

# 瓜尔豆胶对马铃薯-小麦混合粉 面团质构和流变特性的影响

陈前,李娜,贺晓光\*,乔芦,禹文杰

(宁夏大学农学院,宁夏银川 750021)

**摘要:**本文探究了添加量为0(对照组)、0.3%、0.6%、0.9%、1.2%和1.5%的瓜尔豆胶对马铃薯含量为35%的混合面团质构特性和流变特性的影响。结果表明:改良面团属于假塑性流体,具有剪切稀化特性。添加瓜尔豆胶能减小面团的硬度,改善拉伸特性,增大弹性模量和黏性模量,降低损耗角正切值、应变值和蠕变柔量,使面团高聚物含量增大,聚合度提高。其中,瓜尔豆胶添加量为0.9%的混合面团硬度适中,拉伸距离最大;弹性模量和黏性模量与对照组接近,黏弹性好;应变值、蠕变速率和蠕变柔量最小,表明面团内部强度大,在外力作用下,面团抗变形能力强;面团蠕变回复率和可回复性柔量最大,面团在撤去外力后,回复能力强。所以瓜尔豆胶添加量为0.9%的混合面团,适用于制作马铃薯主食产品。

**关键词:**马铃薯全粉,小麦粉,面团,瓜尔豆胶,质构特性,流变特性

## Effect of Guar Gum on Texture and Rheology Property of Potato-Wheat Dough

CHEN Qian, LI Na, HE Xiao-guang\*, QIAO Lu, YU Wen-jie

(School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

**Abstract:** In this paper, the influence of guar gum 0 (control group), [(0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2% and 1.5%)] on the textural and rheological properties of the mixed dough with 35% potato content were investigated. The results showed that the modified dough was a pseudoplastic fluid with shear thinning characteristics. The addition of guar gum could reduce the hardness of dough, improve the tensile properties, increase the modulus of elasticity and viscosity, reduce the tangent value of loss angle, strain value and creep compliance, increase the content of high polymer in dough and the degree of polymerization. Among them, the mixed dough with 0.9% guar gum had a moderate hardness and the largest tensile distance. The elastic modulus and viscosity modulus were close to the control group with good viscoelasticity. The strain value, creep change rate and creep compliance were the least, indicating that the dough has high internal strength and strong resistance to deformation under the action of external forces. The creep recovery rate and resilience flexibility of dough were the highest, and the dough had strong recovery ability after removing external forces. Therefore, the mixed dough with 0.9% guar gum was suitable for potato staple products.

**Key words:** potato flour; wheat flour; dough; guar gum; texture property; rheological property

中图分类号: TS202.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)06-0198-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.06.033

**引文格式:**陈前,李娜,贺晓光,等.瓜尔豆胶对马铃薯-小麦混合粉面团质构和流变特性的影响[J].食品工业科技, 2020, 41(6): 198-203.

马铃薯是世界第四大粮食作物,仅次于水稻、小麦和玉米<sup>[1]</sup>。马铃薯块茎是全球公认的全营养食品,富含人体所需的碳水化合物、蛋白质、膳食纤维、维生素及矿物质等营养素。其中,马铃薯含有的蛋白质为完全蛋白,具有人体所必需的18种氨基酸,氨基酸的含量和比例也符合人体所需,而且赖氨酸含量丰富,能够

与大米、小麦等主粮互补<sup>[2]</sup>。2015年,农业部启动马铃薯主粮化发展战略<sup>[3]</sup>,国内对于马铃薯全粉的需求量增大。与小麦粉相比,马铃薯全粉具有水分含量低、耐储存、营养价值高等优点,缺点是马铃薯全粉中淀粉成分主要为支链淀粉,不含面筋蛋白,无法形成具有粘弹性的网络结构,降低了面团的加工特性<sup>[4]</sup>。马铃薯全

收稿日期: 2019-06-25

作者简介: 陈前(1995-),男,硕士研究生,研究方向:农产品加工与贮藏, E-mail: c4422999@163.com。

\* 通讯作者: 贺晓光(1963-),男,本科,教授,研究方向:食品加工与食品机械, E-mail: 13995015705@163.com。

基金项目: 马铃薯主粮化加工产品与深加工技术研究;马铃薯淀粉加工废弃物资源化利用关键技术研究示范(2019BBF02028)。

粉与小麦粉混合使用可以实现营养和加工性能互补,尤其是制作各类主食加工食品<sup>[5]</sup>。姚佳<sup>[6]</sup>在小麦粉中添加了20%的马铃薯全粉制得形状完整,柔软有弹性,咀嚼口感好的马铃薯营养馒头。杨健<sup>[7]</sup>研究表明,马铃薯全粉添加量在35%时,混合面团几乎不能形成整片的面筋膜,面筋结构遭到严重破坏,加水后面絮松散易流失,面团易反水发黏。这些文献表明在马铃薯全粉添加量较少时,可增加混合面团营养成分和风味物质,但随着马铃薯全粉添加量的上升,所得混合面团存在成形难、品质差等问题。

