

陈凤莲, 吉语宁, 贺殷媛, 等. 稻米粉的添加对高筋粉面团力学特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(10): 54-60. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070157

CHEN Fenglian, JI Yuning, HE Yinyuan, et al. Effects of Rice Flour Addition on Mechanical Properties of High Gluten Flour Dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(10): 54-60. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070157

· 研究与探讨 ·

稻米粉的添加对高筋粉面团力学特性的影响

陈凤莲¹, 吉语宁¹, 贺殷媛¹, 刘琳琳¹, 张娜¹, 郭银梅¹, 窦新株¹, 李欣洋¹, 安然¹, 杨春华^{1,*}, 汤晓智^{2,*}

(1. 哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江哈尔滨 150076;

2. 南京财经大学, 江苏南京 210023)

摘要: 本文采用质构仪和电子型面筋仪 Glutograph-E 对米-面混合粉面团的质构特性、应力松弛以及面筋筋力的结果进行分析。从力学角度出发, 研究不同种类的稻米粉的添加量对高筋小麦粉面团筋力的影响。结果表明: 不同品种稻米粉的添加对混合粉面团的质构特性的影响差异性较大; 稻米-高筋小麦混合面团随稻米粉添加量的增加, (龙稻 5 号) LD5 和 (龙稻 19 号) LD19 的硬度均出现上升的趋势; 弹性方面稻米粉添加量在 40%, LD23 (龙稻 23 号) 出现明显的上升趋势, LD5 明显下降, 其余品种变化不大; 稻米粉添加量在 40% 时, 稻米粉的黏聚性和胶着性除 LD5 和 LJ46 (龙粳 46 号) 外, 均出现明显的下降; 稻米粉的添加量在 0%~40% 时, 各品种的稻米回复性均出现下降的趋势; 应力松弛方面, 稻米粉添加量增加至 40% 时, LD5、LD20 (龙稻 20 号)、LD25 (龙稻 25 号) 应力松弛时间较长, 意味着面团中有大的聚合物生成, 面团趋向于刚性; 面筋仪测定的拉伸值和回弹值所有稻米品种均呈现下降的趋势, 面团弹韧性和筋力增强。该研究为米-面混合制品的开发进一步奠定了良好的基础。

关键词: 稻米, 质构特性, 应力松弛, 面筋筋力

中图分类号: TS210.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2023)10-0054-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022070157

本文网刊:



Effects of Rice Flour Addition on Mechanical Properties of High Gluten Flour Dough

CHEN Fenglian¹, JI Yuning¹, HE Yinyuan¹, LIU Linlin¹, ZHANG Na¹, GUO Yinmei¹, DOU Xinlai¹,
LI Xinyang¹, AN Ran¹, YANG Chunhua^{1,*}, TANG Xiaozhi^{2,*}

(1. School of Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China;

2. Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China)

Abstract: In this paper, the texture characteristics, stress relaxation and gluten strength of rice flour mixed flour dough were analyzed by texture analyzer and electronic gluten analyzer Glutograph-E. From the point of view of mechanics, the effects of different kinds of rice flour on the gluten of high gluten wheat flour were studied. The results showed that the effects of different varieties of rice flour on the texture characteristics of mixed flour dough were different. The hardness of LD5 (Longdao 5) and LD19 (Longdao 19) of rice high gluten wheat mixed dough increased with the increasing of rice flour addition. In terms of elasticity, when the amount of rice flour added was 40%, LD23 (Longdao 23) showed an obvious upward trend, LD5 decreased significantly, and other varieties had little change. When the 40% rice flour was added, the cohesiveness and adhesiveness of rice flour decreased significantly except LD5 and LJ46 (Longjing 46). When the amount of rice flour was 0%~40%, the rice resilience of all varieties decreased. In terms of stress relaxation, when the amount of rice flour was increased to 40%, the stress relaxation time of LD5, LD20 (Longdao 20) and LD25 (Longdao 25) was longer,

收稿日期: 2022-07-14

基金项目: 中央支持地方高校改革发展资金人才培养项目; 国家重点研发计划 (2021YFD2100902-3); 黑龙江省科技重大专项资助 (2020ZX08B02); 国家自然科学基金面上项目 (31871747); 高校协同创新成果建设项目 (LJGXCG2022-088); 2022 年市科技计划自筹经费项目 (2022ZCZJCG011)。

作者简介: 陈凤莲 (1975-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 粮食谷物精深加工, E-mail: finesxm@163.com。

*** 通信作者:** 杨春华 (1972-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 大豆加工技术研究, E-mail: yangchunhua25295@126.com。

汤晓智 (1977-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 粮油食品绿色化加工, E-mail: warmtxz@nufe.edu.cn。

which meant that there was large polymer formation in the dough and the dough tended to be rigid. The tensile value and rebound value measured by the gluten meter showed a downward trend for all rice varieties, and the dough elasticity and strength increased. This research would lay a good foundation for further development of rice flour mixed products.

