

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.06.006

李逸, 田晓红, 王佳雅, 等. 小麦粉品质特性与发面饼加工品质关系的研究[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6): 50-58.

LI Y, TIAN X H, WANG J Y, et al. Study on the relationship between wheat flour quality characteristics and processing quality of leavened pancake[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(6): 50-58.

小麦粉品质特性与发面饼加工品质关系的研究

李逸^{1,2}, 田晓红², 王佳雅³, 姜平², 谭斌^{2,4}✉

- (1. 河南工业大学 粮食和物资储备学院, 河南 郑州 450001;
2. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油加工研究所, 北京 100037;
3. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油质量检验测试中心, 北京 100037;
4. 中原食品实验室, 河南 漯河 462300)

摘要: 为发面饼工业化加工选取合适的小麦粉原料, 选取了湿面筋含量为 24.4%~32.7%的 12 个小麦品种, 测定了小麦粉的理化特性、粉质特性、粘度特性、发酵流变特性, 分析了小麦粉特性与发面饼品质之间的相关性。结果表明: 随着湿面筋含量的升高面团的发酵高度、总体积、保留系数 (R) 及发面饼的比容都随之增加 ($P<0.05$), 而发面饼的最大剪切力呈现出先增加后减小的趋势, 感官评价得分呈现出先减小后增加的趋势。通过相关性分析可知, 小麦粉的湿面筋含量、峰值粘度、最低粘度、最终粘度、回生值、峰值时间、粉质质量指数、最大发酵高度 (H_m)、最终发酵高度 (h) 与发面饼的比容呈显著正相关, 淀粉含量和面筋指数与发面饼的比容呈负相关; 小麦粉的淀粉含量和蛋白质含量与发面饼的最大剪切力呈负相关, 湿面筋含量与发面饼的最大剪切力呈正相关。湿面筋含量在 30.0%~33.0%且面筋指数在 70~78、粉质质量指数在 58.5~69.5、 H_m 在 38.1~55.1 mm 和 R 在 95%以上的小麦粉比较适于制作发面饼。

关键词: 小麦粉; 面筋; 糊化特性; 粉质特性; 发酵流变特性; 发面饼品质

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)06-0050-09

网络首发时间: 2024-05-29 17:25:47

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240529.1032.002>

Study on the Relationship between Wheat Flour Quality Characteristics and Processing Quality of Leavened Pancake

LI Yi^{1,2}, TIAN Xiao-hong², WANG Jia-ya³, JIANG Ping², TAN Bin^{2,4}✉

- (1. School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Grain and Oils Processing Research Institute, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China; 3. Grain and Oils Quality Inspection and Testing Center, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China;
4. Zhongyuan Food Laboratory, Luohe, Henan 462300, China)

收稿日期: 2024-02-19

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目 (2021YFD2100203)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th five-year plan, China (No. 2021YFD2100203)

第一作者: 李逸, 男, 1997 年出生, 在读硕士生, 研究方向为方便主食品加工, E-mail: 15516329902@163.com

通信作者: 谭斌, 男, 1972 年出生, 博士, 首席研究员, 研究方向为健康谷物 (全谷物) 食品的营养预加工, E-mail: tb@ags.ac.cn

Abstract: In order to select suitable wheat flour raw materials for industrial processing of dough, 12 wheat varieties with a wet gluten content of 24.4%~32.7% were selected. The physicochemical properties, flour properties, viscosity properties, and fermentation rheological properties of wheat flour were measured, and the correlation between wheat flour properties and dough quality was analyzed. The results showed that as the wet gluten content increased, the fermentation height, total volume, retention coefficient (R), and specific volume of the dough all increased ($P<0.05$). The maximum shear force of dough showed a trend of first increase and then decrease, while the sensory evaluation score showed a trend of first decrease and then increase. Through correlation analysis, it was found that the wet gluten content, peak viscosity, minimum viscosity, final viscosity, retrogradation value, peak time, flour quality index, maximum fermentation height (Hm), and final fermentation height (h) of flour were significantly positively correlated with the specific volume of the dough, while the starch content and gluten index were negatively correlated with the specific volume of the dough. The starch and protein content of flour were negatively correlated with the maximum shear force of dough, while the wet gluten content was positively correlated with the maximum shear force of dough. Wheat flour with a gluten content of 30.0%~33.0%, a gluten index of 70~78, a flour index of 58.5~69.5, an Hm of 38.1~55.1 mm, and an R of over 95% could be more suitable for making leavened pancakes.