相关研究表明,在混合面团中加入改良剂,能有效改善面团的质构特性和流变特性。刘颖<sup>[8]</sup>研究表明,马铃薯全粉与小麦粉混合后,所制面团特性明显变差,加工性能下降;添加阿拉伯胶和葡萄糖氧化酶的面团结构紧密,淀粉颗粒被牢牢包裹;添加木聚糖酶的面团面筋网络结构中的孔洞增多,面团加工性能得到提高。周玉洁<sup>[9]</sup>研究表明,添加瓜尔豆胶后的锥栗淀粉溶液具有剪切变稀现象,属于假塑性流体,随着角频率的增加,面团的弹性模量和黏性模量也增大。刘敏<sup>[10]</sup>研究表明,添加不同比例的黄原胶使莲藕淀粉糊的剪切应力不同程度降低,加入黄原胶后的淀粉糊仍为假塑性流体,但是具有更好的增稠作用。

目前,国内外关于改良剂对混合面团的研究已有很多,但有关亲水性胶体对于马铃薯-小麦混合粉面团质构和流变特性系统的报道较为鲜见。瓜尔豆胶是一种典型的亲水性胶体,具有很强的增稠效果,可使面团柔韧,切割时面条不易断裂,可增加面条的韧性。因瓜尔豆胶是天然胶,不同于CMC羧甲基纤维素含有不良化学物质,而且黏度比CMC高,所以使用量较少,可使产品品质提高而降低成本。面团的形成是制作马铃薯主食的关键,加入瓜尔豆胶可提高面团的吸水性和持水性,解决高配比马铃薯面团难形成问题。因此,本文使用质构仪和流变仪,探究瓜尔豆胶对马铃薯-小麦混合粉面团质构特性和流变特性的影响,确定瓜尔豆胶在马铃薯-小麦混合粉面团中最适添加量,以期开发基于马铃薯-小麦混合粉的主食产品提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

马铃薯全粉 临洮三江马铃薯制品(集团)有限责任公司;高筋小麦粉(每100g小麦粉含蛋白质11.5g、脂肪1.0g、碳水化合物74.0g)宁夏塞北雪面粉有限公司;瓜尔豆胶 北京瓜尔润科技股份有限公司。

TA-Xt plus 质构分析仪 英国 Stable Micro Systems 有限公司;HR-1 Discovery 流变仪 美国 TA 公司;AB104-N 型分析天平 梅特勒-托利多(上海)制造。

### 1.2 实验方法

1.2.1 对照组面团的制备 称取130g高筋小麦粉和70g马铃薯全粉(马铃薯全粉占总质量分数35%),加入80%(以马铃薯全粉和小麦粉总质量计)的水,和面5min,混合均匀直至无生粉夹杂,置于室温

下醒发30min,将醒发好的面团用保鲜袋密封。

1.2.2 不同比例瓜尔豆胶混合面团制备 称取130g高筋小麦粉和70g马铃薯全粉(马铃薯全粉占总质量分数35%),分别称取0.3%、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%(以马铃薯全粉和小麦粉总质量计)不同比例的瓜尔豆胶,加入到80%(以马铃薯全粉和小麦粉总质量计)的水中,使用搅拌器使胶体充分溶解分散,将胶体溶液加入到混合粉中,和面5min,混合均匀直至无生粉夹杂,置于室温下醒发30min,将醒发好的面团用保鲜袋密封。食品添加剂的用量范围参照GB 2760-2014《食品添加剂使用标准》<sup>[11]</sup>。

1.2.3 面团质构测定 取50g醒发好的面团,制成4cm×3cm×3cm的长方体,使用质构仪对面团进行TPA测试<sup>[12]</sup>,每组样品测试3个面团。测定条件:选择TPA(texture profile analysis)测试程序,选择使用P/36R探头,测前速率为1.00mm/s,测中速率1.00mm/s,测后速率为2.00mm/s,应变量为50%,触发力5g。测量面团的硬度、弹性、咀嚼性和黏性。

1.2.4 面团拉伸特性测定 取30g醒发好的面团,调节压面机的辊间距为2mm,延压2次,最后制得长16cm,宽2cm,厚2mm的面带,采用质构仪的面条拉伸程序测定面带的拉伸性质<sup>[13]</sup>,每组样品测定5根面带,计算平均值。测定条件:选择Noodle tensile strength-NOO1-SPR.PRG测定程序,选择使用测前速度:1.00mm/s,测试速度:1mm/s,测后速度:2mm/s,拉伸距离:50mm,触发力5g。测量面团的抗拉力和拉伸距离。