Key words: rice; texture characteristics; stress relaxation; gluten force

烘焙食品是世界主流食品,我国烘焙食品行业规模已经处于世界领先地位,传统意义上的面包主要的制作原料为小麦粉,但有许多人对含面筋蛋白的食物异常敏感,这种病症通常叫做麦胶性肠病,又称为乳糜泻^[1],而小麦粉中的麦胶蛋白和麦谷蛋白^[2]所形成的面筋网络结构在面包的制作中起着重要的作用。因此除小麦粉外,目前一些其他品种类的谷物被用于代替小麦粉,作为面包的基础成分逐渐成为一种趋势^[3-4],如 Kaszuba 等^[5]在黑小麦粉中添加麸皮粉,并对其面团品质进行研究,结果表明麸皮粉的添加对面团的形成产生了积极的影响。稻米作为主食之一,一直以来都作为主食存在于人们生活当中^[6],同时我国是水稻的主要发源地之一,全球范围内我国的水稻产量与种植面积均排在世界第一,总产量占世界总产量的 30% 左右^[7]。从营养学角度出发,稻米蛋白品质优于小麦蛋白和玉米蛋白^[8],其含有丰富的必需氨基酸^[9]和低致敏性^[10],且稻米中不含有面筋蛋白,可以被乳糜泻病人食用。但是由于稻米中面筋蛋白的确是^[11],会导致所形成的米团粘弹性比例失衡,最终成品起发不足、口感粗糙、缺乏嚼劲^[12]。而对于面包等发酵类面制品,影响最终产品质量的关键因素就是面团的形成是否良好^[13]。

面团的力学特性主要是指在机械力学特性的作用下,面团的各个部分的相对位置发生变化。由于面团的外因或内在缺陷,并产生较为明显的“形变”的过程,通过质构特性、应力松弛以及面筋筋力面团等指标对面团的相关的性质进行测定并分析。Chen 等^[14]在研究中表示工业面团生产的一个重要环节是压片或滚压过程,并研究开发了一种计算设计工具,改善在这个过程中马铃薯面团的机械性能,以确保马铃薯面团的压片过程顺畅。Mohammed 等^[15]通过研究面团、面筋和淀粉的机械行为,来讨论面包面团是否可以作为两相(淀粉和面筋)复合材料处理。由此可见,力学特性是面团研究中必不可少且具有说服力的一种研究方式,并在面团中的应用十分广泛。

不同品种稻米的直链淀粉和蛋白含量具有一定的差异性,因此本文选取了 6 个不同品种的稻米为实验原材料,着眼于稻米粉的添加对高筋小麦粉面团筋力力学特性的影响规律的研究,将稻米粉与小麦粉进行一定比例的混合后,选用质构仪和电子型面筋仪 Glutograph-E 对混合体系面团的质构特性、面筋筋力和应力松弛的变化进行分析,从而获得不同品种稻米粉对高筋粉面团力学影响的差异性,以及稻米粉的添加对高筋粉面团力学特性的影响规律。黑龙江作为水稻的主产的省份,在此背景下,本文主要选用

了黑龙江省常用的 6 种稻米品种,以期稻米粉替代或部分代替高筋粉的米面包类制品的开发奠定良好的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

香雪特精粉 中粮集团(沈阳)有限公司;龙稻 5 号(LD5) 黑龙江省肇东市;龙稻 19 号(LD19) 黑龙江省哈尔滨市道外区民主乡;龙稻 20 号(LD20) 黑龙江省肇东市;龙稻 23 号(LD23) 黑龙江省哈尔滨市阿城区;龙稻 25 号(LD25) 黑龙江省肇源县;龙粳 46 号(LJ46) 黑龙江省齐齐哈尔市;香雪特精粉(小麦粉) 中粮面业(秦皇岛)鹏泰有限公司;不同品种稻米组分及相关研究内容参见课题组前期的研究成果^[16]。

Farinograph- E 型粉质仪 德国布拉本德公司;TA.new plus 质构仪 上海瑞玢国际贸易有限公司;FC2K 型砬谷机 日本大竹公司;VP-32 型精米机 日本 Yamamoto 公司;JXFM110 型锤式旋风磨 上海嘉定粮油仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 稻米及原辅料预处理 选取不同种黑龙江粳稻先经过砬谷机去壳,然后精米机处理剖光,再由锤式旋风磨磨成粉状,过 80 目筛,180 μm ,用 PE 自封袋进行封装处理,放在 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中备用^[17]。

1.2.2 混合面团的制备 将稻米粉分别与高筋小麦粉(香雪小麦粉)按以下比例进行混合,稻米粉的占比(湿基)为:0、10%、20%、30%、40%。采用布拉本德粉质仪进行面团调制,其稠度最大值的范围在 480~520 FU,将得到的面团经过天平称量后制成 7 g,直径 20 mm,高 20 mm 的模型,面团在挤压的情况下探头不会露出。

1.2.3 面团质构特性测定 采用 1.2.2 方法对面团采用质构仪进行进行质地剖面分析(TPA)测定,在 TPA 曲线上可以得到以下五个参数值:硬度、弹性、黏聚性、胶着性、回复性。测定参数如下^[18]:

测试探头: P/35,操作模式: 压力测定,压缩率: 50.00%,两次压缩之间时间间隔: 5.00 s,测试前速率: 1.00 mm/s,测试速率: 1.00 mm/s,测试后速率: 1.00 mm/s,接触点感应力: 5.00 g。

