

汪名春, 钱秀丽, 夏传礼, 等. 黄秋葵全粉对小麦面团流变学特性的影响 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 122-128. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060066

WANG Mingchun, QIAN Xiuli, XIA Chuanli, et al. Effect of Okra Powder on the Rheological Properties of Wheat Dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(22): 122-128. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060066

· 研究与探讨 ·

黄秋葵全粉对小麦面团流变学特性的影响

汪名春^{1,2}, 钱秀丽^{1,2}, 夏传礼^{1,2}, 朱培蕾^{1,2,3}

(1.安徽农业大学安徽省农产品加工工程实验室, 安徽合肥 230036;

2.安徽农业大学食品科学与工程系, 安徽合肥 230036;

3.安徽省农业科学院园艺研究所, 安徽合肥 230031)

摘要:为了探究黄秋葵全粉对小麦面团流变学特性的影响, 采用 Mixolab 混合实验仪、吹泡仪、流变发酵仪以及旋转流变仪等技术手段研究了混合粉(黄秋葵全粉添加量为 0、1%、3%、5%、7%、9%)面团的热机械学特性、吹泡特性、流变发酵特性以及动态流变学特性。结果表明, 随黄秋葵全粉添加量的增加, 混合粉湿面筋含量降低, 减少幅度达 79.96%; 面团的吸水率由 63.30% 增加到 65.90%, 形成时间和稳定时间先下降后上升, 蛋白质弱化度增强; 面团的蒸煮稳定性没有发生变化, 但糊化峰值粘度下降, 回生值减小; 面团的韧性、延展性以及发酵性能下降, 最大发酵高度 Hm 值下降了 39.80%。此外, 面团的储能模量 G' 和损耗模量 G'' 均显著增加 ($P < 0.05$), 且 G' 增加占主导地位。综上所述, 黄秋葵全粉的添加显著改变了小麦面团的流变学特性, 且各添加量下混合粉面团的流变学特性指标有差异。研究结果为黄秋葵复合面制品的开发提供了理论依据。

关键词:黄秋葵全粉, 面团, 流变学, 发酵特性, 黏弹性

中图分类号: TS213.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)22-0122-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022060066



本文网刊:

Effect of Okra Powder on the Rheological Properties of Wheat Dough

WANG Mingchun^{1,2}, QIAN Xiuli^{1,2}, XIA Chuanli^{1,2}, ZHU Peilei^{1,2,3}

(1. Anhui Engineering Laboratory for Agro-products Processing, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. Department of Food Science and Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

3. Institute of Horticulture, Academy of Anhui Agricultural Science, Hefei 230031, China)

Abstract: In order to explore the effect of okra powder on the rheological properties of wheat dough, the thermomechanical properties, alveograph characteristics, rheofermentation and dynamic rheological properties of the mixture flour dough (the addition amount of okra powder are 0, 1%, 3%, 5%, 7% and 9%) were measured by using Mixolab, Alveolab, Rheofermentometer, rheometer and other technical methods. The results showed that the wet gluten content of the mixture flour decreased by 79.96% under the incorporation of okra powder. Furthermore, with the increasing of okra powder addition, the dough water absorption ratio increased from 63.30% to 65.90%, the dough development time and stability decreased firstly and then increased, and the protein weakening was enhanced. The pasting peak viscosity and setback decreased while the cooking stability showed no change. Meanwhile, the tenacity, extensibility and fermentation performance of dough dropped, and the maximum fermentation height Hm value decreased by 39.80%. In addition, both the storage modulus G' and the loss modulus G'' of the dough increased significantly, and the increasing of G' was dominant. In conclusion, the addition of okra powder significantly ($P < 0.05$) changed the rheological properties of wheat dough, and the rheological properties of the mixed flour dough were different under the each addition amount. The research results would provide a theoretical basis for the development of okra composite dough products.

Key words: okra powder; dough; rheology; fermentation performance; viscoelasticity

收稿日期: 2022-06-10

基金项目: 安徽省高校自然科学基金重点项目 (KJ2021A0141); 安徽省高校优秀青年人才支持计划 (gxyqZD2021095)。

作者简介: 汪名春 (1982-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品化学与营养; 农副产品精深加工, E-mail: wmc@ahau.edu.cn。

黄秋葵为一年生草本植物,原产自非洲地区,后来在包括非洲、亚洲、中东以及美国南部等热带、亚热带和温带等地区广泛种植^[1-2]。目前,黄秋葵在我国各地均有种植,其中以中部和南部各省区如江西、广东、广西和台湾等地最多^[3-4]。黄秋葵果实的嫩莢是一种可食用的蔬菜,通常其植物名即为蔬菜名(以下黄秋葵所指皆为蔬菜名),又名羊豆角、秋葵和咖啡葵等。黄秋葵营养价值很高,富含氨基酸、蛋白质、矿物质、黄酮类化合物和大量的非淀粉多糖^[5-6]。黄秋葵非淀粉多糖主要有水溶性膳食纤维和水不溶性膳食纤维,包括纤维素、木质素和果胶物质等。除了作为日常蔬菜食用外,黄秋葵提取物还具有提高机体免疫力、抗肿瘤、抗氧化、降血糖和降血脂等药理功效^[7-8],因此可以作为膳食补充剂或保健食品原料。近年来,黄秋葵在我国种植规模逐年扩大,供应量丰富,特别是供应旺季时价格低廉,这使得其深加工产品的开发成为可能。

