抗营养因子的变化规律[J].食品科学,2011,32(23):134-138.
- [13] HE Y, XIANG J, CHEN J, et al. Improving bioaccessibility and bioavailability of isoflavone aglycones from chickpeas by germination and forming β -cyclodextrin inclusion complexes [J]. Pharmaceutics, 2023, 15(12): 2684.
- [14] DENISA A, OLIVIA A, GABRIELA G C. The impact of germinated chickpea flour addition on dough rheology and bread quality [J]. Plants, 2022, 11(9): 1225.
- [15] 李学红,李文举,郝楠楠,等.萌芽处理对鹰嘴豆粉营养成分及功能特性的影响[J].中国粮油学报,2021,36(10):43-49.
- [16] 仇成功,丁帅杰,李仙爱,等.全麦粉的添加对油饅面团品质的影响[J].食品科学,2022,43(18):55-61.
- [17] HU H, ZHOU X Y, ZHANG Y X, et al. Influences of particle size and addition level on the rheological properties and water mobility of purple sweet potato dough [J]. Foods, 2023, 12(2): 398.
- [18] 刘雨彤,付依萍,阿米拉·阿依塔洪,等.响应面法优化鹰嘴豆饅制备工艺[J].中国调味品,2024,49(12):137-142.
- [19] 郭平平,刘玉兰,朱文学,等.不同油莎豆粉及添加量对面团特性及面包品质的影响[J].粮食与油脂,2023,36(2):14-21.
- [20] SABANIS D, MAKRI E, DOXASTAKIS G. Effect of durum flour enrichment with chickpea flour on the characteristics of dough and lasagne [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(12): 1938-1944.
- [21] 杨波,王晓彤,周盛敏,等.亚麻籽粕对小麦面团特性的影响[J].上海理工大学学报,2023,45(2):145-152.
- [22] SOFI S A, SINGH J, MUZAFFAR K, et al. Effect of germination time on physico-chemical, functional, pasting, rheology and electrophoretic characteristics of chickpea flour [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2020, 14(5): 2380-2392.
- [23] 吴小红,宋洋波,冯晓宁,等.青稞粉对小麦面筋蛋白网络结构的影响[J].现代食品科技,2025,41(3):300-308.
- [24] MA S, WANG Z, LIU N, et al. Effect of wheat bran dietary fibre on the rheological properties of dough during fermentation and Chinese steamed bread quality [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2021, 56(4): 1623-1630.
- [25] CHANG, X, HUANG, X Y, TIAN X Y, WANG C Q, et al. Dynamic characteristics of dough during the fermentation process of Chinese steamed bread [J]. Food Chemistry, 2019, 312: 126050.
- [26] 李雪杰,张剑,郑文刚,等.小麦麸皮挤压加工对全麦粉面团及馒头的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(5):181-187.
- [27] 王军,程晶晶,王周利,等.黑小豆超微全粉对面团流变学特性及馒头品质的影响[J].中国食品学报,2019,19(1):103-110.
- [28] WANG S, OPASSATHAVORN A, ZHU F. Influence of quinoa flour on quality characteristics of cookie, bread and Chinese steamed bread [J]. Journal of Texture Studies, 2015, 46(4): 281-292.
- [29] PERESSINI D, SENSIDONI A. Effect of soluble dietary fibre

addition on rheological and breadmaking properties of wheat doughs [J]. Journal of Cereal Science, 2008, 49(2): 190-201.

[30] 刘依林,李冰,吴虹.复合改良剂对小麦面团特性及馒头品质的改善作用[J].现代食品科技,2022,38(8):199-207,96.

[31] DELCOUR A J, JOYE J I, PAREYT B, et al. Wheat gluten functionality as a quality determinant in cereal-based food products [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2012, 3(1): 469-492.

[32] ATUDOREI D, ATUDOREI O, CODINA G G. Dough rheological properties, microstructure and bread quality of wheat-germinated bean composite flour [J]. Foods (Basel, Switzerland), 2021, 10(7): 1542-1552.

[33] SUN X Y, BU Z W, QIAO B Q, et al. The effects of wheat cultivar, flour particle size and bran content on the rheology and microstructure of dough and the texture of whole wheat breads and noodles [J]. Food Chemistry, 2023, 418: 135447.