

荞麦粉添加量对混合粉面团流变特性及发面饼品质的影响

Effects of buckwheat flour addition on the rheological properties of mixed flour dough and quality of Chinese leavened pancakes

冯利萍

王凤成

FENG Li-ping WANG Feng-cheng

(河南工业大学粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

(College of Food Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China)

摘要:目的:探索荞麦发面饼中荞麦粉的最佳添加量。方法:选用粉质仪、拉伸仪、黏度仪等探讨荞麦粉添加量对混合粉面团流变学特性的影响,并依据感官评价判断发面饼的品质。结果:在面粉中添加 0~40% 的荞麦粉,随着荞麦粉添加量的增加,混合粉面团的流变学特性显著变差。混合粉面团的吸水率、形成时间、粉质质量指数逐渐减小,当荞麦粉添加量为 40% 时,混合粉的粉质质量指数降低了 69.1%、形成时间降低了 70.7%。随着荞麦粉含量的增加,混合粉面团的拉伸性和拉伸面积逐渐降低,阻力先增加后降低。当荞麦粉添加量为 20% 时,发面饼的硬度、黏性和咀嚼性最低,感官评分最高,与空白对照相比感官评分提高了 19.4%。结论:荞麦粉的添加降低了混合粉的品质,但适量的荞麦粉可以赋予发面饼特殊的香味以及营养价值,添加量 < 20% 的混合粉的流变学特性和发面饼的品质较好。

关键词:荞麦粉;混合粉;流变学特性;发面饼

Abstract: Objective: This study aimed to explore the optimum addition of buckwheat flour in buckwheat Chinese leavened pancakes. Methods: Farinograph, extensograph and viscometer were used to investigate the effects of different buckwheat flour additions on the rheological properties of the mixed flour dough. The hardness, gumminess and chewiness of the Chinese leavened pancake were measured by texture analyzer. The sensory quality of the Chinese leavened pancake was evaluated by the sensory evaluation score. Results: Adding 0~40% buckwheat flour to the

flour, the rheological properties of the mixed flour dough became significantly worse with the increase of buckwheat flour content. The water absorption rate, development time and farinograph quality number of the mixed flour dough decreased gradually. When the addition of buckwheat flour was 40%, the farinograph quality number decreased by 69.1%, and the development time decreased by 70.7%. The extensibility and extensogram curve area of mixed flour dough decreased gradually with the increase of buckwheat flour content, and the extension resistance increased first and then decreased. When the addition of buckwheat flour was 20%, the hardness, stickiness and chewiness of the Chinese leavened pancakes were the lowest, and the sensory score was the highest, which increased by 19.4% compared with the blank control. Conclusion: The addition of buckwheat flour reduces the quality of the mixed flour, but an appropriate amount of buckwheat flour can impart a special flavor and nutritional value to the Chinese leavened pancakes. The rheological properties of the mixed flour and the quality of the Chinese leavened pancakes added within 20% are better.

Keywords: buckwheat flour; mixed flour; rheological properties; Chinese leavened pancakes

发面饼是中国北方的传统主食,是用小麦粉和酵母混合发酵制作而成,松软可口^[1]。随着消费者健康观念的不断提高,杂粮以其天然、绿色、营养、医食同源等优点逐渐受到消费者的重视^[2]。小麦粉加工精度的提高使得小麦粉中的营养流失,所以在小麦粉中添加杂粮粉成为新趋势^[3]。荞麦,被称为“五谷之王”,含有丰富的蛋白质、矿物质、维生素等营养物质^[4],是中国“药食兼用”珍品^[5]。因不含面筋蛋白,荞麦粉不能单独与水揉成面团,需要将其添加到小麦粉中混合^[6]。荞麦粉的添加会降低面粉中的面筋含量,过多的荞麦粉会破坏面团的面筋网

基金项目:河南省重点研发专项—传统特色面制食品加工关键技术与应用示范(编号:221111112000)