将食用菌、蔬菜、杂粮、膳食纤维等原料加入面粉以加工成复合型面制品是一种提升面制品营养和功能的有效手段,相关研究在国内外已有广泛报道,如香菇^[9]、朝鲜蓟^[10]、燕麦^[11]、荞麦^[12]、菊粉^[13]等复合型面制品。王杰琼等^[11]的研究表明,较少的燕麦全粉替代面粉会使得混合粉的吸水率增加,形成时间和稳定时间先增加后减小。杨艺^[14]研究了谷类、豆类和果蔬类来源的六种不溶性膳食纤维对面团流变学特性和面包品质的影响,结果显示不溶性膳食纤维的添加提高了面团的吸水率和稳定时间,但降低了面团的稳定时间、拉伸特性和发酵特性;面团特性与面包品质的变化趋势基本一致,且两者都与不溶性膳食纤维理化性质之间存在相关性。孟凤华等^[15]研究了红枣粉对面团特性和馒头品质的影响,结果表明,随红枣粉添加量的增加,面团的吸水率逐渐下降,形成时间和稳定时间先增加后减小,由 10% 以下添加量混合粉制得的花色馒头其比容与感官评分均高于空白对照面粉制得的馒头。因此,将黄秋葵全粉添加在面粉里制作成复合型面制品也将是其深加工利用的一个有益尝试。虽然已有少量研究报道了黄秋葵面包、饼干的制作及品质分析^[4,16-17],但其仅涉及面团、面包和饼干的质构及感官分析,在黄秋葵对面团流变学特性的影响方面尚缺少系统研究。

面团是由面粉到面制品的过渡态物质,其流变学特性决定着面粉的加工适应性和制品品质。原料粉组成成分和含量是面团流变学特性的重要影响因素,探究外源添加物影响面团流变学特性的规律可以为复合型面制品的开发提供理论基础^[18]。因此,本文将采用 Mixolab 混合实验仪、吹泡仪、流变发酵仪以及旋转流变仪等技术手段系统研究黄秋葵全粉对小麦面团的热机械学特性、吹泡特性、流变发酵特性以及动态流变学特性的影响,并结合黄秋葵全粉和混合粉主要成分分析探讨其可能的影响机理,以期黄秋葵

葵复合面制品的开发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄秋葵全粉(黄秋葵嫩莢经去籽、切碎,于 60 ℃ 烘干至恒重,粉碎机研磨后过 250 目筛,所得样品自封袋封装后置干燥器保存备用)、食盐 市售;小麦粉 安徽丰大股份有限公司;干酵母 安琪酵母股份有限公司。

Mixolab 混合实验仪、Alveolab 吹泡仪、NG 型吹泡稠度仪、F4 流变发酵仪 法国 Chopin 公司;DHR-1 旋转流变仪 美国 TA 公司;VDK159 凯式定氮仪 意大利 Velp 公司;RV3 旋转蒸发仪 德国 IKA 公司;Gamma 1-16 冷冻干燥机 德国 Christ 公司。

1.2 实验方法

1.2.1 混合粉的主要成分测定 黄秋葵全粉中粗纤维含量参照国家标准 GB/T 5009.10-2003《植物类食品中粗纤维的测定》方法进行测定。

黄秋葵全粉中水溶性果胶类多糖的提取参照 Bai 等^[19]的方法略做修改,简述如下:黄秋葵全粉经过 75% 的乙醇溶液脱色两次,烘干的残渣使用 pH10.0 的 Clark-Lubs 缓冲溶液(219.5 mL 的 0.1 mol/L NaOH 和 125 mL 的 0.2 mol/L H_3BO_3 -KCl 溶液混合后定容至 500 mL)于 70 ℃ 提取 1 h,重复两次提取,合并上清液后旋转蒸发至原体积的 1/3,加入乙醇沉淀多糖(乙醇终浓度为 65%)。沉淀多糖经离心收集后加水复溶并通过旋转蒸发去除残余乙醇,多糖溶液经透析以及冷冻干燥后即得到黄秋葵果胶类多糖。干燥后的多糖质量占比黄秋葵全粉质量的百分比即为果胶类多糖的提取率。

以 0、1%、3%、5%、7% 和 9% 的比例将黄秋葵全粉添加到小麦粉中混合均匀,制得混合粉备用,小麦粉及混合粉中水分、灰分、脂肪、蛋白质和湿面筋含量分别参照国家标准 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》、GB 5009.4-2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》、GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》、GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》和 GB/T 5506.1-2008《小麦和小麦粉面筋含量第 1 部分:手洗法测定湿面筋》进行测定。

1.2.2 面团热机械学性质测定 Mixolab 混合实验仪测定条件参照 Chopin 公司的 Chopin+协议方法,具体为:水与面粉的总加样量为 75 g,扭矩 C1 设定为 1.1 ± 0.05 N·m;设定初始温度为 30 ℃ 并运行 8 min,随后升温到 90 ℃(升温速率 4 ℃/min)保持 7 min,接着再以 4 ℃/min 的速率降温到 50 ℃ 保持 5 min 后结束测试。仪器测试运行的全程均保持搅拌速度为 80 r/min。测试结束,仪器自动记录吸水率、面团形成时间、面团稳定时间、C2、C3、C4 和 C5 等参数。