Key words: wheat flour; gluten; gelatinization properties; powder properties; fermentation rheological properties; quality of leavened pancak

发面饼是以小麦粉为主要原料,经和面、搅拌、发酵和煎烙而成。发面饼具有柔软松口、含油量低、制作成本低、食用方便的特点,无论是单独作为主食还是制作成饼夹肉、肉夹馍等都受到消费者的喜爱,是我国的传统发酵面制品之一,在主食中占有重要的地位。小麦的品质特性决定着面制品的加工品质和食用品质^[1]。现有研究发现,小麦粉的溶剂保持率、湿面筋含量、沉降值、峰值黏度、形成时间、稳定时间和粉质质量指数较高时,制备的烩面硬度和咀嚼性较大^[2]。邓丽丽等^[3]研究发现蛋白质含量与馒头的比容呈极显著正相关,而与馒头结构、外观形状、弹韧性、黏性和总评分均呈极显著负相关;湿面筋含量与馒头比容呈显著正相关,与黏性呈显著负相关;高蛋白质含量有利于增加馒头比容,降低硬度,但不利于馒头良好外观、结构和弹韧性的形成。Song 等^[4]研究发现直链淀粉与馒头的品质有显著性影响,短直链淀粉的长度与馒头的硬度和咀嚼性呈负相关,与弹性呈正相关。目前,我国对传统煎烙类主食的发展越来越重视,但煎烙类发酵面制品的原料选择研究鲜有报道。根据目前国内大多数的专家学者认为小麦粉的湿面筋含量和面筋品质是影响面制品品质的重要条件,如低筋

小麦粉、中筋小麦粉和高筋小麦粉分别用于糕点、馒头和面条、面包等,本文中的发面饼为我国的传统发酵面制品,选用了 12 个不同湿面筋含量的小麦品种,研究何种类型的小麦粉适宜于发面饼的加工。通过分析小麦粉品质对发面饼的加工品质和食用品质的影响,建立两者之间的相关性,以为发面饼的原料选择提供参考,为其工业化提供理论和数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

小麦:百农 207(2号),周麦 22(3号),郑麦 379(5号),矮抗 68(10号):河南省农业科学院;中麦 578(6号),铁杆大穗王(11号):中国农业科学院;农大 171(4号),农大 179(147)(7号),农大 179(658)(8号),农大 838(9号):中国农业大学小麦研究中心;新麦 26(1号):河南省新乡市农业科学院;济麦 22(12号):山东省农业科学院;安琪酵母、中盐食盐、鲁花花生油:市售。

1.2 仪器与设备

LSM20 实验磨粉机:河南茂盛机械制造有限公司;ASRTORIOS 石英红外水分测定仪:德国

赛多利斯集团; RapidN 杜马斯快速定氮仪: 德国 ELEMENTAR 公司; GM2200 面筋仪: 瑞典波通仪器公司; JFZD 粉质仪、JHMZ 200 和面机、JXFD 7 X 醒发箱、JCXZ 面团成型机: 北京东孚久恒仪器技术有限公司; RheoF4 流变发酵仪: 法国肖邦技术公司; RVA-4500 快速粘度分析仪: 澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司; JC30RQ01 接触烤架 (煎烤机): 浙江苏泊尔股份有限公司; TA-XTPLUS 物性仪: 英国 Stable Micro Systems 公司; PYRAMID TX 马弗炉: 北京皮尔美特科技有限公司; SHZ-B 水浴恒温振荡器: 青岛明博环保科技有限公司; UVB0ZI 紫外可见分光光度计、DGG-9140BD 型电热恒温鼓风干燥箱: 上海森信实验仪器有限公司; WF-40B 电子天平: 梅特勒-托利多仪器 (上海) 有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 制粉

参照 NY/T 1094.1—2006《小麦实验制粉第 1 部分: 设备、样品制备和润麦》。首先测定小麦的水分含量, 然后将小麦的水分含量调节至 15%, 润麦 12 h, 最后使用实验磨粉机制粉, 将制得的小麦粉充分混匀, 备用。

1.3.2 小麦粉基本指标测定

水分含量、灰分含量、蛋白质含量、湿面筋含量、面筋指数、淀粉含量分别参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》、GB/T 5009.4—2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》、GB5009.5—2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》、GB/T 5506.2—2008《小麦和小麦粉面筋含量第 2 部分: 仪器法测定湿面筋》、LS/T 6102—1995《小麦粉湿面筋质量测定法面筋指数法》、Megazyme 试剂盒法。

1.3.3 糊化特性、粉质特性、发酵流变学特性

糊化特性参照 GB/T 24853—2010《小麦、黑麦及其粉类和淀粉糊化特性测定快速粘度仪法》; 粉质特性参照 GB/T 14614—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》; 发酵流变学特性参照田晓红等^[5]研究方法。

1.3.4 发面饼制作

制作流程: 称取 250 g 小麦粉和 2 g 食盐、3 g 酵母混匀, 加入 48% 水 (以小麦粉重量计) 和面, 时间 3.5 min, 将和好的面团用面团成型机压片 20 次, 然后分割成 60 g 的小剂子放入 35 °C 的醒发箱中醒发 30 min 取出备用。将剂子压成饼坯, 放入预热完成的接触烤架内熟制。

煎烙条件: 接触烤架采用煎烙馅饼的模式, 熟化后的一部分样品立即测定质构特性和感官评价。

1.3.5 发面饼的直径、厚度及比容

直径、厚度: 使用游标卡尺测量发面饼的直径 d (mm) 和厚度 (T), 进行 3 次测定。

发面饼的比容按照面包比容的方法计算^[6]。

$$P=v/m$$

式中: P 为发面饼的比容, mL/g; v 为发面饼的体积, mL; m 为发面饼的质量, g。

1.3.6 水分损失

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》。

1.3.7 质构特性分析

1.3.7.1 全质构特性 参考 ZHANG 等^[7]的方法, 略有修改。将发面饼切割成 2 cm×2 cm 小块。用质构分析仪进行硬度、弹性、咀嚼性测定。测前速率 2.0 mm/s; 测试速率 1.0 mm/s; 测后速率 1.0 mm/s; 测试探头: P36R; 测试压缩比 60%; 触发值 5 g; 间隔时间 5 s。