作者简介:冯利萍,女,河南工业大学在读硕士研究生。

通信作者:王凤成(1963—),男,河南工业大学教授,博士。

E-mail: wangxiaoling74@163.com

收稿日期:2022-11-29

改回日期:2023-04-20

络强度,使得面团弹性、韧性劣化^[7]。目前关于荞麦粉添加量对混合粉面团流变特性及发面饼品质的影响研究尚未见报道。

肖安红等^[8]研究发现,在小麦粉中添加 30%~40% 的玉米粉可以得到品质良好的玉米发面饼。彭晓茹^[9]以小麦粉为原料,通过研究加水量、发酵湿度、发酵时间等对发面饼工艺进行了优化。Jancurova 等^[10]研究发现荞麦粉添加量<5%不会显著破坏面团的流变学特性,且还可以提高面包的营养价值。施建斌等^[7]研究发现,随着超微荞麦粉添加量(0~20%)的增加,面团的形成时间和稳定时间均减小、吸水率增加,糊化特性、热稳定性和回生值降低,适量的荞麦粉增大了面条的紧实度。Zhang 等^[11]研究发现,苦荞麸皮粉的抗氧化活性和面团流变学特性明显优于苦荞粉和苦荞芯粉,适量的苦荞麸皮粉可增大馒头的体积。Liu 等^[12]研究发现,添加荞麦麸皮的面团和面条性能优于添加荞麦壳的面团,当麸皮添加量为 4%时面团质构最好,面条具有良好的弹性和稳定的结构。郑玉娇等^[13]研究 8 种不同面粉的面粉特性和面团特性,在面粉中添加 30%荞麦粉制作荞麦馒头,通过测定馒头指标探究面粉特性对荞麦馒头预拌粉品质的影响,研究表明湿面筋含量 33%~34%,蛋白质含量 11%~12%,吸水率 58%~60%,灰分<0.4 g/100 g 的面粉制作的荞麦馒头品质较好,比较适合制备荞麦馒头预拌粉。Nikolic 等^[14]在小麦粉中添加 3%,5%,10%,20%,30%荞麦粉,与小麦粉相比,混合粉具有更高的吸水率、糊化温度、稳定性,以及更低的弱化度和延伸性,添加量为 5%的混合粉为优质面粉混合物。试验拟通过粉质仪、拉伸仪和黏度仪测定荞麦—小麦混合粉的流变学特性,以期发面饼中荞麦粉的添加提供依据,得到品质良好的发面饼以满足消费者对营养的需求。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

荞麦粉:甜荞,新乡市新良粮油加工有限责任公司;
王后精制高筋小麦粉:上海劲柏国际贸易有限公司;
低糖干酵母:安琪酵母股份有限公司;
花生油:中粮集团有限公司;
自动型粉质仪:810152 型,德国 Brabender 公司;
电子型拉伸仪:860704 型,德国 Brabender 公司;
质构仪:TA-XT PLUS 型,德国 Stable Micro Systems 公司;
黏度仪:803302 型,德国 Brabender 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 混合粉的制备 将荞麦粉和小麦粉以 $m_{\text{荞麦粉}}:m_{\text{小麦粉}}$ 为 10:90,20:80,30:70,40:60 混匀备用,以未添加荞麦粉的小麦粉作为空白对照。

1.2.2 混合粉粉质特性测定 参照 GB/T 14614—2019。

1.2.3 混合粉面团拉伸特性测定 参照 GB/T 14615—2019。

1.2.4 混合粉面团糊化特性测定 参照 GB/T 14490—2008。

1.2.5 荞麦发面饼的制作 称取 300 g 混合粉,将 1.2% 酵母溶于面粉烘焙比为 54%的水,和面,形成面絮后加入 3%的食用油,和面至面团光滑。将面团置于温度 35℃,相对湿度 80%的醒发箱中醒发 70 min。将醒发面团分割成 80 g 的小面团,用擀面杖将面团压平,制成大约 1 cm 厚的面饼,室温静置 15 min,用电饼铛烤 4 min,冷却备用。

1.2.6 混合粉发面饼质构测定 采用 P/100 圆柱形探头对发面饼进行 TPA 测试,测前速率 3 mm/s、测中速率 1 mm/s,测后速率 1 mm/s^[9]。