1.2.4 面团应力松弛测定 对于混合面团应力松弛的测定使用的面团大小同 1.2.2,对面团进行保鲜膜包裹且在室温下静置 5 min。采用质构仪对混合面团松弛实验进行三次平行实验。在压缩量达到 60% 时,停止探头工作,持续 90 s 后可以得到压力与

时间变化的关系曲线,随着时间的延长曲线逐渐趋于平缓,实验结束。测定参数如下^[18]:

测试探头: P/35, 操作模式: 压力测定, 试验类型: 松弛测试, 压缩率: 60.00%, 释放时间: 90.00 s, 测试前速率: 1.00 mm/s, 测试速率: 1.00 mm/s, 测试后速率: 1.00 mm/s, 接触点感应力: 5.00 g。

1.2.5 面筋筋力的测定 采用的德国 Brabender 粉质仪进行面团的调制。称取 3 g 混合后的面团(面团的最高稠度在 500±20 FU 范围内)采用电子型面筋仪 Glutograph-E 进行测定, 设置参数分别为拉伸角度 800 BU(1°=18.868 BU=22.756 Digits), 拉伸时间 125 s, 松弛时间 10 s, 负荷为 200 cmg, 而后对松弛 20 min 的面团样品进行测定。

1.3 数据处理

采用 Excel 2007 和 Origin 8.5 对数据进行整

理。采用 SPASS 12.0 进行方差和显著性分析, 统计学分析选择 Duncan 检验, 检测水平 $P<0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 稻米粉的添加对高筋小麦粉面团质构特性的影响

TPA 实验过程中会有两次压缩, 第一次压缩会使样品发生破裂且变形, 会出现第一个明显的峰, 此时的峰值为硬度^[19]。面团的硬度对于面包的成品具有很大的影响, 硬度的大小影响着成品的外观及口感, 是十分重要的指标。由图 1a 可得, 不同品种稻米粉混合面团的硬度随着稻米粉的添加量的增加, 具有较大差异。其中 LD25 和 LJ46 具有较明显差异, 随着稻米粉添加量在 0%~40% 时的混合面团, LD25 呈先下降, 后明显上升再下降的趋势, 在 30% 处达到顶峰。而 LJ46 呈现先上升后缓慢下降的趋势, 这有可能是由于 LJ46 为粳米, 韧性较强所导致的。在添