1.3.7.2 剪切分析 将发面饼切割成 7 cm×6 cm 长方形, 置于质构仪平台上。用质构分析仪进行最大剪切力、剪切功测定。测试参数: 测前、测中速率、测后速率均为 2.0 mm/s; 测试探头: HDP/3PB; 应变: 90%; 触发值: 10 g; 断裂模式: 水平。

1.3.8 感官评价

将发面饼趁热分割进行感官评价。参考丁俊豪^[8]的方法, 选用 7 位专业评价人员组成的小组对饼的色泽、风味、口感和组织结构进行感官品评, 满分 100 分制 (表 1)。总得分 ≥ 90 为优, ≥ 80 较优, ≥ 70 良好, ≥ 60 合格, 低于 60 不合格。

表 1 发面饼感官评分表

Table 1 Evaluation standard of microwave leavened pancake

评分项目	评分标准	得分/分
色泽 (30分)	色泽呈金黄色, 色泽均匀一致	25~30
	金黄色不明显, 色泽基本均匀	15~25
	金黄色较差, 色泽不均匀	<15
口感和风味 (40分)	香味强, 无异味, 口感协调, 软硬适中, 不黏牙	35~40
	香味较强有轻微异味, 口感较淡, 有点硬, 不黏牙	30~35
	香味一般, 有很大异味, 口感不协调, 坚硬, 黏牙	<30
组织形态 (30分)	切面结构呈多孔状, 质地细腻, 气孔均匀	25~30
	切面结构呈多孔状, 质地细腻, 气孔基本均匀	15~25
	切面结构无多孔状, 质地不细腻, 气孔不均匀	<15

1.4 数据处理

数据用 Microsoft Excel 2021 和 SPSS 23.0 处理和分析数据, 采用 Origin 2021 作图, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 小麦粉基本组分

小麦粉的品质指标见表 2。12 个样品的淀粉、蛋白质、湿面筋和面筋指数分别在 63%~71%、9%~13%、2.5~3.3 g/100 g 和 70~100 之间, 各个样品之间存在显著性差异 ($P < 0.05$); LI 等^[9]认为淀粉和面筋的适当比例在面团发酵加工过程中具有协同作用, 导致发酵气孔密度均匀, 质地好。本

研究所选择的 12 个样品灰分、蛋白质、湿面筋和面筋指数变异系数均大于 8%, 表明实验选取的样品之间差异较大, 湿面筋含量从 23.35% 到 32.70%, 包含了中筋、高筋小麦, 有利于研究结果的可靠性和广泛性。

2.2 小麦粉糊化特性和粉质特性

小麦粉糊化特性和粉质特性结果见表 3。除了最终黏度、回生值和峰值时间差异较小外, 其他指标的变异系数均较大, 其中衰减值的变异系数最大, 说明 12 个样品之间的糊化特性变化较大, 可能会对发面饼的品质造成影响。王育红等^[10]研究发现小麦粉的峰值粘度、谷值粘度、最终粘度和回生值与冷冻熟制面条的感官评分呈极显著正相关, 与冷冻熟制面条的拉断力呈极显著负相关。ZI 等^[11]研究发现淀粉糊化特性与小麦加工质量密切相关, 其中, 峰值粘度和衰减性与面包和面条质量的大多数参数呈显著正相关; 糊化温度与面包屑结构、面条黏弹性、光滑度、口感和总分呈显著负相关。12 个样品的面团形成时间、稳定时间、弱化度和粉质指数分别为 2.1~14.8 min、2.7~14.9 min, 15.5~95.5 FU 和 38.5~291.0 之间, 每个样品的粉质特性指标存在显著性差异。除了小麦粉的吸水率, 其他粉质指标的变异系数均大于 20%。粉质指标决定小麦粉的加工特性, 形成时间和稳定时间长的小麦粉适合制作面包和馒头, 形成时间和稳定时间短的小麦粉适合制作蛋糕和饼干^[12-13]。综上所述, 认为本次选用的小麦品种可能对制作的发面饼品质特性具有显著影响。

表 2 小麦粉基本组分

Table 2 Basic constituent of wheat flour

项目类型	水分/%	灰分/%	淀粉含量/%	蛋白质含量/%	湿面筋/(g/100g)	面筋指数
变幅	10.67~14.70	0.49~0.76	63.69~71.23	9.82~12.70	23.35~32.70	85~100
极差	4.03	0.27	7.54	2.88	9.35	15
变异系数	11.37	25.37	3.01	8.09	9.89	12.51