1.2.7 荞麦发面饼感官评分 选择 6~10 名感官评价人员参照表 1 对荞麦发面饼的颜色、外观、内部结构、弹性、黏性、口感和味道进行评分,总分 100 分。

表 1 感官评价表

Table 1 Sensory evaluation form

指标	评价标准
颜色(15)	金黄(13~15),焦黄或较黄(10~13),颜色过浅(5~10),颜色发白(1~5)
外观(15)	形状规则无气泡(13~15),形状规则略有气泡(10~13),形状凹凸不平无气泡(5~10),形状凹凸不平有气泡(1~5)
内部结构(25)	内部气孔大小均匀(18~25),气孔大小稍有不均(10~18),气孔过大或过小(1~10)
弹性(10)	弹性好且柔软(8~10),中等(5~8),弹性差且硬(1~5)
黏性(10)	不粘牙(8~10),稍粘牙(5~8),粘牙(1~5)
口感(10)	咀嚼良好不费力(8~10),中等(5~8),咀嚼费力(0~5)
味道(15)	杂粮香味浓(13~15),较香(10~13),普通无杂粮香味(5~10),有苦味(1~5)

1.2.8 数据处理 采用 Excel 软件进行数据统计,每组试验平行 3 次,结果用平均值±标准差表示。采用 SPSS 25.0 软件对试验数据进行统计分析,通过单因素方差分析进行显著性($P<0.05$)分析。

2 结果与分析

2.1 荞麦粉添加量对混合粉流变学特性的影响

2.1.1 对混合粉粉质特性的影响 由表 2 可知,混合粉吸水率随荞麦粉添加量的增加逐渐减小,未添加荞麦粉的吸水率为 65.3%,当荞麦粉添加量为 40%时,混合粉的

表 2 荞麦粉添加量对混合粉粉质特性的影响
Table 2 Effects of buckwheat flour on the quality of mixed flour

荞麦粉添加量/%	吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/FU	粉质质量指数
0	65.3	22.78	13.78	51	301
10	64.6	18.27	21.28	41	286
20	63.7	8.30	7.15	75	109
30	62.8	7.18	6.22	119	98
40	61.8	6.67	5.70	118	93

吸水率降低了 5.36%。小麦粉的吸水率与湿面筋含量呈正相关^[15]，而荞麦粉中不含面筋蛋白，荞麦粉蛋白质主要是由清蛋白和球蛋白组成^[16]，面筋蛋白是由麦醇溶蛋白和麦谷蛋白组成^[17]。荞麦粉与小麦粉混合后，随着荞麦粉添加量的增加，混合粉的面筋含量降低进而导致混合粉的吸水率随荞麦粉添加量的增加而减小。对于某些面制品而言，吸水率较高的面粉不仅能够降低生产成本、提高成品的出品率，且成品的内部结构疏松口感柔软，混合粉吸水率逐渐减小意味着面团硬度增加进而影响荞麦发面饼的感官品质，因此应控制荞麦粉的添加量。

由表 2 可知，未添加荞麦粉的稳定时间为 13.78 min，添加量为 10% 的混合粉的稳定时间最长为 21.28 min，添加量为 40% 的混合粉的稳定时间最短为 5.70 min。混合粉面团的稳定时间随荞麦粉添加量的增加先增大后减小，与 Zhang 等^[11]的结论一致。稳定时间反映了面团的

抗剪切能力，添加量为 10% 的混合粉面团的稳定时间大于未添加荞麦粉的，稳定时间的增加是因为面筋与纤维的相互作用导致的^[18]，稳定时间的降低是因为混合粉中荞麦粉添加量的增加稀释了面筋蛋白，使得面筋强度逐渐变小，抗剪切能力弱化。随着荞麦粉添加量的增大，混合粉的粉质质量指数由 301 降至 93，粉质质量指数与小麦粉的稳定时间有非常好的相关性，与弱化度也有较好的相关性^[19]。粉质质量指数的减小，说明了荞麦粉使得混合粉的筋力和耐揉性变差，降低了面粉的品质。

荞麦粉的添加使得混合粉面团面筋含量减小，面团变得不易操作、耐揉性变差，发面饼会因荞麦粉的过量添加变得口感粗糙、质地紧实，因此需控制荞麦粉的添加量保证发面饼的品质良好。