1.2.5 面团流变特性测定 取5g醒发好的面团揉团放入流变仪进行测定,测试探头直径为40mm,两平板的间距为3mm,刮去多余的样品,在夹具边缘涂上二甲基硅油,防止水分挥发,减少试验误差。测定程序及条件参考<sup>[14-16]</sup>并加以修改。探头下压后统一将样品在25℃条件下平衡3min,以排除面团中残余机械作用力对结果造成影响。

频率扫描测试:应力0.1%,温度25℃,频率0.1~10Hz。测试得到样品的 $G'$ 、 $G''$ 与损耗角正切值( $\tan\delta = G''/G'$ )随着频率的变化曲线。

蠕变-恢复扫描测试:恒定压力50Pa扫描5min后,撤掉应力观察6min内样品的应力恢复。

稳态剪切扫描测试:恒定温度25℃,剪切速率变化范围0.01~10s<sup>-1</sup>,观察在不同剪切力速率变化下面团黏度的变化。

### 1.3 数据处理

所有数据平行3次,结果以均值±标准方差(mean±SD)表示,根据Duncan多重检验法,利用SPSS 22软件(IBM公司,USA)对数据进行方差分析(ANOVA),置信区间95%( $P < 0.05$ ),使用Origin 2017软件进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 瓜尔豆胶对马铃薯-小麦混合粉面团质构影响

由表1可知,添加了瓜尔豆胶的面团硬度要远小于对照组面团,原因是加入瓜尔豆胶后,增加了面团的吸水率,对面筋强度有弱化作用<sup>[17]</sup>。也有可

表1 不同比例瓜尔豆胶对面团质构特性影响(n=3)

Table 1 Effect of different proportions of guar gum on texture properties of dough(n=3)

瓜尔豆胶添加量(%)	硬度(g)	弹性	咀嚼性(g)	黏性
0(对照组)	3171.37 ± 118.17 <sup>a</sup>	46.40 ± 2.31 <sup>a</sup>	501.80 ± 12.83 <sup>a</sup>	-415.81 ± 31.40 <sup>c</sup>
0.3	2220.24 ± 200.47 <sup>b</sup>	48.13 ± 3.98 <sup>a</sup>	375.91 ± 13.74 <sup>d</sup>	-744.97 ± 72.08 <sup>ab</sup>
0.6	2042.20 ± 344.31 <sup>b</sup>	47.27 ± 2.28 <sup>a</sup>	345.04 ± 23.74 <sup>d</sup>	-646.07 ± 101.66 <sup>b</sup>
0.9	2424.24 ± 164.11 <sup>b</sup>	46.80 ± 3.64 <sup>a</sup>	408.92 ± 28.18 <sup>c</sup>	-503.68 ± 52.67 <sup>c</sup>
1.2	2762.39 ± 315.78 <sup>ab</sup>	46.44 ± 1.93 <sup>a</sup>	452.02 ± 11.13 <sup>b</sup>	-619.74 ± 92.27 <sup>b</sup>
1.5	2930.46 ± 111.52 <sup>a</sup>	46.30 ± 1.39 <sup>a</sup>	543.79 ± 88.07 <sup>b</sup>	-814.49 ± 66.65 <sup>a</sup>

注:同列之间不同字母表示数据之间具有显著性差异( $P < 0.05$ )。表2同。

能是因为面筋蛋白和淀粉颗粒的吸水溶胀受影响,在相同的和面时间下,无法形成与对照组相同面筋强度的面团,所以面团的硬度有所下降。王雨生<sup>[18]</sup>在面包的制作中也得出,加入瓜尔豆胶可降低面团的硬度。而随着瓜尔豆胶的添加量逐渐增大,面团的硬度出现先减小后增大的变化趋势,瓜尔豆胶添加量在0.6%时,面团硬度最小,为(2042.20 ± 344.31)g,相比于对照组来说,下降了35%。原因可能是该添加量的瓜尔豆胶与淀粉分子形成复合物,不能很好的填充面团的面筋网络结构,使得面团的硬度减小<sup>[19]</sup>。当瓜尔豆胶添加量大于0.6%时,面团的硬度有所增大。可能是因为大于此添加量后,瓜尔豆胶吸水形成稳定的三维网状结构对面团的面筋结构有着补充作用。

对于面团的弹性,添加瓜尔豆胶后,面团并未出现显著性变化。

对于面团的咀嚼性,反应面团内部强度大小,随着瓜尔豆胶添加量逐渐增大,面团的咀嚼性出现与面团硬度相同的变化趋势,均为先减小后增大。瓜尔豆胶添加量在0.9%时,面团的咀嚼性开始增加,说明在此添加量下,瓜尔豆胶形成的胶体结构对面团内部结构有增强作用。当瓜尔豆胶添加量为1.5%时,面团的咀嚼性大于对照组,原因可能是瓜尔豆胶添加量过高,面团内部形成稳定的胶体结构,凝胶性更强,咀嚼性增加。