表 3 小麦粉糊化特性和粉质特性

Table 3 Gelatinization and flour quality characteristics of wheat flour

项目类型	峰值粘度/cP	谷值粘度/cP	衰减值/cP	最终粘度/cP	回生值/cP	吸水率/(mL/100g)	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度 FU	粉质指数
变幅	1704~2365	1040~1810	298~630	2060~2976	1020~2864	57.2~61.0	2.1~14.8	2.7~14.9	15.5~95.5	38.5~291.0
极差	661	770	332	916	1844	3.8	12.7	12.2	80	252.5
变异系数	11	13	23	1	5	2.5	83	100.0	53.9	79.5

2.3 发酵流变特性

12 个样品的小麦粉面团的流变发酵特性分析见表 4。最大发酵高度 (Hm) 和实验结束时的面团高度 (h) 构成了发酵过程中面团产生和保留气体的综合反映^[14], 从表 4 看出, 随着面筋含量的增加, 面团的 Hm 和 h 呈现出增加的趋势 (12 号样品除外), 其中 10 号样品的 Hm 最大。CO₂ (Vc) 和气体保留系数 (R) 反映了面团在特定压力水平下保持气体的能力。当总产气量超过面团的保留气体能力时, 气室膜就会破裂, 导致气体从面团扩散到周围大气中, 发生气体损失^[15]。面团的发酵曲线特征取决于酵母的产气量和面团的产气能力。面团是一种具有高度弹性和流变特性的

复杂材料, 面团的弹性越高, 抗形变能力越强, 增强面团的持气能力, 使面团的外观得到改善^[16]。1 号样品和 10 号样品的气体释放曲线最大高度 Hm' 高于其他样品, 但是 1 号样品的气体保留系数 (R) 可知, 1 号样品的持气力较差, CO₂ 的损失量较大, 表明 1 号样品的面筋网络结构无法包裹住产生的气体, 10 号样品的 Hm' 、保持体积 (V)、总体积和 R 均较大, 产气力和持气性综合反映较好。综上所述, 面团最大膨胀高度、气体释放最大高度、释放气体总体积与持气量之间的结果基本一致, 是酵母发酵时面团产气量和持气性的综合表现, 表明 10 号样品的发酵特性要优于其他样品。

表 4 小麦粉发酵流变特性

Table 4 Fermentation rheological properties of wheat flour

小麦品种	面团发酵			气体释放				
	最大发酵高度 (Hm) /mm	面团最终发酵高度 (h) /mm	发酵 3 小时高度降低对 T1 高度的百分比值 ($Hm-h$) / Hm	气体释放时的最大高度 (Hm') /mm	总产气量 (AT) /mm	保留体积 (AI) /mm	面团发酵时泄露出面团的二氧化碳气体体积 (Vc) /mm	保留系数 (R)
1	34.6±2.1 ^{def}	34.6±2.1 ^{def}	0.0±0.0 ^b	50.9±0.1 ^a	1080.0±17.0 ^b	963.0±14.1 ^a	117±2.8 ^a	89.2±0.1 ^f
2	33.0±1.0 ^{ef}	32.9±1.1 ^{ef}	0.3±0.4 ^b	40.8±0.3 ^{fg}	862.0±17.0 ^b	816.0±11.3 ^{cd}	46±5.7 ^{cd}	94.7±0.6 ^{de}
3	26.4±0.7 ^g	26.4±0.7 ^g	0.0±0.0 ^b	44.0±1.4 ^{de}	867.5±1.5 ^a	806.0±1.4 ^{cde}	63±2.8 ^b	93.3±0.4 ^e
4	33.7±2.3 ^{def}	33.7±2.3 ^{def}	0.0±0.0 ^b	43.4±0.8 ^{de}	913.0±4.2 ^b	853.0±8.5 ^{bc}	60.5±3.5 ^{bc}	93.4±0.4 ^e
5	32.1±3.8 ^f	32.1±3.8 ^f	0.0±0.0 ^b	40.1±0.4 ^g	825.5±36.1 ^b	779.0±24.0 ^{ef}	46.5±12.0 ^{cd}	94.4±1.2 ^{de}
6	37.1±3.3 ^{cde}	36.3±2.4 ^{de}	0.8±0.5 ^{ab}	46.0±1.5 ^{cd}	892.0±32.5 ^b	846.5±24.7 ^{bc}	45.5±7.8 ^{cd}	95.0±0.6 ^{cd}
7	40.6±0.6 ^c	40.6±0.6 ^c	0.0±0.0 ^b	41.3±0.6 ^{fg}	767.0±4.2 ^b	748.5±2.1 ^{fg}	18±1.4 ^{fg}	97.7±0.2 ^{ab}
8	36.7±1.6 ^{cde}	36.7±1.6 ^{cde}	0.0±0.0 ^b	40.2±1.2 ^g	817.5±47.4 ^b	787.0±41.0 ^{ef}	30.5±6.4 ^{def}	96.3±0.6 ^{bc}
9	45.3±0.1 ^b	45.3±0.1 ^b	0.0±0.0 ^b	41.3±0.8 ^{fg}	776.0±5.7 ^b	765.0±2.8 ^{ef}	11±2.8 ^g	98.6±0.4 ^a
10	55.1±1.2 ^a	54.3±0.1 ^a	1.4±2.0 ^{ab}	49.3±3.0 ^{ab}	994.0±79.2 ^b	957.5±62.9 ^a	37±15.6 ^{de}	96.4±1.3 ^{bc}
11	49.2±1.1 ^b	48.7±1.3 ^b	1.1±0.4 ^{ab}	47.4±0.6 ^{bc}	909.0±22.6 ^b	885.0±17.0 ^b	24±5.7 ^{efg}	97.4±0.5 ^{ab}
12	38.1±0.5 ^{cd}	37.4±0.5 ^{cd}	1.8±0.0 ^a	43.4±2.0 ^{de}	903.5±4.9 ^b	859.5±6.4 ^{bc}	44±1.4 ^{cd}	95.1±0.1 ^{cd}