2.1.2 对混合粉拉伸特性的影响 由表 3 可知，随着荞麦粉添加量的增加，混合粉面团在醒发 45, 90, 135 min 时的延展性和拉伸面积显著减小 ($P < 0.05$)，说明荞麦粉的添加导致混合粉面团中面筋含量降低，面团的延展性变差，与侯慧花等^[6]的结论一致。延伸性越大，面团的延展性越好，持气能力越强^[20]；拉伸面积越大，说明面团筋力越强。拉伸阻力和最大拉伸阻力可以反映面团的强度和持气能力^[21]。当荞麦粉添加量为 20% 时，混合粉面团的阻力最大，可能是因为荞麦粉的添加使得混合粉面团的黏性增大。当荞麦粉添加量 $> 20\%$ 时，混合粉面团的阻力显著降低 ($P < 0.05$)，可能是因为荞麦粉添加量超过一定范围内，荞麦粉对面筋蛋白的稀释占主导作用，阻力显著减小。混合粉面团的拉伸特性随荞麦粉添加量的增加

表 3 荞麦粉添加量对混合粉拉伸特性的影响[†]
Table 3 Effects of buckwheat flour addition on tensile properties of mixed flour

醒发时间/min	荞麦粉添加量/%	延伸性/mm	拉伸阻力/EU	最大拉伸阻力/EU	拉伸面积/cm ²
45	0	163±5.66 ^a	592±0.00 ^{bc}	899±36.06 ^a	185±11.31 ^a
	10	141±6.36 ^b	555±38.18 ^c	770±2.12 ^b	136±10.61 ^b
	20	125±12.73 ^{bc}	686±28.99 ^a	881±16.97 ^a	135±19.09 ^b
	30	119±0.71 ^c	636±16.26 ^{ab}	739±8.49 ^b	114±2.12 ^b
	40	99±7.78 ^d	572±12.02 ^c	589±2.83 ^c	78±6.36 ^c
90	0	132±50.20 ^a	1 139±195.16 ^a	1 219±128.69 ^a	157±1.41 ^a
	10	133±18.38 ^a	967±57.28 ^{ab}	1 039±128.69 ^{ab}	128±14.85 ^{ab}
	20	100±22.63 ^a	903±227.69 ^{ab}	979±321.03 ^{ab}	120±58.69 ^{ab}
	30	106±19.09 ^a	848±6.36 ^{ab}	877±4.95 ^{ab}	102±12.02 ^{ab}
	40	93±1.41 ^a	686±34.65 ^b	693±43.13 ^b	77±7.78 ^b
135	0	102±21.21 ^a	800±103.94 ^{ab}	815±125.16 ^{ab}	94±33.94 ^a
	10	98±14.85 ^a	846±89.10 ^a	883±55.15 ^a	98±5.66 ^a
	20	97±7.07 ^a	918±74.25 ^a	982±97.58 ^a	107±19.80 ^a
	30	97±4.95 ^a	782±57.28 ^{ab}	800±48.08 ^{ab}	87±2.83 ^a
	40	84±3.54 ^a	635±9.90 ^b	635±9.19 ^b	66±1.41 ^a

† 小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)。

由好变差,因此,荞麦粉的添加量以不超过 30%为宜。

2.1.3 对混合粉糊化特性的影响 由表 4 可知,随着荞麦粉添加量的增加,混合粉的峰值黏度显著增加($P<0.05$),表明 α -淀粉酶的活性变差,混合粉面团的发酵性能变差^[22]。混合粉的峰值黏度、低谷黏度和最终黏度均随荞麦粉添加量的增加而显著增大($P<0.05$),可能是随着

荞麦粉添加量的增加,混合粉的淀粉含量增大,最终使糊化黏度增大^[23]。混合粉的糊化起始温度低于小麦粉的,而糊化温度越低越容易糊化,因此荞麦粉的添加使得混合粉更容易糊化。当荞麦粉添加量 $\leq 20\%$ 时,混合粉的崩解值和回升值均显著减小($P<0.05$),表明适量的荞麦粉可以增大混合粉的稳定性并减小老化趋势^[24-25]。

表 4 荞麦粉不同添加量下混合粉的糊化特性

Table 4 Gelatinization characteristics of mixed flour with different buckwheat flour contents