对于面团的黏性,添加瓜尔豆胶可提高面团的黏性,改良面团的黏性都高于对照组面团的黏性,并随着瓜尔豆胶添加量的增大,面团的黏性出现先增大后减小再增大的变化趋势。原因是瓜尔豆胶充分水化后,形成粘稠,滑腻的胶冻状的大分子物质,可以提高面团的黏度<sup>[20]</sup>。瓜尔豆胶添加量在0.9%时,面团的黏性与对照组相近。其他添加量所制得面团黏性都大于对照组。原因可能是在较低添加量情况下,瓜尔豆胶吸收大量水分,充分水化,提高了面团的黏度。添加量在0.9%时,瓜尔豆胶与面筋蛋白竞争吸收体系中的水分,导致黏度下降。而在添加量大于0.9%情况下,瓜尔豆胶吸收水分,与淀粉分子形成复合物凝胶性更强,具有较高的黏性。刘思琪<sup>[21]</sup>通过研究发现,随着瓜尔豆胶添加量增加,溶液的黏性呈现先减小后增大的趋势。

## 2.2 瓜尔豆胶对马铃薯-小麦混合粉面团的拉伸特性影响

由表2可知,随着瓜尔豆胶添加量的增加,面团

的抗拉力先减小后增大,当瓜尔豆胶添加量为0.6%时,抗拉力最小。随着瓜尔豆胶的增加,面团的拉伸距离呈现先增大后减小的趋势,当瓜尔豆胶添加量为0.9%时,面团的拉伸距离达到最大值,原因可能是因为瓜尔豆胶与蛋白质相互作用形成网络结构,使面团的拉伸特性有所提高<sup>[22]</sup>。当瓜尔豆胶添加量为1.5%时,面团的抗拉力达到最大值,拉伸距离达到最小值。添加量过高,面团的品质有所下降,原因可能是瓜尔豆胶添加过多后,影响面团面筋网络吸水过程,面团没有形成足够强度的面筋,而且形成的面团凝胶性更强,所以抗拉力增大,拉伸距离减小。钱晶晶<sup>[22]</sup>探究了两种瓜尔豆胶对面条拉伸特性的影响,其中瓜尔豆胶G<sub>1</sub>与本实验结果一致。

表2 不同比例瓜尔豆胶对面团拉伸特性影响(n=3)

Table 2 Effect of different proportions of guar gum on tensile properties of dough(n=3)

瓜尔豆胶添加量(%)	抗拉力(g)	拉伸距离(mm)
0(对照组)	50.73 ± 1.30 <sup>bc</sup>	24.06 ± 1.73 <sup>a</sup>
0.3	48.65 ± 8.37 <sup>bc</sup>	25.90 ± 0.89 <sup>ab</sup>
0.6	42.04 ± 3.39 <sup>c</sup>	27.83 ± 5.08 <sup>b</sup>
0.9	58.48 ± 6.23 <sup>b</sup>	32.23 ± 3.72 <sup>b</sup>
1.2	67.30 ± 6.83 <sup>ab</sup>	28.59 ± 2.04 <sup>b</sup>
1.5	71.86 ± 6.54 <sup>a</sup>	22.75 ± 5.34 <sup>ab</sup>

## 2.3 瓜尔豆胶对马铃薯-小麦混合粉面团流变特性的影响

2.3.1 改良面团的动态频率扫描 采用流变仪动态震荡模式可测定面团的黏弹性。不同添加量瓜尔豆胶形成的面团弹性模量G'、黏性模量G''、损耗角正切值tanδ(G''/G')随频率的变化曲线如图1所示。弹性模量表示物体受到力时,物体的形变程度。G'越大,物体受力形变程度越小。黏性模量表示受到力时,阻碍物质流动的特性,G''越大,物体不易流动<sup>[23]</sup>。tanδ是描述样品弹性与黏性特征相对大小的值,在一定范围内可以表示材料的状态。tanδ < 1,物质趋向于凝胶或固体的性质;tanδ > 1,物质趋向于流体或黏体的性质<sup>[24]</sup>。tanδ还可以用来描述面团体系中高聚物含量和聚合度,其值越小说明高聚物含量越多,聚合度越大<sup>[25]</sup>。