1.2.3 面团吹泡特性测定 按 Alveolab 吹泡仪的操作步骤进行测定,具体方法如下:在搅拌器内加入 250 g 面粉和适量浓度为 2.5% 的 NaCl 溶液,搅拌 8 min 形成面团后再挤出、切块、压片,室温下放置 20 min,随后进行吹泡特性测定,记录 P 值、L 值和 W 值等参数。

1.2.4 面团流变发酵特性测定 按 F4 流变发酵仪操作步骤进行测定,具体方法如下:在 NG 型吹泡稠度仪的混合钵中加入 250 g 面粉、3 g 酵母和一定量的水(加水量按混合实验仪测定的吸水率和吹泡仪测定的 P 值换算),混合 5 min 后加入 5 g 的盐,继续混合 1 min 后用刮刀检查使所有面粉搅拌均匀,接着混合 8 min 制得面团。在 F4 流变发酵仪中放入称取的 315 g 面团进行发酵,发酵曲线由仪器自动记录并同时获得最大高度 Hm、CO₂ 总产气量 V 以及气体保留系数 R(R 为面团中保留的 CO₂ 量与 CO₂ 总产气量的比值百分数)等参数。

1.2.5 面团动态流变特性测定 按 Mixolab 混合实验仪测定的吸水率加水揉制面团,用保鲜膜包裹,室温放置 10 min 后立即开始测试。测量温度 25 ℃,平板直径为 40 mm,间距 2 mm,动态测量模式下先进行应力扫描确定面团的线性黏弹区,随后进行频率扫描测定面团的流变学特性,设定频率范围为 0.6278~62.78 rad/s(0.1~10 Hz),依据线性黏弹区扫描结果选择测试应变为 0.1%。仪器自动记录储能模量 G',损耗模量 G''和损耗角正切值 tanδ 随频率变化的曲线^[20]。

1.3 数据处理

采用 SPSS22.0 软件对数据进行统计分析,所有实验均重复 3 次,结果表示为数据的平均值,同时采用 Duncan 多重检验法对数据进行差异显著性分析(P<0.05)。使用 Origin 9.0 软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 混合粉的主要成分分析

混合粉的主要成分如表 1 所示。从表 1 中可以看出,随着黄秋葵全粉的加入,面粉的主要成分均发生了显著变化(P<0.05)。水分、蛋白质、脂肪以及湿面筋含量等随黄秋葵全粉添加量的增加而逐渐降低,但灰分含量呈逐渐增加趋势。蛋白质含量和湿面筋含量是影响面团品质的两个重要指标,其与面团形成

时间、稳定时间以及蛋白质弱化度等密切相关^[21]。从表 1 中可知,当黄秋葵全粉添加量为 9% 时,混合粉中蛋白质含量和湿面筋含量的减少幅度分别为 10.94% 和 79.96%。显然,蛋白质含量的减少幅度与黄秋葵全粉的替代量相当,因此推测混合粉中面粉比例的下降是导致蛋白质含量减少的直接原因。但是,混合粉中面粉比例的下降却不足以解释混合粉中湿面筋含量的急剧下降现象,因为面粉比例下降引起的蛋白质含量的减少幅度(10.94%)远低于湿面筋含量的减少幅度(79.96%)。类似现象在燕麦全粉和大麦粉对面团特性的影响研究也有发现,如当燕麦全粉的替代比例为 50% 时,混合粉不能形成连续的面筋结构^[11];当大麦全粉添加量由 20% 增加至 60% 时,混合粉的湿面筋含量也由 37.43% 大幅降低至 11.77%^[22]。

湿面筋含量急剧下降主要与黄秋葵全粉中高含量的膳食纤维有关。本文中,测定的黄秋葵全粉中的粗纤维含量和果胶类多糖提取率分别为 9.33% 和 10.08%。粗纤维不溶于水,但可吸水膨胀,果胶类多糖溶于水并产生大分子相互缠结作用,这些膨胀的粗纤维和相互缠结的多糖大分子使得原本应吸水溶胀并相互交联的面筋蛋白之间形成了物理空间上的障碍,这种障碍类似起到了一种切割稀释的作用,使得面筋蛋白间无法有效相互作用、交联并形成蛋白质网络结构,从而导致湿面筋含量减少^[14,23-24]。

2.2 黄秋葵全粉对面团热机械学特性的影响

混合实验仪测定的面团热机械学特性如表 2 所示。从表 2 可以看出,随着黄秋葵全粉添加量的逐渐增加,面团的吸水率呈缓慢增加趋势,这主要归因于黄秋葵全粉中膳食纤维具有的较强的吸水和持水能力。面团的形成时间和稳定时间随添加量的增加都呈现先下降后上升的趋势,但上升后的值仍低于不添加黄秋葵全粉的面团。面团的形成时间和稳定时间均反映面筋的品质,形成时间越长,说明面筋蛋白的组成越合理、质量越好,在机械力作用下面筋形成的越多;稳定时间越长,说明面筋强度越大,也反映面团的耐揉性越好,即对拌揉过程中剪切力的抵抗能力越强^[21]。黄秋葵全粉的加入,替代了相应量的面粉,引起了蛋白质含量的下降,并且带入的膳食纤维稀释和破坏了面筋蛋白网络结构,进而导致混合粉的形成时间和稳定时间均下降。但随着黄秋葵全粉添加量