荞麦粉添 加量/%	糊化起始 温度/℃	峰值黏度/ (Pa·s)	低谷黏度/ (Pa·s)	最终黏度/ (Pa·s)	崩解值/ (Pa·s)	回升值/ (Pa·s)
0	60.45±0.07 ^a	597.0±5.66 ^d	320.0±1.41 ^c	632.5±2.12 ^c	277.0±7.07 ^b	312.5±0.71 ^{cd}
10	59.75±0.21 ^b	629.0±22.63 ^d	343.0±4.24 ^d	707.0±32.53 ^d	286.0±18.38 ^{ab}	364.0±28.28 ^b
20	58.80±0.14 ^d	727.5±0.71 ^c	491.0±1.41 ^c	793.5±4.95 ^c	236.5±0.71 ^c	302.5±3.54 ^d
30	59.35±0.07 ^c	891.5±2.12 ^b	646.5±2.12 ^b	1 001.5±27.58 ^b	245.0±0.00 ^c	355.0±29.70 ^{bc}
40	60.35±0.07 ^a	996.0±18.38 ^a	694.5±13.44 ^a	1 161.0±15.56 ^a	301.5±4.95 ^a	466.5±2.12 ^a

2.2 荞麦粉添加量对发面饼质构的影响

由表 5 可知,当荞麦粉添加量为 20%时,发面饼的硬度最小,荞麦粉添加量 $>20\%$ 后硬度一直增加,可能是因为荞麦粉中膳食纤维含量高且不含有面筋蛋白。当荞麦

粉添加量 $>10\%$ 时,随着荞麦粉添加量的增加发面饼的胶着性和咀嚼性显著增加($P<0.05$)。当荞麦粉添加量为 10%时,荞麦发面饼的胶着性和咀嚼性最小,但添加量为 10%和 20%的胶着性和咀嚼性无显著性差异。

表 5 荞麦粉添加量对发面饼质构的影响

Table 5 Effects of buckwheat flour addition on the texture of Chinese leavened pancakes

荞麦粉添加量/%	硬度/N	弹性/%	胶着性/N	咀嚼性/N
0	86.41±5.03 ^{bc}	0.71±0.03 ^{ab}	59.69±1.41 ^b	39.01±2.68 ^b
10	80.64±1.69 ^c	0.67±0.02 ^b	43.29±0.21 ^{bc}	28.82±0.59 ^b
20	80.01±0.38 ^c	0.74±0.11 ^{ab}	47.98±7.89 ^{bc}	36.02±11.24 ^b
30	95.05±1.53 ^b	0.74±0.02 ^{ab}	55.81±0.76 ^b	41.50±1.67 ^b
40	211.50±5.95 ^a	0.83±0.03 ^a	141.65±3.52 ^a	118.06±0.68 ^a

2.3 荞麦粉添加量对发面饼感官评分的影响

由表 6 可知,随着荞麦粉添加量的增加,发面饼的宽高比显著增加($P<0.05$),可能是由于荞麦粉中不含面筋蛋白,荞麦粉添加量的增加使得混合粉面筋含量降低,面团的发酵能力变差。随着荞麦粉添加量的增加,发面饼

的感官评分先增大后减小,当荞麦粉添加量为 20%时,感官评分最高。少量的荞麦粉不仅丰富了混合粉的营养成分,还赋予荞麦发面饼独特香味^[26]。综合荞麦粉对发面饼质构和感官评分的影响,荞麦粉添加量 $<20\%$ 时,发面饼具有良好的品质。

3 结论

试验表明,荞麦粉的添加改变了混合粉面团的加工性能以及发面饼的品质。随着荞麦粉添加量的增加,混合粉的稳定时间、吸水率和粉质质量指数逐渐减小,当荞麦粉添加量 $>10\%$ 时,混合粉的稳定时间和粉质质量指数急剧降低,粉质数据已无法准确评价面团品质。随着荞麦粉添加量的增加,混合粉面团在醒发 45, 90, 135 min 时的延展性和拉伸面积随逐渐降低,当荞麦粉添加量 $\leq 20\%$ 时,混合粉面团的崩解值和回升值均显著减小($P<0.05$),拉伸阻力增大。整体上荞麦粉的添加使得混合粉的流变学特性劣变,荞麦发面饼品质变差。当荞