由图1a和图1b可知,随着频率的增加,面团的G'和G''也随之增大,且在整个频率扫描过程中,面团



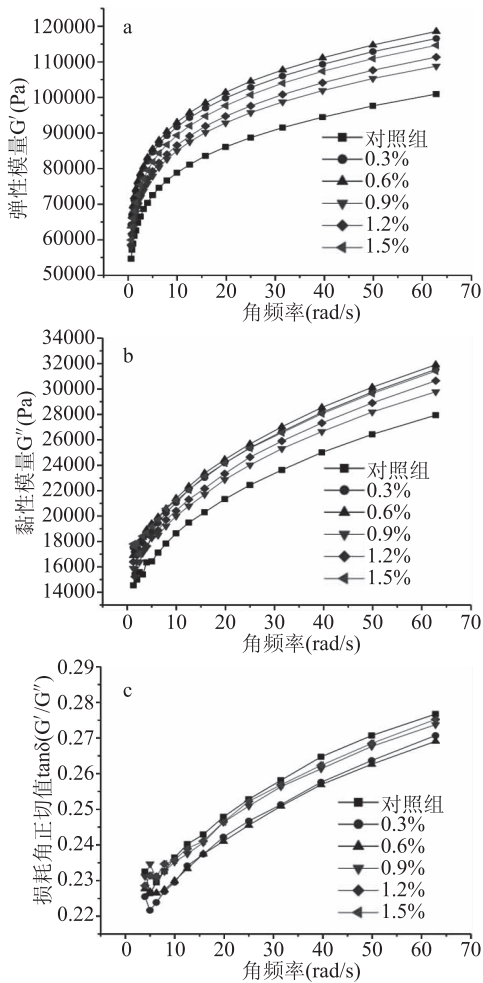


图1 不同瓜尔豆胶添加量面团频率扫描结果  
Fig.1 Scanning results of dough frequency with different addition amount of guar gum

的  $G''$  均小于  $G'$ , 二者之比  $\tan\delta$  均小于 1 (图 1c), 说明面团的黏弹性增加并更趋近于凝胶状态。可能是因为瓜尔豆胶充分水化后, 通过主链之间氢键等非共价键的作用形成具有一定粘弹性的连续性的三维网络结构, 这种结构类似与面筋网络结构的功能, 可提高面团的黏弹性<sup>[26]</sup>。瓜尔豆胶添加量为 0.6% 时, 面团的  $G'$  和  $G''$  最大 (图 1a、图 1b),  $\tan\delta$  最小 (图 1c)。说明此添加量下面团的高聚物含量最多, 聚合度最大, 凝胶性质过强。添加量在 0.9% 时, 面团的  $G'$  和  $G''$  与对照组最为接近 (图 1a、图 1b),  $\tan\delta$  值比对照组小 (图 1c)。说明在此添加量下, 面团的高聚物含量增多, 聚合度增大, 而且黏弹性适中, 适合用于制作马铃薯主食产品。

**2.3.2 改良面团蠕变-蠕变回复扫描** 蠕变及蠕变回复扫描是以非破坏性手段测定黏弹性物质的黏性部分和弹性部分<sup>[27]</sup>。蠕变是保持应力不变的条件下, 应变随时间延长而增加的现象。反应出材料内部结构强度大小。蠕变回复是除去施加的应力, 在蠕变延伸的相反方向上应变随时间而减小的现象。反映了它内部结构抵抗滑移变形的能力<sup>[28]</sup>。

面团的蠕变及蠕变回复曲线由图 2 所示, 在前 300 s 内, 在保持 50 Pa 恒定压力下, 面团的应变值逐

渐增加, 在后 360 s 撤去 50 Pa 的恒定压力, 面团的应变值逐渐减小。在蠕变阶段, 添加瓜尔豆胶的面团最大应变值都小于对照组, 由于内部结构强度大的面团, 抵抗形变的能力要大于结构强度较弱的面团。所以添加瓜尔豆胶可使面团内部强度增大, 能更加有效抵御面团变形。在蠕变回复阶段, 添加不同比例瓜尔豆胶的面团回复有差异性。瓜尔豆胶添加量 0.9% 时, 面团在外力作用下应变最小, 变化的速率最慢, 面团的蠕变回复率最大。说明在此添加量下, 面团内部强度最大, 受外力作用时, 能有效抵御面团变形; 撤去外力后, 面团有很好的恢复力。此添加量对面团内部有良好改善作用, 适合用于制作马铃薯主食产品。

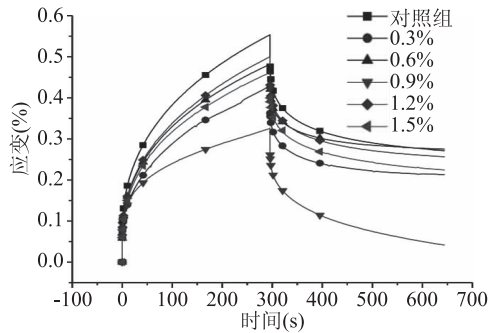


图2 不同瓜尔豆胶添加量面团蠕变-蠕变回复扫描结果  
Fig.2 Creep and creep recovery scanning results of dough with different guar gum content

