

稻米-高筋小麦混合粉面团大形变力学特征研究

陈凤莲, 安然, 郭银梅, 贺殷媛, 刘琳琳, 吉语宁, 窦新株, 李欣洋, 张娜
(哈尔滨商业大学食品工程学院 哈尔滨 150076)

摘要 为探究添加稻米粉对小麦粉面团物理特性的影响,分别用 6 个品种的黑龙江粳米与高筋小麦粉制成混合粉,并对混合粉面团进行多面剖析的质构特性分析(TPA)、应力松弛分析以及面筋筋力等大变形力学分析。结果表明:随稻米粉含量的增加,稻米-高筋小麦混合粉面团的硬度、弹性、黏聚性均呈现整体上升趋势,而胶着性、回复性呈现整体下降趋势;除龙稻 9 号外,其余各组应力松弛时间均呈整体上升趋势,分别升高了 2.01,2.23,4.08,2.06,3.3 s;随米粉添加比例的增加,混合粉面团的拉伸值和回弹值下降,面团筋力增强,而龙稻 9 号因是糯性米的原因,故其拉伸值和回弹值上升,筋力减弱。

关键词 稻米; 质构特性; 应力松弛; 面筋筋力

文章编号 1009-7848(2023)08-0105-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.08.012

由无麸质(Gluten-free)原料加工成的食品是解决麸质过敏症的安全有效的方法,故乳糜泻的唯一有效的治疗方法就是终身坚持无麸质饮食。谷类食物是日常饮食中必不可少的主食类原料,小麦粉因其面筋蛋白能够形成三维网络结构的结构特性,而成为主食原料的首选之一。其中的面筋蛋白质为麸质类蛋白(麦谷蛋白和麦醇溶蛋白)。现在以小麦粉为主要原料的食品在标签上均会注明“麸质过敏者慎用”。谷类食物原料中亦有一些不含有麸质的蛋白,稻米是其中一种。近些年来添加无麸质原料的主食及烘焙等休闲制品日趋流行。小麦粉在制作发酵类制品时,其中的面筋蛋白起着至关重要的作用,它所形成的网络结构具有持气性,使制品具有疏松的多孔组织^[1],例如面包,然而这种面筋蛋白在其它谷物中均不具备。对非麸质性发酵主食和休闲食品的品质调控成为食品科研工作者研究的热点。

发酵主食和休闲食品的加工过程中,有一个非常重要的中间体——面团,要想实现以稻米为主要非麸质性原料的发酵制品的品质调控,研究其形成的面团是必不可少的。面团的流变学对面团的压片、形状控制、烘焙过程中面团的膨胀以及成品的质地起关键作用。大形变力学是相对于界

定在小变形范围内的基础流变学而言,由面团的大形变力学特性可以确定延展性、抗延展性、应变硬化以及应力松弛特性,由质构仪可以测量面团的硬度,为面包的成品品质提供依据;松弛时间可以反映面团变形的程度^[2],均属于大形变力学测定方法。

采用质构仪对样品进行多面剖析,观察样品随时间变化的质量与位置,得出样品的物性特征,在一定程度上可以表征食品品质的优劣。张浩等^[3]利用质构仪测定小麦粉湿面筋质的硬度和弹性,结果表明:小麦面筋强度的评价以及饺子皮质构品质的预测均可由面筋硬度得出。面包咀嚼性和硬度越小,其口感越松软,弹性好;面包的弹性、回复性值越大,面包会更柔软劲道,爽口不黏牙;面包回生会使硬度、咀嚼性增大,内聚性减少,口感也变差^[4-5]。有研究表明,面包质量评分与坚实度、硬度、咀嚼度、胶着性具有负相关性,而与回复性、黏着性、弹性具有显著正相关性,以感官评价得到的面包总分和以质构仪测定得到的参数值有显著的相关性^[6]。于浩等^[7]测定明胶保健软糖的质构并进行感官评价,得出质构仪测得的咀嚼性、弹性、硬度与感官评价指标有明显的正相关性。

大米中含有的面筋蛋白较少,导致其与小麦混合后产生的力学特征有所改变。本试验将 6 种稻米粉与小麦粉进行一定比例的混合,测定其混合体系面团的质构特性和应力松弛静态流变参数,寻找粳米-高筋混合粉体系筋力的变化规律,

收稿日期: 2022-08-12

基金项目: 黑龙江省科技重大专项(2020ZX08B02)

第一作者: 陈凤莲,女,博士,副教授

E-mail: finesxm@163.com

为稻米为主要原料的发酵类主食和休闲食品的研制与开发提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

香雪特精粉(粉质特性如下:吸水率 62.9%,形成时间 4.5 min,稳定时间 5.2 min,弱化度 53 FU,综合评价 70;拉伸特性如下:延伸度 222 mm,拉伸面积 115 cm²,拉伸阻力 490 BU,最大拉伸阻力 540 BU,拉伸比例 1.8,最大拉伸比例 2.6),中粮集团(沈阳)有限公司。