注: 同列字母不同表示差异性显著 ($P<0.05$), 下同。

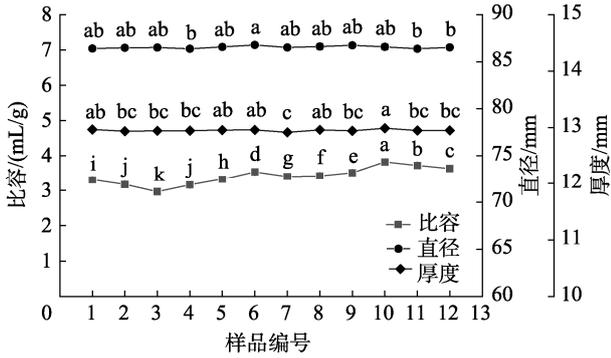
Note: Different letters in the same column indicated significant differences ($P<0.05$), same as below.

2.4 发面饼的直径、厚度及比容

发面饼的直径、厚度及比容由图 1 所示。12 个样品制作的发面饼直径和厚度的平均值为 86.5 mm 和 13.00 mm, 各个样品之间直径和厚度没有显著性差异, 表明 12 个发面饼样品的大小和厚度基本一致。

比容主要取决于面筋蛋白网络的形成与扩张, 是表征发酵过程中面团体积膨胀和持气性的主要参数。从图 1 中可知, 随着湿面筋含量的增加发面饼的比容呈现出增加的趋势, 其中 10 号、

11 号和 12 号样品的比容显著高于其他样品 ($P<0.05$)。面筋网络的充分形成与发酵制品的品质有着直接的关系, ZENG^[17]等认为添加适量的面筋蛋白, 面包的比容有所增加, 反之面筋蛋白含量过高, 面包的比容可能会降低。刘思彤^[18]认为当面筋含量和面筋指数都比较高, 形成的面团持气能力远小于回缩力, 致使面筋骨架的支撑力严重不足而萎缩, 导致出现坍塌现象, 比容下降, 本实验与以上结果较为相似, 发面饼的比容同时受到面筋蛋白含量和面筋指数的影响。



注：字母不同表示差异性显著 ($P < 0.05$)，下同。

Note: Different letters indicated significant differences ($P < 0.05$), same as below.

图 1 发面饼的直径、厚度及比容

Fig.1 The diameter, thickness, and specific volume of leavened pancake

2.5 不同小麦品种发面饼水分含量

在发面饼中，水是发面饼的重要组成部分之一。饼坯在加热过程中水分都会过多或过少的损失，影响发面饼的质构特性和感官品质。发面饼的水分含量如图 2 所示。随着湿面筋含量的增加，发面饼的水分含量呈现出先增加后减小的趋势；8 号和 9 号样品的水分含量较高，其次是 5 号、6 号 7 号和 11 号。Wojcik M 等^[19]认为随着面筋蛋白添加量的增加，面包的水分含量出现先升高再降低的趋势，面包的硬度持续降低，与本文中高面筋含量发面饼的硬度变化趋势较为相似。除此之外，添加一些水胶体也会增加面包的水分含量，陈洪博等^[20]研究发现随着苹果果胶添加量的增加，馒头的水分含量也随之增加，苹果果胶添加量为 1.5% 组气孔大小适中，较为细密，与本文的实验结果较为相似。综上所述，水分含量的高低可能会影响发面饼的硬度和内部结构。

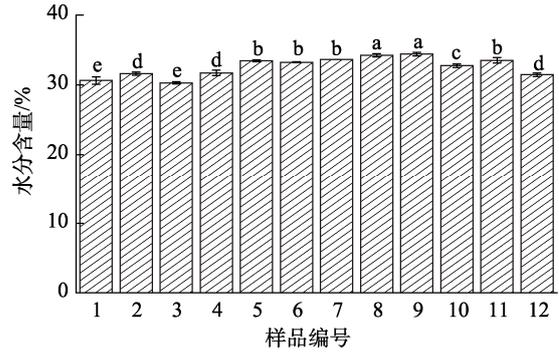


图 2 发面饼水分含量

Fig.2 Moisture content of leavened pancake

2.6 质构特性分析

2.6.1 全质构特性

发面饼硬度、弹性和咀嚼性的变化如图 3 所示。随着湿面筋含量的增加，发面饼的硬度、弹性和咀嚼性呈现出先增加后减小的趋势。3 号样品的硬度最大，为 21 491 g，其他样品的硬度不存在显著性差异 ($P > 0.05$)，硬度的变化趋势与水分含量的变化基本一致，表明发面饼的硬度与可能与其含水量可能有着较为密切。12 个样品的弹性和咀嚼性没有显著性差异 ($P > 0.05$)；发面饼的咀嚼性的变化趋势基本与硬度的变化一致。孙月等^[21]研究发现随着面筋含量的增加馒头的比容增加和硬度降低，与本实验的结果较为相似，所以较高面筋含量的面粉能够降低发面饼的硬度和咀嚼性。