蠕变柔量 ( $J_e$ ) 与样品的柔性相关, 柔量大的样品其内部结构比较脆弱, 反之柔量小的样品其内部结构较强或较为僵硬<sup>[29]</sup>。如图 3 所示, 在 50 Pa 恒定压力蠕变阶段, 添加瓜尔豆胶后的面团柔量都小于对照组, 可以说明添加瓜尔豆胶后的面团其内部结构更加稳定。且添加量为 0.9% 时, 面团柔量最小及面团内部结构最为稳定。如图 4 所示, 撤去 50 Pa 的恒定压力蠕变回复阶段, 瓜尔豆胶添加量为 0.9% 时, 面团的回复性柔量随时间增长达最大值, 且回复速率最快。说明面团内部结构较强, 回复能力强, 面团蠕变性能改良较好。

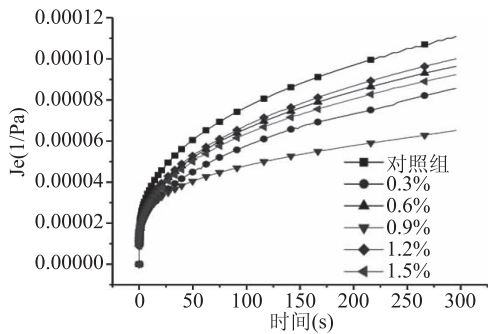


图3 柔量变化图  
Fig.3 Changes in compliance

**2.3.3 改良面团稳态剪切扫描** 根据物质的黏性流动行为, 可将物质分为牛顿流体和非牛顿流体, 前者黏度不受剪切速率变化而变化, 是一条平行于剪切速率的直线。后者黏度受剪切速率的影响, 呈现一种非线性的关系。如图 5 所示, 面团黏度随剪切速

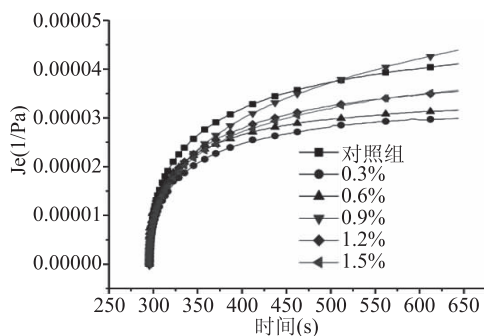


图4 可回复柔量变化图

Fig.4 Changes in reply to compliance

率的增加而呈下降趋势,表明面团具有剪切稀化特性,属于非牛顿流体中的假塑性流体。出现这种现象的原因是面团形成一定的网络结构,阻碍了淀粉分子的趋向运动,在静止时阻碍内部流动,具有较强的黏性。当面团在剪切应力作用下时,分子顺着流动方向的取向,网络结构缠绕的链状分子被拉直、取向、解缠绕,从而降低黏度<sup>[30]</sup>。当剪切速率大于 $4\text{ s}^{-1}$ ,表观黏度趋于稳定值,这是因为剪切力作用使面团内部的网络结构发生重组或破坏,导致黏度变低。随着剪切速率继续增大,面团的内部的组织结构逐渐形成最佳取向,此后,继续增加剪切速率也不会发生剪切稀化<sup>[31]</sup>。由图5可知,加入瓜尔豆胶对于面团剪切力扫描结果影响不大,原因可能瓜尔豆胶溶于水后,形成的胶体物质也属于非牛顿流体。潘承慧<sup>[32]</sup>研究表明,瓜尔豆胶和果胶的复配溶液为非牛顿流体的假塑性流体。

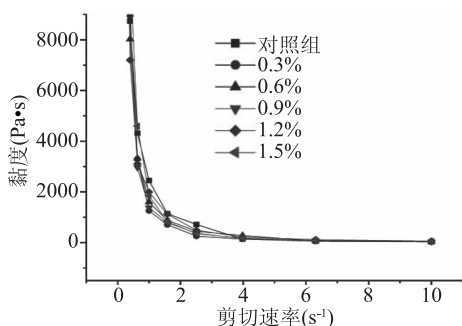


图5 稳态剪切结果图

Fig.5 Results of typical flow curve

### 3 结论

研究表明,添加瓜尔豆胶能有效降低马铃薯-小麦混合粉面团的硬度,改善面团的黏弹性和拉伸性。流变学测定可知,面团具有剪切稀化特性,属于非牛顿流体中的假塑性流体,当剪切速率大于 $4\text{ s}^{-1}$ ,表观黏度趋于稳定值。添加瓜尔豆胶可增大面团的 $G'$ 、 $G''$ 和高聚物含量,增强聚合度,使得面团内部强度增大。通过各方面综合比较,0.9%的瓜尔豆胶添加效果最佳,在此添加量的面团,硬度适宜,拉伸距离最大, $G'$ 和 $G''$ 与对照组接近,黏弹性适中,柔量最小及面团内部结构最为稳定,能有效抵御外力产生的应变,且回复能力最强,适合用于制作马铃薯主食产品。