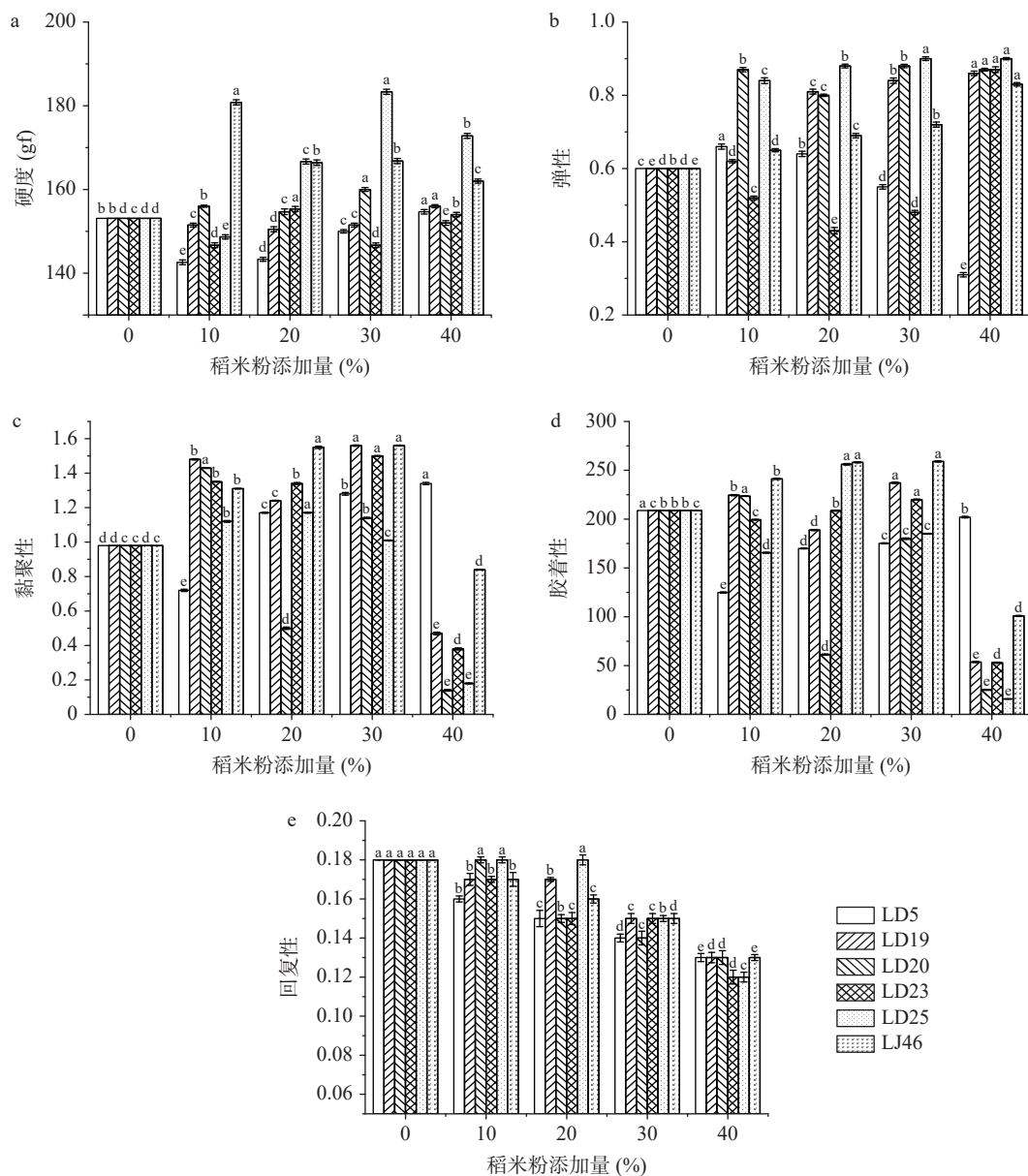


图 1 稻米粉添加量对混合面团质构特性的影响

Fig.1 Effect of rice flour addition on texture characteristics of mixed dough

注: 不同小写字母表示数据间差异性显著($P<0.05$)。

加量为 10% 时, LD5、LD19、LD23、LD25 的混合面团硬度都有所下降, LD20 硬度略微提升, LJ46 硬度明显提升且混合面团硬度达到最大值; 在添加量上升至 20% 时, LD23 和 25 混合面团的硬度有所上升, 而 LJ46 混合面团硬度开始下降, 其余变化不明显; 在添加量达到 30% 时, 除 LD23 外, 其余混合面团硬度都有所上升, 此时 LD20、25 混合面团的硬度达到最大值; 当添加量达到 40% 时, LD25 和 LJ46 混合面团的硬度有所下降, 但仍高于空白面团, LD20 混合面团硬度也有所下降, 其余都略有提升。随着稻米粉添加量增加的过程中, 以 LJ46 的变化尤为显著 ($P<0.05$), 这可能是由于 LJ46 的损伤淀粉含量较少, 形成混合面团时, 由于淀粉颗粒的膨胀作用, 随其添加量的增多, 硬度逐渐下降, 故 LJ46 与其他品种相比不适用于米面混合面团。

随着压缩的进行, 样品呈现出回弹能力^[20] 在进行第二次压缩时, 曲线出现第二个峰值, 弹性为第二个峰值与第一个峰值之比。弹性在面包的制作中, 是至关重要的指标之一。稻米粉中的蛋白与面筋蛋白不同^[13], 无法形成网络结构, 这使其无法拥有良好弹性。由图 1b 可知, 稻米粉的添加量对弹性影响较大, 在稻米粉添加量在 0%~40% 时, LD5 出现明显的下降趋势, 且在 40% 添加量时比 0% 添加量更低。LD23 在 10%~30% 添加量时比 0% 添加量低, 但在 40% 时出现明显的上升趋势。当稻米粉添加量达到 10% 时, LD20 和 LD25 的弹性有明显上升趋势; 当添加量升至 20% 时, LD19、25 和 LJ46 依旧逐渐上升; 当添加量从 20% 至 40% 时, 除 LD5 外, 其余混合面团弹性逐渐趋于稳定上升趋势, 且 LD23 的上升幅度最为显著 ($P<0.05$), 用其他品种的稻米粉制作混合面团, 将会获得更好的弹性。总体来说, 随稻米粉的添加混合粉面团的弹性略有提升, 该实验结果与我们前期的基础流变学的研究结果相一致^[21-22]。

黏聚性即将样品进行两次压缩的过程中所做的功进行比值计算, 得到的为黏附性^[23], 表示形成食品形态所需内部结合力的大小。由图 1c 可知, 随着稻米粉添加量由 0% 升至 30%, 各品种黏聚性均有所上升, 在添加量为 40% 时出现骤然性下降, 这说明米粉在高添加量时对混合粉面团的黏聚性会有一个质变的影响。LD5 除外, 一直保持上升的趋势, 这与其弹性所得到的实验数据正好相反, 分析原因有可能是其质变的拐点在更高的添加量处。LD23、LD25 和 LJ46 随着稻米粉添加量的增加, 均呈现先上升后下降的趋势, LD19 和 LD20 稻米粉的混合面团黏聚性都呈现先上升后下降而后上升再下降趋势。

在进行质构的测定时样品主要分为固体和半固体两种, 咀嚼性存在于固体和半固体之间, 而胶着性则存在于半固体的样品中; 胶着性的计算是由硬度和黏聚性乘积而得, 咀嚼性则由硬度、黏聚性和弹性乘积得出^[24-26]。本研究对象为面团, 典型的半固体, 因此本次实验选取胶着性为考察指标^[27]。由图 1d 可

知, 当稻米粉添加量在 10%~30% 之间时, 混合面团的胶着性整体略有升高, 但变化不大; 随着添加量逐渐趋于 40% 时, 除 LD5 外, 其余品种的混合面团胶着性均迅速递减, 说明发生了显著性变化, 且胶着性变化趋势与黏聚性相近。

随着压缩过程的进行, 样品会呈现出其回弹能力, 回复性通常用样品释放的弹性和探头压缩时的能量之比表示。由图 1c 可知, 随着稻米粉添加量的加大, 混合面团的回复性逐渐呈下降趋势, 可能是由于随着稻米粉添加量的增多, 降低了小麦面团的面筋蛋白含量, 从而影响了其结构与特性, 回复性逐渐降低, 说明稻米粉的添加对混合面团的回复性影响较大。