2.6.2 剪切特性

发面饼的最大剪切力和剪切功见图 4 所示。最大剪切力和剪切功分别表示了是发面饼破碎所需的最大作用力和使发面饼完全断裂所做的功。

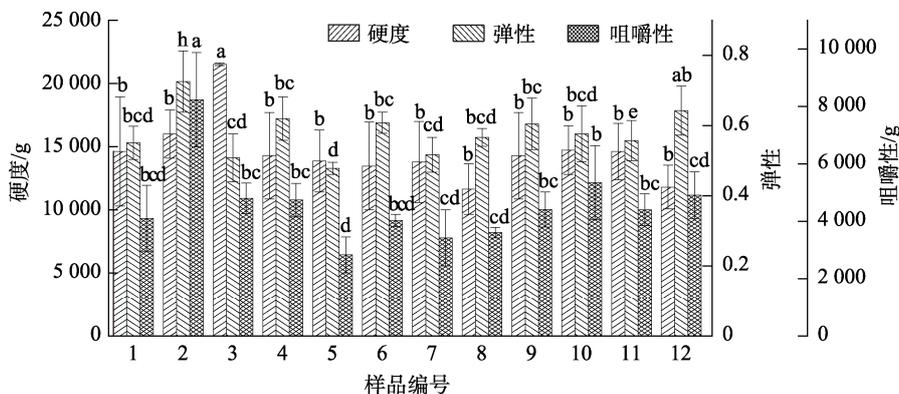


图 3 发面饼的硬度、弹性和咀嚼性

Fig.3 The hardness, elasticity, and chewiness of leavened pancake

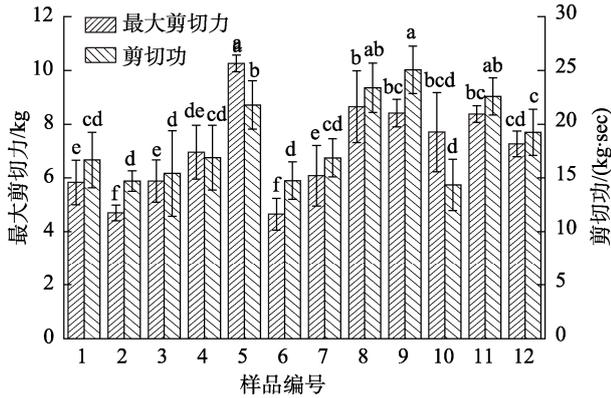


图 4 发面饼最大剪切力和剪切功
Fig.4 Maximum shear force and shear work of leavened pancake

最大剪切力和剪切功越大,发面饼的硬度就越大。随着湿面筋含量的增加,发面饼的最大剪切力和剪切功均呈现出先减小后增加的趋势,2号样品的最大剪切力和剪切功最小 ($P<0.05$),8号、9号、10号、11号和12号样品的最大剪切力和剪切功处于12个样品的中间水平。

2.7 感官评价

发面饼的感官评分如图5所示。由图5可知,随着湿面筋含量的增加发面饼的感官评分呈现出先减小后增加的趋势,10号和11号样品的评分均大于其他样品。10号和11号样品的发酵流变特性良好,比容较大,为发面饼提供了蓬松的结构;10和11号样品的硬度、最大剪切力和剪切功比较小,可能是其对水的束缚作用较强,口感较好。10和11号样品的色泽较为均匀,表面呈金黄色。杨剑婷等^[22]认为随着面筋蛋白添加量的增加,面白的感官评分随之增加,与本文结果较为相似,较高面筋含量的面团制作的发酵面制品感官评分较高。湿面筋含量在30%~33%且面筋指