表 1 混合粉的主要成分

Table 1 Main components of the mixed flour

黄秋葵全粉添加量(%)	水分含量(%)	蛋白质(%)	脂肪(%)	灰分(%)	湿面筋含量(%)
0	13.14±0.00 ^c	9.50±0.07 ^d	0.81±0.10 ^c	0.39±0.04 ^a	23.30±0.81 ^f
1	12.91±0.09 ^c	9.35±0.14 ^d	0.73±0.03 ^b	0.49±0.01 ^b	17.43±0.05 ^e
3	12.82±0.06 ^{bc}	9.25±0.00 ^c	0.76±0.10 ^b	0.63±0.06 ^c	11.62±0.88 ^d
5	12.70±0.09 ^{bc}	9.12±0.00 ^b	0.75±0.04 ^b	0.79±0.03 ^d	7.44±0.65 ^c
7	12.64±0.04 ^{ab}	8.88±0.21 ^a	0.74±0.01 ^b	0.87±0.01 ^e	6.27±0.87 ^b
9	12.50±0.00 ^a	8.46±0.21 ^a	0.72±0.00 ^a	1.06±0.07 ^f	4.67±0.47 ^a

注:同列不同小写字母表示显著差异(P<0.05);表2~表4同。

表 2 黄秋葵全粉对面团热机械学特性的影响

Table 2 Influence of okra powder on the thermomechanical properties of the dough

黄秋葵全粉添加量 (%)	吸水率 (%)	面团形成时间 (min)	面团稳定时间 (min)	C2 (N·m)	C3 (N·m)	C4/C3	C5-C4 (N·m)
0	63.30±0.13 ^a	3.40±0.09 ^f	5.52±0.03 ^c	0.49±0.01 ^c	1.65±0.01 ^d	0.95±0.02 ^a	0.99±0.02 ^d
1	64.00±0.11 ^b	2.57±0.03 ^a	3.63±0.04 ^d	0.33±0.02 ^b	1.57±0.02 ^c	0.94±0.03 ^a	0.98±0.05 ^d
3	65.00±0.23 ^c	2.73±0.05 ^b	2.78±0.05 ^a	0.25±0.01 ^a	1.37±0.01 ^b	0.93±0.04 ^a	0.65±0.04 ^c
5	65.20±0.15 ^c	3.08±0.01 ^d	2.83±0.07 ^a	0.27±0.03 ^a	1.31±0.03 ^a	0.92±0.04 ^a	0.46±0.01 ^b
7	65.50±0.10 ^d	3.00±0.02 ^c	2.95±0.09 ^{ab}	0.26±0.03 ^a	1.30±0.02 ^a	0.92±0.06 ^a	0.41±0.01 ^a
9	65.90±0.11 ^c	3.20±0.01 ^c	3.28±0.04 ^c	0.30±0.05 ^{ab}	1.30±0.05 ^a	0.93±0.05 ^a	0.45±0.02 ^b

的进一步增加,混合粉中膳食纤维的含量也进一步上升,特别是有足够多的水溶性果胶类多糖吸水溶胀形成大分子相互缠结的网络结构,这在一定程度上弥补了被破坏的面筋蛋白网络结构,从而表现为混合面团形成时间和稳定时间的增加^[9,25-26]。但是这种果胶类多糖形成的网络结构的耐机械剪切能力远低于面筋蛋白网络,因而最终的混合面团形成时间和稳定时间仍低于空白面团。C2 扭矩值可以用于反映在机械力和温度作用下蛋白质的弱化度,C2 扭矩值越小,说明蛋白质的弱化度越高。黄秋葵全粉的添加引起了 C2 扭矩值减小,表明其破坏了面筋的强度和韧性,使得面筋的品质变差,结果与面团形成时间和稳定时间基本一致。黄秋葵全粉对吸水率、面团形成时间和稳定时间、蛋白质弱化度的影响与其它富含膳食纤维类成分对粉质特性的影响趋势和规律是一致的,其共同的原因是由于膳食纤维的吸水和持水能力强以及可溶性膳食纤维溶于水形成大分子相互缠结的网络结构的特性所导致^[9,11,23]。

随着 Mixolab 混合室的温度逐渐升高,面团中淀粉逐渐吸水膨胀,发生糊化,从而引起面团粘度的增加,C3 扭矩值体现糊化粘度最大值,代表淀粉糊化特性。C4 为粘度达到最大值后面团保温结束时的扭矩值,C4/C3 的值越接近 1,表明在保温阶段熟化面团的粘度变化小,也即面团的蒸煮稳定性好。C5 扭矩值为面团在冷却结束时的粘度,C5-C4 值越大,表明冷却过程中淀粉重结晶导致的老化程度越严重。在表 2 中,添加黄秋葵全粉后,C3 值降低,这主要与面粉量减少导致的淀粉浓度受到稀释有关。随黄秋葵全粉添加量的进一步增加,果胶类多糖与淀粉竞争水分子的程度加剧^[27],淀粉糊化受到抑制,且淀粉的有效浓度也随之增加,因此在高添加量时 C3 值逐渐稳定。C4/C3 值随添加量的增加没有明显变化,均接近 1,说明黄秋葵全粉对面团的蒸煮稳定性没有影响,且混合面团蒸煮稳定性较好。C5-C4 值随添加量增加明显降低,表明黄秋葵全粉的添加有抑制淀粉老化的作用,这与不少亲水性胶体抑制淀粉老化作用的原理类似,即黄秋葵中富含的果胶类多糖与淀粉中的直链淀粉具有一定的亲和作用,从而抑制了直链淀粉重结晶,进而起到延缓淀粉老化的作用^[28]。