2.2 稻米粉的添加对高筋小麦粉面团应力松弛的影响

应力松弛反映了高聚物内部分子的运动的, 在外力作用下, 高分子链段不得不顺着外力方向被迫舒展因而产生内部应力, 与外力相抗衡, 但是, 链段热运动使有些缠结点散开导致分子链产生相对滑移, 分子构象被调整, 逐渐恢复其蜷曲状态, 内应力逐渐消除, 与之相平衡的外力也逐渐衰减, 由此维持恒定的形变 (详见图 2)。添加不同品种的稻米混合面团应力松弛时间如下表 1 所示。由表 1 可得出随着稻米粉添加量的增加, 混合粉面团应力松弛时间整体呈上升趋势, 说明稻米粉的添加会使混合粉中面筋蛋白的质量和数量都发生了变化, 由此改变混合粉的质量^[28]。Rao 等^[29] 研究表明松弛时间较长意味着面团中有大的聚合物生成。Bhattacharya^[30] 在研究阿拉伯胶等因素对米团流变学的影响中指出, 松弛时间较高通常

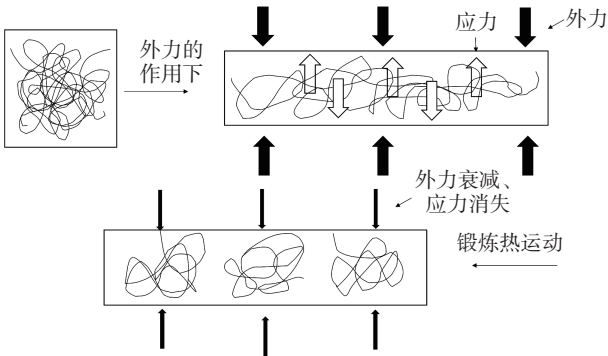


图 2 线性聚合物应力松弛过程的分子机理

Fig.2 Molecular mechanism of stress relaxation process of linear polymer

表 1 稻米粉添加量对混合面团应力松弛时间的影响

Table 1 Effect of rice flour addition on stress relaxation time of mixed dough

品种	添加量(%)			
	10	20	30	40
LD5	4.00	3.18	4.01	5.32
LD19	3.72	3.80	3.92	4.03
LD20	3.10	2.93	4.47	5.46
LD23	4.39	3.10	6.99	4.78
LD25	3.72	5.04	4.24	5.32
LJ46	2.89	3.87	4.41	4.41

具有趋向于固体的刚性特征。综上说明稻米粉的添加增加了面团的刚性。

2.3 稻米-小麦混合粉体系筋力的变化规律

由图 3 和图 4f 可以看出, 小麦粉面团的剪切偏

转角度最大, 筋力最弱, 随稻米粉添加量的增加面团抗扭阻力增大, 剪切偏转角度减小, 面团筋力增大, 当相同品种的稻米粉添加量为 50% 时, 面团抗扭阻力最大, 面团筋力最强。LD5 号添加量为 10% 和 20%