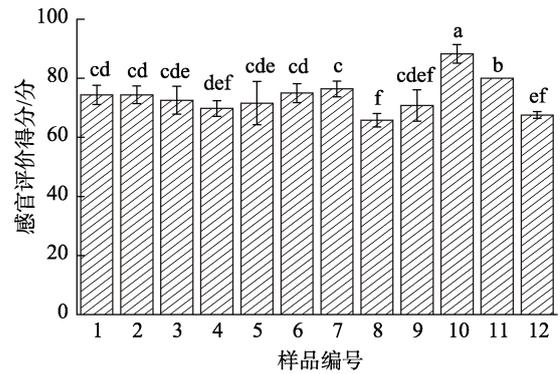


图 5 发面饼的感官评价
Fig.5 Sensory evaluation of leavened pancake

数较在70~78的样品感官评分较高。

2.8 相关性分析

小麦粉品质指标与发面饼品质的相关性分析见表5。小麦粉的面筋指数、面团损失体积与发面饼的比容呈显著负相关,淀粉含量与发面饼的比容呈极显著负相关;小麦粉的湿面筋含量^[3]、糊化特性中的峰值粘度、最低粘度、最终粘度、回生值和面团发酵特性中的 Hm 、 h 、 $(Hm-h)/Hm$ 、 Vc 和 R 与发面的比容呈显著正相关。小麦粉的淀粉含量和湿面筋含量与发面饼的最大剪切力呈显著负相关,而淀粉含量与发面饼的硬度、弹性和咀嚼性呈显著正相关;湿面筋含量与发面饼的最大剪切力呈显著正相关;小麦粉的糊化特性中的最低粘度、最终粘度和回生值和面团发酵特性中的 Hm 、 h 、 $(Hm-h)/Hm$ 、面团总体积和保持体积与发面饼的感官评分呈显著正相关;面筋指数与发面饼的感官评分呈显著负相关^[23];小麦粉糊化特性的最终粘度、回生值发面饼的弹性、咀嚼性呈显著负相关。综上所述,影响发面饼品质的主要因素是淀粉含量、小麦粉的筋力和面团的发酵特性。

表 5 小麦粉品质与发面饼品质的相关性
Table 5 Correlation between wheat flour quality and noodle cake quality

小麦粉品质	比容	最大剪切力	硬度	弹性	咀嚼性	感官评价
淀粉	-0.545**	-0.413*	0.732**	0.461*	0.615**	-0.126
湿面筋	0.843**	0.474*	-0.214	-0.047	-0.164	0.354
面筋指数	-0.507*	-0.053	-0.295	-0.337	-0.376	-0.516**
灰分	0.106	-0.089	-0.304	-0.379	-0.288	0.043
蛋白质	-0.247	-0.458*	0.081	0.261	0.233	-0.182
峰值粘度	0.423*	-0.049	-0.284	-0.182	-0.316	0.306
最低粘度	0.545**	0.062	-0.319	-0.298	-0.546**	0.438*
衰减值	-0.203	-0.21	0.047	0.207	0.413*	-0.230

续表 5

小麦粉品质	比容	最大剪切力	硬度	弹性	咀嚼性	感官评价
最终粘度	0.551**	0.08	-0.307	-0.364	-0.539**	0.477*
回生值	0.437*	0.129	-0.187	-0.522**	-0.378	.500*
峰值时间	0.474*	0.148	-0.282	-0.268	-0.593**	0.360
糊化温度	-0.105	0.042	0.446*	-0.187	-0.044	0.344
吸水量	-0.173	-0.227	-0.17	0.402	-0.004	-0.331
形成时间	0.195	0.036	-0.333	-0.083	-0.346	-0.119
稳定时间	0.123	-0.053	-0.488*	-0.219	-0.377	-0.161
弱化度	0.288	0.014	0.249	0.282	0.332	0.363
粉质指数	0.148	-0.056	-0.482*	-0.229	-0.37	-0.137
<i>Hm</i>	0.878**	0.221	-0.185	-0.131	0.036	0.688**
<i>h</i>	0.868**	0.226	-0.182	-0.145	0.032	0.680**
$(Hm-h)/Hm$	0.602**	0.094	-0.119	0.301	0.146	0.412*
气体释放	0.345	-0.298	0.06	-0.065	-0.051	0.767**
总体积	0.145	-0.298	-0.003	0.127	0.074	0.547**
保持体积 <i>V</i>	0.351	-0.227	-0.013	0.131	0.116	0.666**
<i>V_c</i>	-0.439*	-0.389	0.039	0.079	-0.056	0.069
<i>R</i>	0.516**	0.362	-0.049	-0.097	0.041	0.042

注：*表示显著性相关；**表示极显著性相关。

Note: * significant correlation; ** extremely significant correlation.

3 结论

小麦粉品质特性与对面饼的加工品质和食用品质具有重要影响。随着湿面筋含量的升高，面团的发酵高度、总体积、保留系数 (*R*) 及发面饼的比容都随之增加 ($P < 0.05$)，发面饼的最大剪切力呈现出先增加后减小的趋势，而感官评价得分呈现出先减小后增加的趋势。通过相关性分析可知，影响发面饼品质的主要因素是淀粉含量、小麦粉的筋力和面团的发酵特性。适合制作发面饼的小麦粉品质特性为：湿面筋含量在 30.0%~33.0%且面筋指数在 70~78、粉质指数在 58.5~69.5 和 *Hm* 在 38.1~55.1 mm 和 *R* 在 95%以上。