五优稻 4 号,黑龙江省哈尔滨市五常市山香米业有限公司;龙稻 9 号,黑龙江省哈尔滨市贵春米业有限公司;龙稻 24 号,黑龙江省大庆市肇源县和鑫米业;龙粳 31 号,黑龙江省齐齐哈尔市农垦金星米业有限公司;牡丹江 29 号、牡丹江 31 号,黑龙江省牡丹江市古京贡米米业有限公司。

1.2 仪器与设备

TA.new plus 型质构仪,上海瑞玢国际贸易有限公司;Glutograph-E 型面筋仪,德国布拉本德公司;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;Farinograph-E 型粉质仪,德国布拉本德公司;80 目分样筛,上海晖创化学仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原辅料预处理 选取不同种黑龙江稻谷通过砬谷机去壳,精米机处理剖光,再由锤式旋风磨磨成粉状,过 80 目筛后用 PE 自封袋进行封装保存,置于 4℃冰箱中储藏。

1.3.2 混合面团的制备 将稻米粉分别与高筋小麦粉(香雪面粉)按比例混合^[6],其中稻米粉所占的比例分别为:0,10%,20%,30%,40%。

1.3.3 混合粉面团质构特性测定 使用质构仪进行面团质构特性分析(TPA),将 1.3.2 节得到的面团制成 7 g,直径 20 mm,高 20 mm 的模型,使探头下压以后面团不会漏出。从 TPA 试验曲线上能够得到弹性、硬度、回复性、黏聚性、胶着性 5 个参数值。测定参数如下^[9]:测试探头 P/35,操作模式为压力测定,试验类型为 TPA,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

1.3.4 混合粉面团应力松弛测定 参照 Rouille 等^[10]与 Zhao 等^[11]的方法测定混合粉面团应力松弛。将 1.3.2 节方法制作得到的面团取出,用保鲜膜包裹,静置 5 min。用质构仪进行松弛试验每个样品重复测定 3 次取平均值。当压缩量增加到 60%时,停止探头下压,并保持 90 s,此时,试验设备记录此段时间内压力与时间变化关系曲线,当应力随着时间变化稳定时试验结束^[12]。测定参数如下:测试探头为 P/35,操作模式为压力测定,试验类型为松弛测试,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。

1.3.5 面筋筋力的测定 将 1.3.2 节得到的面团于电子型面筋仪 Glutograph-E 进行测定,设置试验参数,拉伸角度为 800 BU (1°=18.868 BU=22.756 Digits),拉伸时间为 125 s,松弛时间为 10 s,负荷为 200 mg。

1.3.6 数据处理 采用 Excel 2010 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-高筋小麦混合粉面团质构特性

由图 1a 可以看出,与空白样相比,随稻米粉添加量的增加,不同品种稻米-小麦混合粉面团的硬度表现出较大的差异性,这种差异性一直持续到添加量 30%,在添加量由 30%增至 40%的过程中,差异性逐渐减小。当稻米粉添加量为 10%时,添加龙粳 31 号、牡丹江 29 号和 31 号的混合粉面团硬度增大,而添加了五优稻 4 号、龙稻 9 号和 24 号的混合粉面团硬度略有降低,添加量增至 20%时,添加五优稻 4 号、龙稻 24 号、龙粳 31 号和牡丹江 31 号的混合粉面团硬度持续增加,龙稻 24 号和龙粳 31 号的混合粉面团硬度达到最大值,添加龙稻 9 号和牡丹江 29 号的混合粉面团硬度下降,而添加 20%牡丹江 29 号的混合粉面团硬度仍然大于空白样面团。Fernanda 等^[13]研究发现面筋的形成过程主要受到水与蛋白质的作用,以

及蛋白质与蛋白质的相互作用。面粉中加入水,致使麦谷蛋白吸水胀润,清蛋白与醇溶蛋白在此过程中发生水合作用。面粉中的其它蛋白和成分在麦谷蛋白聚集过程中被包埋在网格中,最终形成面团。面团的形成过程中二硫键、氢键以及疏水键在进行动态平衡,稻米中虽然蛋白含量只有 7%~8%,但是谷蛋白含量较高,占总蛋白的 80%左右^[14],当添加量小于 20%时,稻米中米蛋白可能与高筋粉中的蛋白质通过二硫键相互纠缠形成面筋网络

结构,并能很好的替代高筋粉中的部分蛋白质,使混合粉面团整体硬度增加。当添加量至 30%时,五优稻 4 号和牡丹江 31 号的混合粉面团硬度持续增加。当添加量增至 40%,除了五优稻 4 号继续增加外,其余混合粉面团硬度皆会下降。这可能是由于面筋是面团的网络骨架,面团的特性受到水和面筋结合的特性影响,对于非糯性原料粉,其中淀粉颗粒对面团特性的影响较小^[13],由于添加量大于 40%后,稻米中面筋蛋白含量远低于小麦粉,所