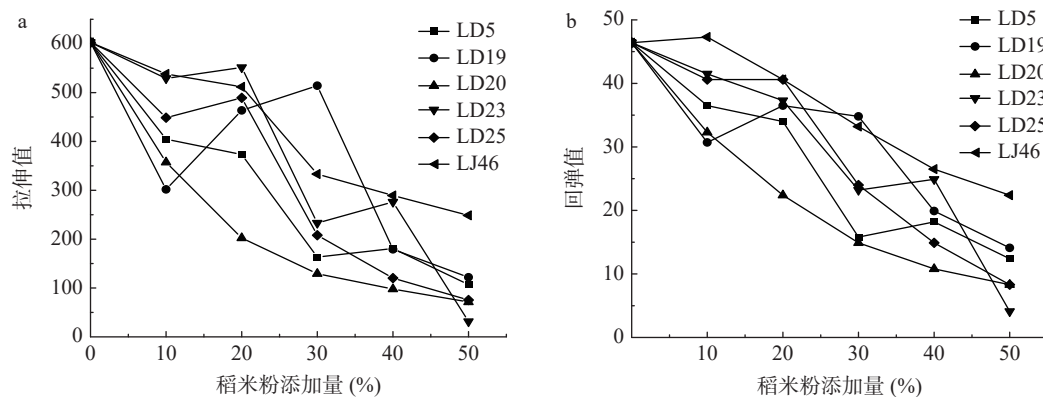


图 3 稻米粉添加量对混合粉面团筋力的影响

Fig.3 Effect of rice flour addition on gluten strength of mixed flour dough

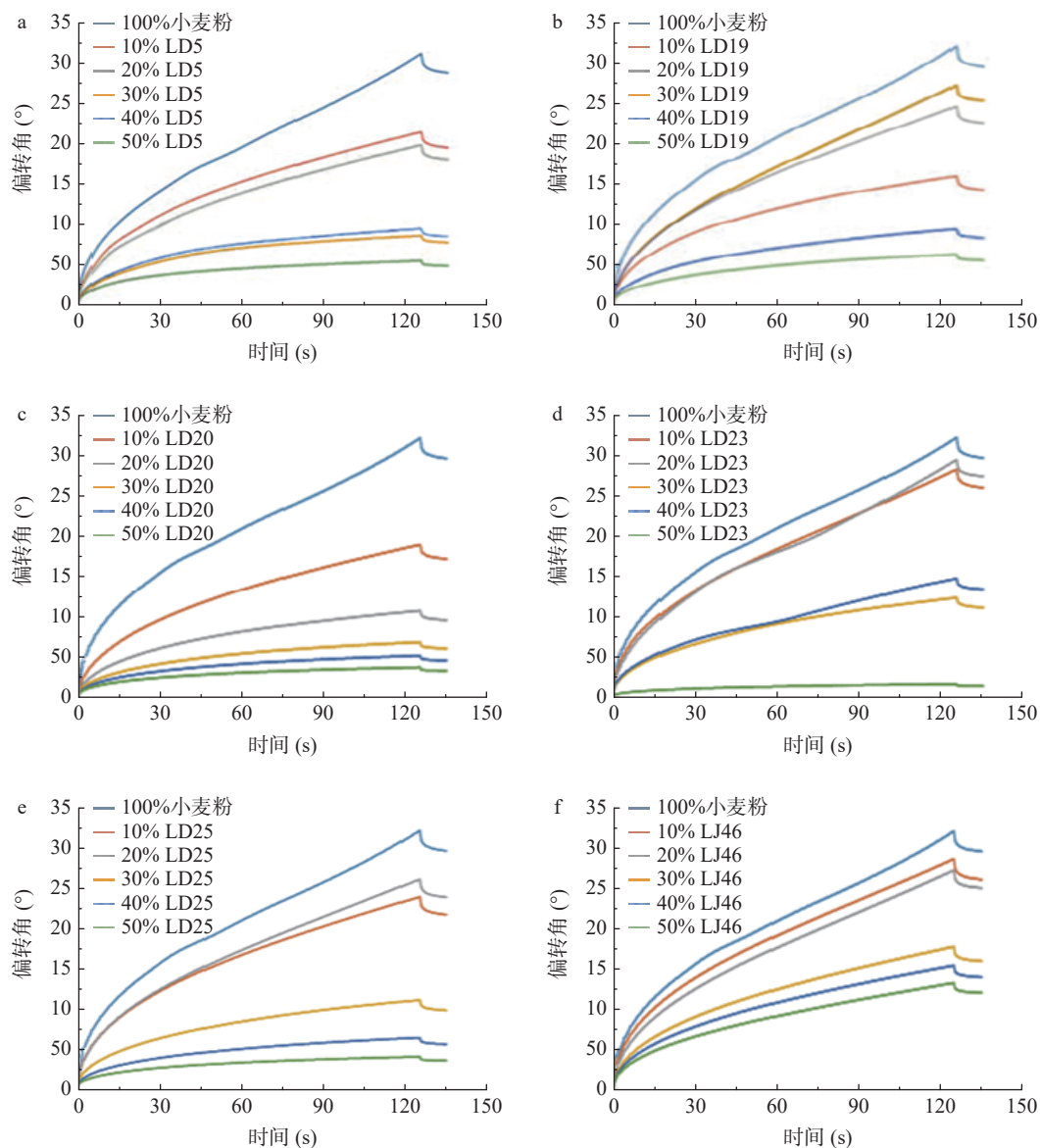


图 4 不同稻米粉添加量的筋力曲线

Fig.4 Gluten curve of different rice flour addition

时,面团抗扭阻力变化幅度较小,当稻米粉添加量大于 20% 时,面团的抗扭阻力大大增加,30%、40% 和 50% 的变化幅度较小。当 LD19 号添加量 20% 为和 30% 时,面团抗扭阻力较小,剪切偏转角度较大,面团筋力较小,在添加量为 50% 时,面团抗扭阻力最大,剪切偏转角度最小,面团筋力最大。当 LD20 添加量为 10% 时,面团抗扭阻力相比较于 100% 小麦粉的抗扭阻力大大增大,当添加量大于 20% 时,面团抗扭阻力逐渐增大,剪切偏转角度逐渐减小,面团筋力逐渐增大,但 30%、40% 和 50% 的添加量面团筋力变化较小。当 LD23 添加量为 10% 和 20% 时,两者的剪切偏转角度相差不大,并略有起伏,随稻米粉添加量增加,面团抗扭阻力增大,当稻米粉添加量为 30% 和 40% 时,两者剪切偏转角度相近,当添加量为 50% 时,面团抗扭阻力增幅最大,面团剪切偏转角度最小,面团抗扭阻力最大,面团筋力最强。LD25 添加量为 20% 时,面团抗扭阻力最小,当稻米粉添加量大于 20% 时,随稻米粉添加量的增加,面团抗扭阻力增幅较大,剪切偏转角度较小,面团筋力增强。由图 3 和图 4f 可以看出,变化幅度较为规律,随着稻米粉添加量的增大,抗扭阻力增大。当稻米粉添加量为 10% 和 20% 时,面团抗扭阻力较小,当稻米粉添加量 30% 时,面团抗扭阻力增幅较大。由图 3 可知不同品种相互之间比较时可以看出,添加量 50% 时, LJ46 的拉伸值和回弹值均高于其他品种的稻米粉,这可能是由于不同品种的梗米的其蛋白和淀粉的质量和数量略有差异,导致添加 LJ46 拉伸值和回弹值相对来说要高,说明面团的抗扭矩阻力较小,面团筋力较弱。