### 参考文献

- [1] Xing-li L, Tai-hua M, Hong-nan S, et al. Influence of potato flour on dough rheological properties and quality of steamed bread [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15 (11): 2666-2676.
- [2] 曾凡远, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述 [J]. 中国马铃薯, 2015, 29(4): 233-243.
- [3] 何贤用, 杨松. 马铃薯主粮化与马铃薯全粉及其生产线 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(24): 378-379.
- [4] 买玉花, 王彩霞, 贺晓光, 等. 响应面-主成分分析法优化马铃薯饼干配方 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(21): 185-190.
- [5] 王胜男. 马铃薯全粉性质和应用性能研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2018.
- [6] 姚佳, 邓峰, 杨佳宁, 等. 马铃薯馒头的研制与品质改良研究 [J]. 食品科技, 2019, 44(2): 164-169.
- [7] 杨健, 康建平, 张星灿, 等. 马铃薯全粉对面条品质影响的主成分分析研究 [J]. 粮油食品科技, 2019, 27(1): 17-23.
- [8] 刘颖, 张丹, 刘丽宅. 马铃薯-小麦混合粉面团制备及品质改良研究 [J]. 食品工业科技, 2017, 38(6): 137-141.
- [9] 周玉杰, 李安平, 杨玉蓉, 等. 瓜尔豆胶对锥栗淀粉糊化和流变学特性的影响 [J]. 食品科学, 2017, 38(23): 65-69.
- [10] 刘敏, 赵欣, 阙健全, 等. 黄原胶对莲藕淀粉糊化性质及流变与质构特性的影响 [J]. 食品科学, 2018, 39(6): 45-50.
- [11] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准 [S]. 2014.
- [12] 张令文, 姜世焱, 计红芳, 等. 天然菊粉对面团流变学及面条品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 28-32.
- [13] 孙彩玲, 田纪春, 张永祥. 质构仪分析法在面条品质评价中的应用 [J]. 实验技术与管理, 2007(12): 40-43.
- [14] 邹建军, 谢岩黎. 蛋白、多糖及亲水胶体的流变特性研究 [J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2015, 36(3): 12-17.
- [15] Duqin Z, Taihua M, Hongnan S. Comparative study of the effect of starches from five different sources on the rheological properties of gluten-free model doughs. [J]. Carbohydrate polymers, 2017, 176.
- [16] 马莹. 马铃薯全粉蛋糕工艺研究及品质分析 [D]. 银川: 宁夏大学, 2018.
- [17] 汪磊. 烩面面团加工特性研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
- [18] 王雨生, 陈海华, 王坤. 亲水胶体对面包品质和面团流变学特性的影响 [J]. 食品科学, 2013, 34(13): 105-109.
- [19] Mir S A, Shah M A, Naik H R, et al. Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads [J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 51: 49-57.
- [20] 阙健全. 食品化学(第二版) [Z]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008: 403-404.
- [21] 刘思琪. 全葡萄饮料生产工艺参数及配方的研究 [D]. 齐齐哈尔: 齐齐哈尔大学, 2012.
- [22] 钱晶晶. 添加剂对速冻熟面品质影响及其流变学特性研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2011.
- [23] Jan K N, Panesar P S, Rana J C, et al. Structural, thermal and

rheological properties of starches isolated from Indian quinoa varieties[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2017, 102.

[24] 王晓曦, 范玲, 马森, 等. 麦麸酚基木聚糖对发酵面团特性和馒头品质的影响[J]. 农业工程学报, 2015, 31(17): 302-307.

[25] 韩薇薇, 郭晓娜, 朱科学, 等. 水溶性胶体对无麸质面团流变学特性及面包品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 15-19.

[26] 周惠明. 面粉添加剂在专用小麦粉生产中的重要作用[J]. 中国商办工业, 2000(7): 40-42.

[27] 邝婉湄. 流变学分析在搅打奶油品质评价中的应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.

(上接第 184 页)

液料比 17:1 mL/g, 提取温度 66 °C, 提取时间 64 min, 提取率可达 58.99%, 其中液料比和提取温度存在显著交互作用; 液料比和提取时间存在显著交互作用; 提取温度和提取时间不存在显著交互作用; 通过验证试验, 证实了该提取工艺可靠性较高, 实际可行性较高, 具有较强的实际应用价值; 本研究对榛子油产品进行 GC 分析结果显示: 榛子油的脂肪酸主要以不饱和脂肪酸为主, 占脂肪酸总量的 96% 以上, 其中油酸含量高达 82.59%, 亚油酸含量为 12.58%, 同时还含有少量 DHA 等, 不仅可供食用还有一定的医疗保健作用, 具有较多的潜在开发价值。