2.3 黄秋葵全粉对面团吹泡特性的影响

吹泡仪参数与拉伸仪参数之间有更好的相关

性,可以使用吹泡仪来评价面粉的内在质量以及面粉的品质特性^[29-30]。在吹泡仪参数中,P 值表示使面片产生形变的压力,代表面团的韧性,L 值表示面团的**最大延伸性,W 值表示使面泡完成形变所做的功,代表面粉烘焙力^[31]。面团吹泡仪指标如表 3 所示,从表 3 中可以看出,黄秋葵全粉加入后,面团的 P、L、W 值都呈下降趋势;相比于空白对照面团,9% 添加量混合粉面团的 P 值、L 值和烘焙指数 W 值分别降低了 54.9%、74.4% 和 78.9%。由以上混合实验仪测试结果可知,黄秋葵全粉的添加破坏了面筋网络结构,面团的韧性和延展性降低,这也是面团吹泡性能降低的直接原因。

表 3 黄秋葵全粉对面团吹泡仪指标的影响

Table 3 Influence of okra powder on the alveograph index of the dough

黄秋葵全粉添加量 (%)	P (mm)	L (mm)	W (mJ)
0	102±0.20 ^f	43±0.23 ^c	171±1.00 ^f
1	77±1.46 ^c	38±0.60 ^d	104±0.90 ^c
3	73±0.17 ^d	23±0.12 ^c	60±1.21 ^d
5	69±0.19 ^c	16±0.30 ^b	56±1.07 ^c
7	67±0.32 ^b	16±0.98 ^b	50±0.03 ^b
9	46±0.48 ^a	11±0.97 ^a	36±0.23 ^a

2.4 黄秋葵全粉对面团流变发酵特性的影响

F4 流变发酵仪用于测定含酵母面团的发酵性能,其获得的相关参数可以反映面团持气能力与面团面筋网络结构。Hm 为面团最大发酵高度,其一般与发酵面制品的比容呈正相关,反映酵母产气能力和面团持气能力。采用 F4 流变发酵仪测定了混合粉面团的发酵特性,结果如表 4 所示。从表 4 中可以看出,黄秋葵全粉添加组的 Hm 值与空白组相比显著下降,在最大添加量 9% 时,Hm 值下降了 39.8%,表明黄秋葵全粉的添加很大程度上弱化了面团的面筋网络结构进而将影响面包或馒头的发酵体积,这与以上混合实验仪测得的粉质结果相一致^[23,32]。此外,在面团形成的过程中,黄秋葵全粉中果胶类多糖吸水溶胀形成的高黏性凝胶网络结构附着在面筋蛋白表面,这在一定程度上限制了面团的延伸,进而影响发酵过程中面团中气泡的扩展,即在流变发酵仪上表现为 Hm 值的下降^[23,33]。

V_{CO_2} 为面团在测试过程中产生的总二氧化碳气体的量,直接反映酵母的产气能力。如表 4 所示,随

表 4 黄秋葵全粉对面团流变发酵特性的影响

Table 4 Influence of okra powder on the rheofermentation properties of the dough

黄秋葵全粉添加量(%)	Hm(mm)	V _{CO₂} (mL)	R(%)
0	41.5±0.33 ^e	1432±0.28 ^e	79.6±0.22 ^d
1	41.9±1.24 ^e	1430±5.66 ^e	79.5±0.28 ^d
3	37.4±0.56 ^d	1422±4.24 ^d	79.3±0.35 ^d
5	28.2±1.14 ^c	1394±5.23 ^c	78.8±0.14 ^c
7	26.5±0.21 ^b	1380±0.74 ^b	77.6±0.07 ^b
9	25.0±0.41 ^a	1290±1.27 ^a	77.0±0.20 ^a

黄秋葵全粉添加量的增加,面团的总产气量逐渐减小,最大减小幅度为 9.9%,这主要与面粉被黄秋葵全粉替代导致酵母可直接利用的淀粉含量减少有关,而溶胀后的果胶类多糖也可能在一定程度上起到物理屏障作用,限制了酵母和淀粉的接触,从而最终导致酵母的产气能力受到抑制^[23]。显然,总产气量的下降也是直接导致面团最大发酵高度 Hm 值下降的直接原因之一。R 为气体保留系数,反映面团的持气能力。理论上讲,被显著破坏的面筋网络结构可能会引起面团持气能力的显著降低,但这里的结果显然与之不符。由表 4 可知,添加黄秋葵全粉导致 R 值下降,混合粉面团的最小 R 值为 77.0%,相比空白面团的 79.6%,其下降幅度仅为 3.3%,说明黄秋葵全粉虽然引起面团的持气能力下降,但影响程度较小。因此,较为合理的解释正如以上所分析的,果胶类多糖