表 6 荞麦粉添加量对发面饼宽高比和感官评分的影响

Table 6 Effects of buckwheat flour addition on width height ratio and sensory score of Chinese leavened pancakes

荞麦粉添加量/%	宽高比	感官评分
0	2.00±0.00 ^d	71.33±3.56 ^b
10	2.85±0.05 ^d	75.33±4.80 ^{ab}
20	3.50±0.00 ^c	85.17±8.28 ^a
30	3.75±0.05 ^b	84.50±8.53 ^a
40	4.45±0.05 ^a	79.50±11.48 ^{ab}

麦粉添加量为 20% 时,发面饼的硬度最小,感官评价分值最高。为保证最大限度增加荞麦粉含量并保持发面饼的品质,确定选用荞麦粉添加量为 20% 制作发面饼。后续试验可改变荞麦淀粉和荞麦膳食纤维添加量,考察荞麦粉对混合粉面筋结构的保护作用。

参考文献

- [1] 李崇寒. 从死面到发面饼: 中国独特的面食文化[J]. 国家人文历史, 2018(4): 58-63.
LI C H. From unleavened dough to leavened pancake: China's unique cooked wheaten food [J]. National Humanity History, 2018(4): 58-63.
- [2] 胡一诺. 杂粮消费行为分析: 以保定市为例[J]. 现代商贸工业, 2022, 43(13): 105-106.
HU Y N. Analysis of coarse cereals consumption behavior: Taking Baoding city as an example [J]. Modern Business Trade Industry, 2022, 43(13): 105-106.
- [3] 阮雁春, 刘宁海, 王引兰. 青稞小麦混合粉面团特性及青稞馒头加工工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(3): 92-96.
RUAN Y C, LIU N H, WANG Y L. Dough characteristics of highland barley composite flour optimization of highland barley steamed bread processing [J]. Food Research and Development, 2021, 42(3): 92-96.
- [4] 李慧, 刘瑞, 张弘弛, 等. 荞麦-藜麦复合谷物饮品的工艺研究[J]. 食品工程, 2021(3): 30-33, 64.
LIU H, LIU R, ZHANG H C, et al. Study on the technology of buckwheat and quinoa composite cereal beverage [J]. Food Engineering, 2021(3): 30-33, 64.
- [5] 任长忠, 陕方, 王敏, 等. 荞麦营养与功能性研究及其产品开发[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(11): 261-269.
REN C Z, SHAN F, WANG M, et al. Review on nutrition and functionality and food product development of buckwheat [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(11): 261-269.
- [6] 侯惠花, 刘瑞, 孙元琳, 等. 荞麦粉添加对混合粉面团流变学特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(3): 51-57.
HOU H H, LIU R, SUN Y L, et al. Effect of buckwheat flour supplementation on the rheological properties of mixed flour dough [J]. Food Research and Development, 2022, 43(3): 51-57.
- [7] 施建斌, 隋勇, 蔡沙, 等. 超微粉碎荞麦对面团特性和面条品质的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 69-74.
SHI J B, SUI Y, CAI S, et al. Effect of micronized buckwheat on dough characteristic and noodle quality [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 69-74.
- [8] 肖安红, 潘从道, 印兆庆. 添加玉米粉制作发面饼的研究[J]. 武汉工业学院学报, 2001(1): 4-7.
XIAO A H, PAN C D, YIN Z Q. Research on the cooking of the added corn flour flapjack [J]. Journal of Wuhan Polytechnic University, 2001(1): 4-7.
- [9] 彭晓茹. 基于不同熟制方式的发面饼冻藏品质变化机制研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2021: 14.