综上,不同比例梯度的稻米-小麦混合粉体系形成的面团与 100% 小麦粉形成的面团相比抗扭阻力增大,拉伸值和回弹值均呈现下降的趋势,剪切偏转角度减小,面团弹韧性和筋力增强。这应该与米粉中含量较多的米谷蛋白有一定的关系^[31]。将稻米粉添加到小麦粉中,必然改变其化学成分,如果将面团看成一个黏弹体,小麦粉中决定面团黏弹特性的主要因素为面筋蛋白,因此推断最终使混合粉团黏弹特性改变的应该主要也是其蛋白的作用。该实验结果与 Sivaramakrishnan 等^[32]的研究相一致。

3 结论

稻米-高筋小麦混合面团随稻米粉添加量的增加, LD5 和 LD19 的硬度均出现上升的趋势、弹性方面除 LD5 均表现较为良好,添加量在 40% 时,黏聚性和胶着性 LD5 和 LJ46 呈现较高的趋势,而回复性呈现整体下降趋势;应力松弛时间整体呈上升趋势,趋向于刚性增加;面筋仪测定的拉伸值和回弹值均呈现下降的趋势,面团弹韧性和筋力增强。这有可能是由于随着添加量的改变,稻米中的米谷蛋白对其面团的内部结构引起的变化,综合以上结论,稻米粉添加到小麦粉中与其它谷物对小麦粉面团的影响具

有差异性,虽然米粉的添加会降低混合粉面团的回复性,说明其回弹性较差,但是面团的韧性和刚性不但不会减少,反而会增加,且研究表明添加 LD23 后的混合面团,弹性的上升幅度最为显著。该研究可以为稻米粉的改良提供良好的理论基础,以拓宽稻米的精深加工性能,为更进一步的用米粉代替面粉提出更多的想法和建议,延长产业链。

参考文献

- [1] BIBBINS-DOMINGO K, GROSSMAN D C, CURRY S J, et al. Screening for celiac disease: US Preventive Services Task Force recommendation statement[J]. *Jama*, 2017, 317(12): 1252-1257.
- [2] OSBORNE N N, RUCHEL R. Fractionation of proteins from single neurons of *Planorbis corneus* by micro-electrophoresis on SDS-gradient polyacrylamide gels[J]. *Journal of Chromatography A*, 1975, 105(1): 197-200.
- [3] 徐蕴山, 陈弘, 杨勇, 等. 关于稻米适度加工技术问题的探讨[J]. *黑龙江粮食*, 2014(8): 47-49. [XU Y S, CHEN H, YANG Y, et al. Discussion on rice moderate processing technology[J]. *Heilongjiang Grain*, 2014(8): 47-49.]
- [4] 陈凤莲, 李鑫铭, 石彦国, 等. 快速发酵法稻米面包的制备研究[J]. *哈尔滨商业大学学报(自然科学版)*, 2019, 35(1): 49-55. [CHEN F L, LI X M, SHI Y G, et al. Study on preparation of rice bread by rapid fermentation[J]. *Journal of Harbin University of Commerce (Natural Science Edition)*, 2019, 35(1): 49-55.]
- [5] KASZUBA J, KAPUSTA I, POSADZKA Z. Content of phenolic acids in the grain of selected polish triticales cultivars and its products[J]. *Molecules*, 2021, 26(3): 562.
- [6] CAROCHO M, MORALES P, CIUDAD-MULERO M, et al. Comparison of different bread types: Chemical and physical parameters[J]. *Food Chemistry*, 2020, 310(Apr. 25): 125954.1-125954.8.
- [7] 冀迎昕, 郑颢衣, 李艳平, 等. 低蛋白调制稻米的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(2): 342-346, 356. [JI Y X, ZHENG Y Y, LI T P, et al. Research progress of low protein modulation in rice[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(2): 342-346, 356.]
- [8] 王正旋. 大米蛋白体外消化及抗氧化作用效果的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017. [WANG Z X. Study on *in vitro* digestion and antioxidant effect of rice protein[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017.]
- [9] 杨振东. 大米活性肽研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2009(12): 39-42. [YANG Z D. Research progress of rice active peptide[J]. *Grain and Fat*, 2009(12): 39-42.]
- [10] 杨晴晴. 高赖氨酸转基因水稻的营养评价及代谢关联研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016. [YANG Q Q. Study on nutritional evaluation and metabolic association of transgenic rice with high lysine[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016.]
- [11] 胡健. 半干江西米粉的制备及其保鲜储藏研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2018. [HU J. Preparation and preservation of semi-dried Jiangxi rice noodles[D]. Nanchang: Nanchang University, 2018.]
- [12] TAKEI R, MARUYAMA K, WASHIO H, et al. Effects of rheological properties of rice dough during manufacture of rice cracker on the quality of the end product[J]. *Journal of Texture Studies*, 2019, 50(2): 139-147.
- [13] ROPCIUC S, OROIAN M, LEAHU A, et al. Evaluation of the rheological properties of the dough and the characteristics of the bread with the addition of purple potato[J]. *Ovidius University An-*

nals of Chemistry, 2021, 32(2): 125–131.