所起到的束缚作用在一定程度上弥补了面筋网络结构被破坏对持气能力所造成的不良影响。

2.5 黄秋葵全粉对面团动态流变特性的影响

动态流变学试验可以用来测定高聚物的黏弹性模量,从而判断其是以黏性为主还是弹性为主,并同时反映其内部凝胶网络结构的形成情况。其中,储能模量 G' 和损耗模量 G'' 分别反映面团的弹性性质和黏性性质^[11],损耗角正切值 $\tan\delta$ 为 G'' 与 G' 的比值,反映面团弹性特征或黏性特征的增减情况。采用旋转流变仪测定了混合粉面团的动态流变学特性,结果如图 1 所示。由图 1 中可以看出,所有面团的 G' 均大于 G'' ,说明面团内部各组分间相互作用形成了网络结构,表现为弹性为主的凝胶态。黄秋葵全粉的添加显著改变了混合粉面团的黏弹特性,添加量为 1% 时面团的 G' 和 G'' 即表现出急剧升高现象,且随着添加量的进一步增加而继续升高。此外,与空白面团相比,黄秋葵全粉的添加也导致混合粉面团的 $\tan\delta$ 显著减小。这一结果与一些亲水性胶体、富含膳食纤维原料粉对面团黏弹性影响结果相一致^[11,23-24]。

综合文献来 [9,23,34],面团黏弹性增强的可能原因主要有两点:膳食纤维类成分的添加使得混合面团的吸水率提高;膳食纤维类成分与面团中蛋白质和淀粉等大分子物质的相互作用。在本研究中,黄秋葵全粉中富含的膳食纤维增强了混合粉的吸水能力,面团黏性增加;在形成面团后,果胶类多糖-蛋白质-淀

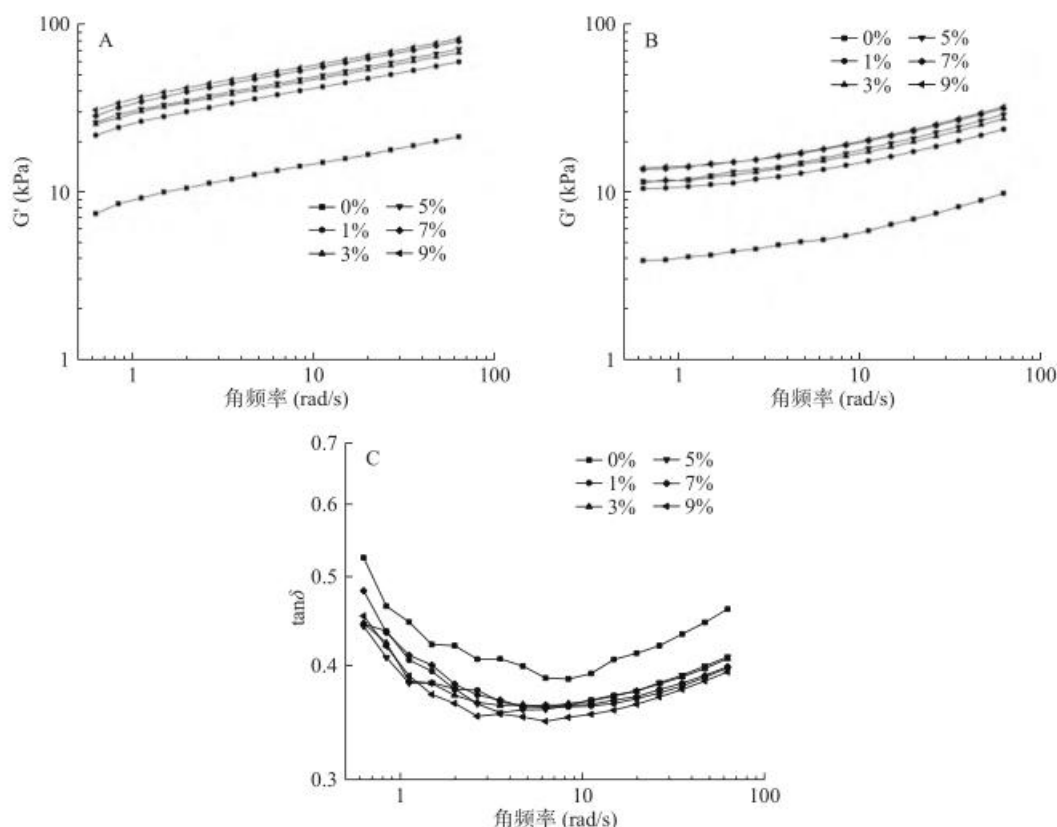


图 1 黄秋葵全粉对面团动态流变学特性的影响

Fig.1 Influence of okra powder on the dynamic rheological properties of the dough

注: A. 储能模量 G' ; B. 损耗模量 G'' ; C. 损耗角正切值 $\tan\delta$ 。

粉形成相互作用的复合体系,混合粉面团内部的缠结点增加,从而增强了面团体系的网络结构,使得面团的弹性增强。 $\tan\delta$ 值减小,说明面团体系中弹性的增强程度高于黏性的增强程度,即混合面团中果胶类多糖增强的大分子相互缠结形成的网络结构占主导地位。