PENG X R. Mechanism of frozen storage change of leavened pancake based on different cooked methods [D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2021: 14.
- [10] JANCUROVÁ M, MINAROVICOVÁ L, DANDÁR A. Rheological properties of doughs with buckwheat and quinoa additives [J]. Chemical Papers, 2009, 63(6): 738-741.
- [11] ZHANG S, CHEN S, GENG S, et al. Effects of tartary buckwheat bran flour on dough properties and quality of steamed bread [J]. Foods, 2021, 10(9): 2 052.
- [12] LIU D X, SONG S X, TAO L, et al. Effects of common buckwheat bran on wheat dough properties and noodle quality compared with common buckwheat hull [J]. Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie, 2022, 155: 112971.
- [13] 郑玉娇, 郭晓娜, 朱科学. 面粉特性对荞麦馒头预拌粉品质的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(3): 27-32, 40.
ZHENG Y J, GUO X N, ZHU K X. Effect of wheat flour characteristics on the quality of buckwheat Chinese steamed bread premix [J]. Food & Machinery, 2019, 35(3): 27-32, 40.
- [14] NIKOLIC N, SAKAC M, MASTILOVIC J. Effect of buckwheat flour addition to wheat flour on acylglycerols and fatty acids composition and rheology properties [J]. Food Science and Technology, 2011, 44(3): 650-655.
- [15] 林江涛, 谷玉娟, 杨珂静, 等. 小麦粉吸水率与其组成和制粉研磨强度的关系研究[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(11): 69-71.
LIN J T, GU Y J, YANG K J, et al. Study on the relationship of wheat flour water absorption with the composition and milling grinding strength [J]. Cereals & Oils, 2017, 30(11): 69-71.
- [16] KOVACS M I P, FU B X, WOODS S M, et al. Thermal stability of wheat gluten protein: Its effect on dough properties and noodle texture [J]. Journal of Cereal Science, 2004, 39(1): 9-19.
- [17] ALVAREZ-JUBETE L, ARENDT E K, GALLAGHER E. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients [J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(2): 106-113.
- [18] HAN L H, ZHOU Y, TATSUMI E, et al. Thermomechanical properties of dough and quality of noodles made from wheat flour supplemented with different grades of tartary buckwheat (fagopyrum tataricum gaertn.) flour [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(8): 1 953-1 962.
- [19] 姜薇莉, 孙辉, 凌家煜. 粉质质量指数(FQN)对于评价小麦粉品质的实用价值研究[J]. 中国粮油学报, 2004(2): 42-48.
SUN W L, SUN H, LING J Y. Applicability of FQN in evaluation of wheat flour quality [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2004(2): 42-48.
- [20] 胡云峰, 苏利, 路敏, 等. 荞麦粉对面团流变学特性和馒头品质的影响研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(4): 52-55.
HU Y F, SU L, LU M, et al. Study on the effects of buckwheat flour on paste rheological characteristic and steamed bread quality [J]. Cereals & Oils, 2016, 29(4): 52-55.