[14] CHEN K J, WOOD J D, MOHAMMED I K, et al. Mechanical characterisation and modelling of the rolling process of potato-based dough[J]. *Journal of Food Engineering*, 2020, 278: 109943.

[15] MOHAMMED M, TARLETON E, CHARALAMBIDES M N, et al. Mechanical characterization and micromechanical modeling of bread dough[J]. *Journal of Rheology*, 2013, 57(1): 249.

[16] HE Y, CHEN F, SHI Y, et al. Physico-chemical properties and structure of rice cultivars grown in Heilongjiang Province of China[J]. *Food Science and Human Wellness*, 2021, 10(1): 45–53.

[17] 陶海腾, 王文亮, 程安玮, 等. 收获期对小麦粉面团流变学特性的影响[J]. *麦类作物学报*, 2011, 31(6): 1089–1093. [TAO H T, WANG W L, CHENG A W, et al. Effect of harvest time on rheological properties of wheat flour dough[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(6): 1089–1093.]

[18] 黄正芬. 猪皮蛋白粉的理化、功能特性及其应用研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014. [HUANG Z F. Physicochemical, functional properties and application of porcine skin protein powder [D]. Nanning: Guangxi University, 2014.]

[19] 杨金生, 夏松养, 方益, 等. 梭子蟹 TPA 质构分析及不同冻藏温度下对其品质的影响[J]. *食品科技*, 2011, 36(3): 129–131, 135. [YANG J S, XIA S Y, FANG Y, et al. TPA texture analysis of Swimming crab and its effects on its quality under different freezing temperatures[J]. *Food Science and Technology*, 2011, 36(3): 129–131, 135.]

[20] 于济洋, 李新华, 王琳, 等. 菊芋全粉凝胶特性的比较研究[J]. *核农学报*, 2014, 28(3): 478–484. [YU J Y, LI X H, WANG L, et al. Comparative study on gel properties of Jerusalem artichoke powder[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2014, 28(3): 478–484.]

[21] 陈凤莲, 管哲贤, 孙贵尧, 等. 稻米-小麦混合粉体系流变学特性研究[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(6): 12. [CHEN F L, GUAN Z X, SUN G Y, et al. Rheological characteristics of rice-wheat mixed powder system[J]. *Chinese Journal of Food Science*, 2020, 20(6): 12.]

[22] 贺殷媛, 陈凤莲, 李欣洋, 等. 稻米-高筋小麦混合粉面团的静态和动态流变学特性[J]. *食品科学*, 2022, 43(9): 30–38. [HE Y Y, CHEN F L, LI X Y, et al. Static and dynamic rheological properties of doughs made from rice and high-gluten wheat flour

blends[J]. *Food Science*, 2022, 43(9): 30–38.]

[23] 王海鸥, 姜松. 质构分析 (TPA) 及测试条件对面包品质的影响[J]. *粮油食品科技*, 2004(3): 1–4. [WANG H O, JIANG S. qualitative analysis (TPA) and test conditions across the quality of the quality of the product[J]. *Food and Oil Food Technology*, 2004 (3): 1–4.]

[24] LAU M H, TANG J, PAULSON A T. Texture profile and turbidity of gellan/gelatin mixed gels[J]. *Food Research International*, 2000, 33(8): 665–671.

[25] BAYARRI S, LUIS D, IZQUIERDO L, et al. Effect of substitution of aspartame for sucrose on instrumental texture profile of hydrocolloids gelled systems[J]. *European Food Research and Technology*, 2005, 220(1): 25–30.

[26] SURÓWKA K. Effect of protein hydrolysate on the instrumental texture profile of gelatin gels[J]. *Journal of Texture Studies*, 1997, 28(3): 289–303.

[27] LU X, BRENNAN M A, SERVENTI L, et al. Incorporation of mushroom powder into bread dough-effects on dough rheology and bread properties[J]. *Cereal Chemistry*, 2018, 95(3): 418–427.

[28] 陈洁, 张智勇, 李璞, 等. 马铃薯生全粉-小麦粉混粉面团特性研究[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(1): 1–7.

[CHEN J, ZHANG Z Y, LI P, et al. Study on the characteristics of potato raw whole flour and wheat flour mixed dough[J]. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 42(1): 1–7.]

[29] RAO V K, MULVANEY S J, DEXTER J E. Rheological characterisation of long-and short-mixing flours based on stress-relaxation[J]. *Journal of Cereal Science*, 2000, 31(2): 159–171.

[30] BHATTACHARYA S. Rheological characterization and modeling of rice flour dough: Effect of parboiling time, moisture content and gum arabic[J]. *Journal of Texture Studies*, 2012, 43(5): 400–412.

[31] MATOS M E, ROSELL C M. Quality indicators of rice-based gluten-free bread-like products: Relationships between dough rheology and quality characteristics[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2013, 6(9): 2331–2341.

[32] SIVARAMAKRISHNAN H P, SENGE B, CHATTOPADHYAY P K. Rheological properties of rice dough for making rice bread[J]. *Journal of Food Engineering*, 2004, 62(1): 37–45.