3 结论

黄秋葵全粉的添加显著影响面团的流变学特性。随着添加量的增加,混合粉的蛋白质含量和湿面筋含量均下降,但湿面筋含量下降幅度(79.96%)远大于蛋白质含量下降的幅度(10.94%);面团吸水率由 63.30% 增加到 65.90%,形成时间和稳定时间先下降后上升,但仍低于未添加黄秋葵全粉的面团。黄秋葵全粉的添加使得面团的筋力变差,韧性、延展性以及发酵性能下降,其中最大发酵高度 Hm 值下降了 39.80%。面团的黏弹性随黄秋葵全粉添加量的增加而显著($P<0.05$)增强,且弹性增强占主导地位。结合黄秋葵全粉成分测定结果综合分析认为,黄秋葵全粉中膳食纤维类成分与混合粉流变学特性存在一定程度的关联性。但黄秋葵全粉是一个复杂的多组分体系,其影响面团流变学特性的机制涉及多组分的相互作用。因此,为了加深对黄秋葵全粉影响面团流变学特性的理解以及有针对性的改良黄秋葵复合面制品的品质,未来有必要结合分离提取技术对黄秋葵全粉各主要组分影响面团流变学特性的规律和机制进行深入研究。

参考文献

- [1] NIKPAYAM O, SAFAEI E, BAHREINI N, et al. The effects of okra (*Abelmoschus esculentus* L.) products on glycemic control and lipid profile: A comprehensive systematic review[J]. Journal of Functional Foods, 2021, 87: 104795.
- [2] RANI J, SHELKE A R, BANSAL B, et al. Effect of processing and storage on the physicochemical composition and quality of fresh, canned and dehydrated okra fruits[J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 45: 4410–4416.
- [3] 徐康,杜金华.干燥方法对黄秋葵抗氧化能力的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(5):120–125. [XU K, DU J H. Effects of drying methods on antioxidant capacities of okra fruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(5): 120–125.]
- [4] 胡志高,陈中,张延杰.黄秋葵韧性饼干配方及加工工艺优化研究[J].农产品加工,2017(24):21–25. [HU Z G, CHEN Z, ZHANG Y J. The Optimization of formula and process to hard biscuit by *Hibiscus esculentus* L.[J]. Farm Products Processing, 2017 (24): 21–25.]
- [5] 黄阿根,陈学好,高云中,等.黄秋葵的成分测定与分析[J].食品科学,2007,28(10):451–455. [HUANG A G, CHEN X H, GAO Y Z, et al. Determination and analysis of ingredient in Okra[J]. Food Science, 2007, 28(10): 451–455.]
- [6] 芮鸿飞,周樾波,方佳宁,等.黄秋葵和红秋葵营养成分及评价[J].营养学报,2018,40(1):96–100. [RUI H F, ZHOU L B, FANG J N, et al. Analysis and evaluation of the nutritional components of *Hibiscus esculentus* L. and *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2018, 40(1): 96–100.]
- [7] FAN S, GUO L, ZHANG Y, et al. Okra polysaccharide improves metabolic disorders in high-fat diet-induced obese C57BL/6 mice[J]. Molecular Nutrition & Food Research, 2013, 57(11): 2075–2078.
- [8] 王丽卫,赵兵,洪忠东.黄秋葵药理作用的研究进展[J].现代中药研究与实践,2018,32(1):84–86. [WANG L W, ZHAO B, HONG Z D. Research in pharmacological effects of *Abelmoschus esculentus* [J]. Research and Practice on Chinese Medicines, 2018, 32(1): 84–86.]
- [9] 周剑敏,汤晓智,南婷婷.香菇粉对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响研究[J].中国粮油学报,2014,29(7):7–11. [ZHOU J M, TANG X Z, NAN P P. Effects of *Lentinus Edodes* flour on the thermomechanical and dynamic rheological properties of wheat flour dough[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2014, 29(7): 7–11.]
- [10] COLANTUONO A, FERRACANE R, VITAGLIONE P. Potential bioaccessibility and functionality of polyphenols and cyanopictin from breads enriched with artichoke stem[J]. Food Chemistry, 2018, 245: 838–844.
- [11] 王杰琼,钱海峰,王立,等.燕麦全粉对面团特性及馒头品质的影响[J].食品与发酵工业,2016,42(3):42–47. [WANG J Q, QIAN H F, WANG L, et al. Effect of whole-oat flour on dough properties and quality of steamed bread[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(3): 42–47.]
- [12] LIU W, BRENNAN M, SERVENTI L, et al. Buckwheat flour inclusion in Chinese steamed bread: Potential reduction in glycemic response and effects on dough quality[J]. European Food Research and Technology, 2017, 243(7): 727–734.
- [13] 赵天天,赵丹,马小涵,等.菊糖对面团流变学特性及面包品质的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(7):115–121. [ZHAO T T, ZHAO D, MA X H, et al. Effect of inulin on dough rheological properties and bread quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(7): 115–121.]
- [14] 杨艺.不溶性膳食纤维的添加对面包品质影响机制的研究[D].无锡:江南大学,2019. [YANG Y. Study on the mechanism of how added insoluble dietary fiber influence bread quality [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.]
- [15] 孟凤华,孙凯,冯润芳,等.红枣粉添加量对面团特性及馒头品质的影响[J].食品工业科技,2021,42(5):177–181, 187. [MENG F H, SUN K, FENG R F, et al. Effect of jujube powder addition on dough characteristics and steamed bread quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(5): 177–181, 187.]
- [16] 蔡金鑫.黄秋葵粉对面团和面包质构特性的影响[J].食品工业科技,2019,40(3):20–24. [CAI J X. Effect of okra powder on texture properties of dough and bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(3): 20–24.]
- [17] 辛松林,徐向波,罗文,等.川秋葵超微粉对面团、吐司质构特性及烘焙品质的影响[J].食品科技,2017,42(4):152–156. [XIN S L, XU X B, LUO W, et al. Effects of Sichuan okra superfine powder on texture properties and baking qualities of dough and toast[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(4): 152–