(下转第 76 页)

- climate change commitments from HFC banks and emissions[J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2014, 14(9): 4 563-4 572.
- [2] 张春路. 制冷空调系统仿真原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 41-68.
- ZHANG C L. Fundamentals of vapor-compression refrigeration and air-conditioning system modeling[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2012: 41-68.
- [3] 张永明, 陈振乾. 跨临界二氧化碳热泵系统动态性能的仿真研究[J]. 建筑热能通风空调, 2021, 40(2): 15-20.
- ZHANG Y M, CHEN Z Q. Dynamic simulation and research of transcritical CO₂ heat pump system [J]. Building Energy & Environment, 2021, 40(2): 15-20.
- [4] 彭梦博, 陈炳耀, 王定标, 等. 跨临界 CO₂ 热泵空调系统仿真优化研究[J]. 低温与超导, 2022, 50(3): 51-57.
- PENG M B, CHEN B Y, WANG D B, et al. Simulation and optimization of transcritical CO₂ heat pump air conditioning system [J]. Cryogenics & Superconductivity, 2022, 50(3): 51-57.
- [5] NAWAZ K, SHEN B, ELATAR A, et al. Performance optimization of CO₂ heat pump water heater [J]. International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid, 2018, 85: 213-228.
- [6] SONG Y L, YIN X, CAO F, et al. Investigations on optimal discharge pressure in CO₂ heat pumps using the GMD and PSO-B ptype neural network Part A: Theoretical modeling [J]. Journal of Engineering, 2019, 106: 549-557.
- [7] YANG L X, WEI X L, ZHAO L H, et al. Experimental study on the effect of compressor frequency on the performance of transcritical CO₂ heat pump system with regenerator [J]. Applied Thermal Engineering, 2019, 150: 1 216-1 223.
- [8] 王迪, 王定标, 杨雨桢, 等. 跨临界 CO₂ 热泵系统最优排气压力模拟与实验研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2021, 42(4): 33-39.
- WANG D, WANG D B, YANG Y S, et al. Simulation and experimental analysis on the optimal discharge pressure of a transcritical CO₂ heat pump system [J]. Journal of Zhengzhou University (Engineering Science), 2021, 42(4): 33-39.
- [9] CHEN Y, GU J J. The optimum high pressure for CO₂ transcritical refrigeration systems with internal heat exchangers[J]. International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid, 2005, 28(8): 1 238-1 249.
- [10] 宋昱龙, 唐学平, 王守国, 等. 空气源跨临界 CO₂ 热泵最优排气压力的理论和实验[J]. 西安交通大学学报, 2014, 48(9): 81-87.
- SONG Y L, TANG X P, WANG S G, et al. Theoretical and experimental investigation for optimal discharge pressure of air-source transcritical CO₂ heat pump[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2014, 48(9): 81-87.
- [11] SARKAR J, BHATTACHARYA S, GOPAL M R, et al. Optimization of a transcritical CO₂ heat pump cycle for simultaneous cooling and heating applications[J]. International Journal of Refrigeration-Revue Internationale Du Froid, 2004, 27(8): 830-838.
- [12] 李东哲, 崔靖, 王驿凯, 等. 跨临界 CO₂ 制热系统最优排气压力的模拟研究[J]. 压缩机技术, 2017(1): 1-5, 10.
- LI D Z, CUI J, WANG Y K, et al. Simulation research on the optimum discharge pressure of transcritical CO₂ heat pump system [J]. Compressor Technology, 2017(1): 1-5, 10.
- [13] 刘泽勤, 高梦晗. 供水温度对 CO₂ 空气源热泵系统性能的影响[J]. 低温与超导, 2020, 48(4): 100-104.
- LIU Z Q, GAO M H. Effect of water supply temperature on the performance of CO₂ air source heat pump system[J]. Cryogenics & Superconductivity, 2020, 48(4): 100-104.
-
- (上接第 20 页)
- [21] 韩畅, 林江涛, 岳清华, 等. 苦荞麸皮粉添加量对面团性质及馒头品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(7): 140-145.
- HAN C, LIN J T, YUE Q H, et al. Effect of tartary buckwheat bran powder on dough characteristic and steamed bread quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(7): 140-145.
- [22] 崔建涛. 荞麦馒头质构特性与荞麦粉糊化特性相关性研究[J]. 现代食品, 2020(10): 211-213.
- CUI J T. Correlation research between texture profile properties of buckwheat steamed bread and gelatinization properties of buckwheat[J]. Modern Food, 2020(10): 211-213.
- [23] 孔晓涵, 樊红秀, 张闪闪, 等. 荞麦一小麦混合粉流变学特性及其对冷面质构的影响[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(10): 31-34, 67.
- KONG X H, FAN H X, ZHANG S S, et al. Rheological properties of buckwheat-wheat mixed flour and its effect on cold noodle texture[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(10): 31-34, 67.
- [24] 姚哲, 张辉, 彭金龙, 等. 不同品种大米营养组分与糊化、酶解特性的相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(13): 173-180.
- YAO Z, ZHANG H, PENG J L, et al. Correlation analysis between nutrient component, pasting properties and enzymatic hydrolysis properties of different varieties of rice[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(13): 173-180.
- [25] 任顺成, 李翠翠, 邓颖颖. 鹰嘴豆、饭豆、绿豆淀粉性质的比较[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(1): 61-64.
- REN S C, LI C C, DENG Y Y. Comparison of starch properties of chickpea, mung bean and rice bean [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils, 2011, 26(1): 61-64.
- [26] 赵敏, 杨保卫, 胡舰, 等. 荞麦面条复合预制粉组配参数优化及其应用[J]. 食品与机械, 2022, 38(4): 207-212.
- ZHAO M, YANG B W, HU J, et al. Optimum parameters and application of buckwheat noodle composite preformed powder[J]. Food & Machinery, 2022, 38(4): 207-212.