### 参考文献

- [1] 刘景圣, 郑鸿, 袁媛, 等. 超临界 CO<sub>2</sub> 萃取榛子油工艺条件的研究[J]. 食品科学, 2003, 24(8): 96-98.
- [2] 吕春茂, 葛君, 孟宪军, 等. 平欧榛子油对高血脂大鼠部分器官的修复效应[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(4): 429-437.
- [3] 胡滨, 潘婉舒, 刘换丽, 等. 微波辅助提取榛子油及其脂肪酸组成分析[J]. 中国食品学报, 2016, 16(12): 151-161.
- [4] 宋玉卿, 于殿宇, 王瑾, 等. 水酶法提取榛子油工艺条件研究[J]. 食品科学, 2008, 9(8): 261-264.
- [5] 马勇, 周佩. 榛子粉的主要成分和功能特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 4(11): 72-75.
- [6] 陆美芳. 坚果类食物的营养保健功能[J]. 中外食品, 2006(1): 52-53.
- [7] Anonymous. Agricultural product profiles [EB/OL]. (2001-09-08) [2019-06-01] <http://www.Igeme.gov.tr/tur/foylar/tarim/frame.html>.
- [8] 高洁, 王勇, 董文宾, 等. 响应面法优化超临界 CO<sub>2</sub> 提取大豆胚芽油工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(2): 53-56.
- [9] 刘媛媛, 张文斌, 李鹏飞, 等. 水代法提取葵花籽油及乳状液的破除[J]. 食品工业科技, 2016(19): 180-184, 191.
- [10] 刘印志, 胡淑珍, 曾祥菊, 等. 榛子油的研究进展[J]. 中国油脂, 2017, 42(10): 22-25.
- [11] 田宝江. 一种榛子油的制取方法: CN101338246 [P]. 2009-01-07.
- [12] 王胜男, 江连洲, 李杨, 等. 响应面法优化碱性蛋白酶提取榛子油工艺[J]. 中国油脂, 2011, 36(12): 66-69.

[28] 吴伟都, 朱慧, 王雅琼, 等. 搅拌型酸乳蠕变恢复性能的研究[J]. 食品科技, 2018, 43(7): 90-93.

[29] Sozer N. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums [J]. Food Hydrocolloids, 2008, 23(3).

[30] G Schramm. 实用流变测量学 [G]. 北京: 石油工业出版社, 2009.

[31] Bellalta P, Troncoso E, Zúñiga R N, et al. Rheological and microstructural characterization of WPI-stabilized O/W emulsions exhibiting time-dependent flow behavior [J]. LWT - Food Science and Technology, 2012, 46(2): 375-381.

[32] 潘承慧, 姜启兴, 夏文水, 等. 瓜尔豆胶及其复配溶液的流变特性研究[J]. 食品科技, 2018, 43(12): 281-286.

[13] Uquiche E, Jer É Z M, Ort Í Z J. Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (Gevuina avella-na Mol) [J]. Innov Food Sci Emerg Technol, 2008, 9(4): 495-500.

[14] 仝梦卓, 赵文恩. 榛子的综合利用[J]. 广州化工, 2013, 41(21): 28-30.

[15] 李秀霞. 生物学实践指导 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2013: 245-247.

[16] 李秀霞. 生物学实践指导 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2013: 101-103.

[17] 陆恒. 油料蛋白质的综合利用 [J]. 中国食物与营养, 2001, 3: 15-17.

[18] 张莹莹, 毛向红, 张建英. 石门核桃品种‘魁香’坚果品质比较分析 [J]. 河北林业科技, 2019, 6(2): 6-8.

[19] 沈奇, 王仙萍, 杨森, 等. 紫苏籽主要营养成分含量分析 [J]. 西南农业学报, 2019, 32(8): 1904-1908.

[20] 张丽美, 杨婷婷, 胡蒋宁, 等. 超声波辅助提取茶粕多糖及其抗氧化活性 [J]. 食品科学, 2013, 34(18): 36-40.

[21] 刘全德, 唐仕荣, 王卫东, 等. 响应面法优化超声波-微波协同萃取生姜多糖工艺 [J]. 食品科学, 2010, 31(18): 124-128.

[22] 杨青珍, 王锋, 李康. 超声波辅助提取榛子油的工艺条件优化 [J]. 中国粮油学报, 2011, 26(8): 58-61.

[23] Tsukui A, Santos Júnior H M, Oigmana S S, et al. Microwave-assisted extraction of green coffee oil and quantification of diterpenes by HPLC [J]. Food Chemistry, 2014, 164(12): 266-270.

[24] 蔡冰, 陈钢, 温露, 等. 鹅胆子油微囊中油酸与亚油酸含量的气相色谱法测定 [J]. 时珍国医国药, 2011, 22(5): 1057-1058.

[25] Turana D, Yesilcubuk N S, Akoha C C. Enrichment of sn-2 position of hazelnut oil with palmitic acid: Optimization by response surface methodology [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 50(2): 766-772.

[26] 王明清. 榛子油理化特性及脂肪酸组成分析 [J]. 中国油脂, 2003, 28(8): 69-70.

[27] Ozkal S G, Salgin U, Yener M E. Supercritical carbon dioxide extraction of hazelnut oil [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 69(2): 217-223.