156.]

[18] 崔会娟, 郭兴凤. 面团流变学特性与面制品品质的关系[J]. 粮食加工, 2015, 40(2): 28-31. [CUI H J, GUO X F. The relationship between dough rheological properties and quality of dough products[J]. Grain Processing, 2015, 40(2): 28-31.]

[19] BAI L, ZHU P, WANG W, et al. The influence of extraction pH on the chemical compositions, macromolecular characteristics, and rheological properties of polysaccharide: The case of okra polysaccharide[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 102: 105586.

[20] MOREIRA R, CHENLO F, TORRES M D, et al. Influence of the particle size on the rheological behaviour of chestnut flour doughs[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100(2): 270-277.

[21] 王光瑞, 周桂英, 王瑞. 焙烤品质与面团形成和稳定时间相关分析[J]. 中国粮油学报, 1997, 12(3): 1-6. [WANG G R, ZHOU G Y, WANG R. The correlations between baking quality and dough development time and stability time[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 1997, 12(3): 1-6.]

[22] 李真. 大麦粉对面团特性与面包焙烤品质的影响及其改良剂研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014. [LI Z. Effect of barley flour on dough properties and bread quality and its improver study[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2014.]

[23] 高文倩. 大麦 β -葡聚糖对发酵面制品品质影响机制的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2019. [GAO W Q. Study on the mechanism of the effect of barley β -glucan on the quality of fermented flour products[D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2019.]

[24] 黄莲燕, 王红娜, 张小爽, 等. 燕麦麸皮添加量对面团流变特性及面筋蛋白结构的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 71-76, 91. [HUANG L Y, WANG H N, ZHANG X S, et al. Effects of oat bran addition amount on the dough rheological properties and gluten structures[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(6): 71-76, 91.]

[25] ROSELL C M, COLLAR C, HAROS M. Assessment of hydrocolloid effects on the thermo-mechanical properties of wheat using the Mixolab[J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21(3): 452-462.

[26] GOLDSTEIN A, ASHRAFI L, SEETHARAMAN K. Effects

of cellulosic fibre on physical and rheological properties of starch, gluten and wheat flour[J]. International Journal of Food Science Technology, 2010, 45(8): 1641-1646.

[27] ZHANG Bao, BAI Bin, PAN Yi, et al. Effects of pectin with different molecular weight on gelatinization behavior, textural properties, retrogradation and *in vitro* digestibility of corn starch[J]. Food Chemistry, 2018, 264: 58-63.

[28] CHEN S, QIN L, CHEN T, et al. Modification of starch by polysaccharides in pasting, rheology, texture and *in vitro* digestion: A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 207: 81-89.

[29] 赵清宇, 郑学玲. 面团吹泡特性与拉伸特性的比较研究[J]. 河南工业大学学报, 2012, 33(4): 11-16. [ZHAO Q Y, ZHENG X L. Comparison of alveograph property and extensograph property of dough[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2012, 33(4): 11-16.]

[30] 王晓阳, 鲍庆丹, 王凤成. 小麦粉的吹泡仪指标与北方馒头品质关系研究[J]. 粮食与饲料工业, 2010, 10: 18-20. [WANG X Y, BAO Q D, WANG F C. The studies on the relationship between alveograph characteristics and Northern steamed bread making quality of flours[J]. Cereal & Feed Industry, 2010, 10: 18-20.]

[31] 赵君兰. 全自动吹泡仪及其应用[J]. 现代面粉工业, 2018, 2: 19-23. [ZHAO J L. Automatic alveograph and its application[J]. Modern Flour Milling Industry, 2018, 2: 19-23.]

[32] 曹征南, 刘建福, 马亚茹. 豌豆膳食纤维粒径对面包面团及面包品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(19): 8-12. [CAO Z N, LIU J F, MA Y R. Effect of pea dietary fiber particle size on dough properties and bread quality[J]. Food Research and Development, 2021, 42(19): 8-12.]

[33] GAN Z, GALLIARD T, ELLIS P R, et al. Effect of the outer bran layers on the loaf volume of wheat bread[J]. Journal of Cereal Science, 1992, 15(2): 151-153.

[34] LIU X, MU T, SUN H, et al. Influence of different hydrocolloids on dough thermo-mechanical properties and *in vitro* starch digestibility of gluten-free steamed bread based on potato flour[J]. Food Chemistry, 2018, 239: 2064-2074.