参考文献：

- [1] COȚOVANU I, MIRONEASA S. An evaluation of the dough rheology and bread quality of replacement wheat flour with different quinoa particle sizes[J]. *Agronomy*, 2022, 12(10): 2271.
- [2] 卢朝银, 刘远晓, 关二旗, 等. 小麦品种品质特性与烩面品质特性关系研究[J]. *食品科技*, 2023, 48(5): 149-156.
LU C Y, LIU Y X, GUAN E Q, et al. The relationship between wheat properties and the qualities of stewed noodles[J]. *Food Science and Technology*, 2023, 48(5): 149-156.
- [3] 邓丽丽, 张艳, 张剑, 等. 不同品种小麦粉的理化性质与北方馒头品质关系的研究[J]. *中国粮油学报*, 2022, 37(4): 47-53.
DENG L L, ZHANG Y, ZHANG J, et al. Relationship between physicochemical properties of wheat flour from different cultivars and quality of north Chinese steamed bread[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 37(4): 47-53.
- [4] SONG X Y, DENG L L, ZHANG J, et al. Physicochemical properties and molecular structure of starches from different wheat varieties and their influence on Chinese steamed bread[J]. *Journal of Food Science*, 2023, 88(7): 2821-2832.
- [5] 田晓红, 汪丽萍, 刘明, 等. 挤压改性对多谷物粉面团加工特性和面包品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2023, 38(11): 36-43.
TIAN X H, WANG L P, LIU M, et al. Effect of extrusion modification on multi-grain dough processing characteristics and bread qualities[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2023, 38(11): 36-43.
- [6] SUN H T, LIU X Y, TIAN Z Q, et al. Influence of potato flour on dough and steamed bread quality and correlation analysis[J]. *International Journal of Food Engineering*, 2020, 16(1-2): 20190273.
- [7] ZHANG Y, GUO L, XU D, et al. Effects of dextran with different molecular weights on the quality of wheat sourdough breads[J]. *Food Chemistry*, 2018, 256: 373-379.
- [8] 丁俊豪. 油莎豆粉对面团及饅品质特性的影响研究[D]. 郑州: 郑州轻工业大学, 2019.
DING J H. Effect of cyperus esculentus powder on the quality characteristics of dough and alfalfa[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2019.
- [9] LI M F, YUE Q H, LIU C, et al. Comparative study of rheology

- and steamed bread quality of wheat dough and gluten: starch doughs[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(2): e15160.
- [10] 王育红, 远兵强, 潘治利. 小麦粉糊化特性与冷冻熟制面条品质相关性研究[J]. *粮食与油脂*, 2023, 36(1): 43-47.
WANG Y H, YUAN B Q, PAN Z L. Study on the correlation between gelatinization properties of wheat flour and quality of frozen cooked noodles[J]. *Cereals & Oils*, 2023, 36(1): 43-47.
- [11] ZI Y, SHEN H, DAI S, et al. Comparison of starch physicochemical properties of wheat cultivars differing in bread- and noodle-making quality[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 93: 78-86.
- [12] ASIM S M, AHMED A, AMIR R M, et al. Comprehensive identification and evaluation of selected wheat cultivars for their relationship to pan bread quality[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, 42(7): e13670.
- [13] KUNDU M, KHATKAR B S, GULIA N. Assessment of chapatti quality of wheat varieties based on physicochemical, rheological and sensory traits[J]. *Food Chemistry*, 2017, 226: 95-101.
- [14] JING Q, WEI X, LIU Q C, et al. Rheo-fermentation properties of bread dough with different gluten contents processed by 3D printing[J]. *Food Chemistry*, 2024, 433: 137318.
- [15] MA S, ZHAN J, WANG Z, et al. Effect of baked wheat germ on the rheology and fermentation properties of steamed bread dough[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(6): e15546.
- [16] XU X Y, XU Y, WANG N F, et al. Effects of superfine grinding of bran on the properties of dough and qualities of steamed bread[J]. *Journal of Cereal Science*, 2018, 81: 76-82.
- [17] ZENG F Y, WENG Y X, YANG Y Y, et al. Effects of wheat gluten addition on dough structure, bread quality and starch digestibility of whole wheat bread[J]. *Food Science & Technology*, 2023, 58(7): 3522-3537.
- [18] 刘思彤. 不同筋力面筋蛋白组分对馒头加工品质和冻藏品质影响的研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2021.
LIU S T. Study on the effects of different gluten protein components on the processing and frozen storage quality of steamed bread[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2021.
- [19] WOJCIK M, ROZYLO R, SCHOENLECHNER R, et al. Physicochemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 14498.
- [20] 陈洪博, 高翔然, 杨红映, 等. 亲水胶体对馒头品质的影响[J]. *食品科技*, 2020, 45(6): 175-179.
CHEN H B, GAO X R, YANG H Y, et al. Influence of hydrophilic colloid on quality of steamed bread[J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(6): 175-179.
- [21] 孙月, 张慧, 王文涛, 等. 脱皮对不同筋力小麦粉及其馒头品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(2): 9-15.
SUN Y, ZHANG H, WANG W T, et al. Debranning on the qualities of wheat flour and steamed bread with different gluten strength[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2021, 36(2): 9-15.
- [22] 杨剑婷, 夏树凤, 周琴, 等. 面筋蛋白对小麦粉理化性质及面包烘焙品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2020, 40(5): 620-629.
YANG J T, XIA S F, ZHOU Q, et al. Effect of gluten addition on the physicochemical properties and bread baking quality of wheat flour[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(5): 620-629.
- [23] 魏益民, 张磊, 赵博, 等. 豫西南小麦品种馒头制作适宜性研究[J]. *粮油食品科技*, 2023, 31(1): 66-76.
WEI Y M, ZHANG L, ZHAO B, et al. Research on the making suitability for steamed bread with wheat flours from southwest of Henan Province[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2023, 31(1): 66-76. 