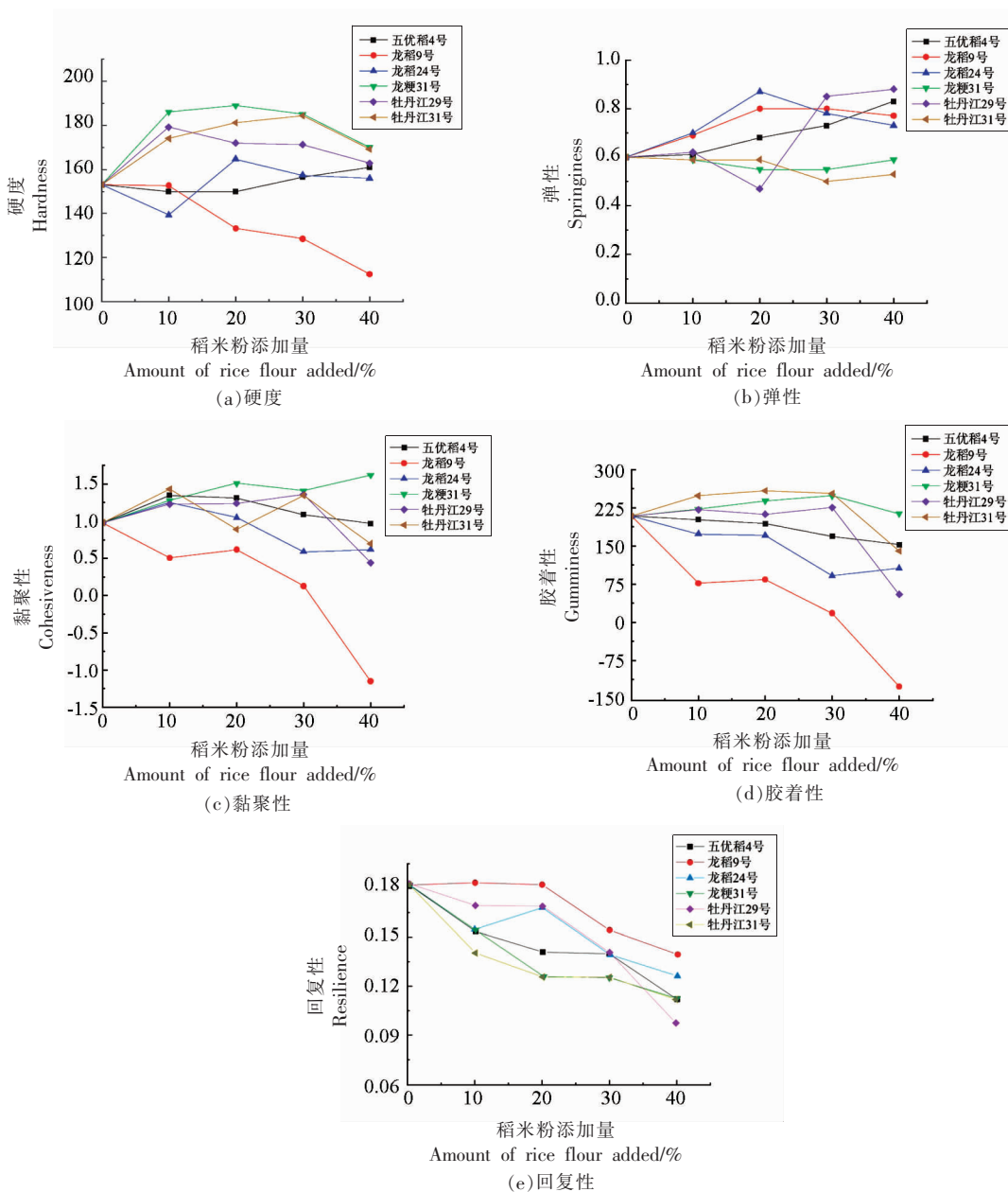


图 1 稻米粉的添加对混合粉面团质构特性的影响

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

以导致稻米中的面筋蛋白缺失和比例的失衡^[15],使得面筋形成不合理,无法随着添加量的增加继续形成有序的网络结构,使整体结构崩塌导致面团宏观硬度减小。添加了糯性龙稻9号的混合粉面团硬度持续下降,这与Gujral等^[16]的研究相似。这应该是由糯性米粉中的淀粉均是支链淀粉,吸水后黏性较大,削弱了面筋网络的作用,对面团的质构特性产生了影响,使硬度降低。

弹性是指变形样品在撤销压力后回复到原状态的能力,通过第2次压缩与第1次压缩的高度比值表示^[17]。由图1b可以看出,稻米粉的添加对高筋小麦粉面团弹性的影响差异性较大。随着稻米粉添加量的增加,龙粳31号和牡丹江31号混合粉面团弹性基本不变,其它品种的稻米-小麦混合粉面团弹性会随着稻米粉的添加整体呈增加趋势。范周^[18]的研究发现,纯稻米粉面团是一个弹性极强的凝胶体,与本试验结果相一致。

黏聚性代表测试样品通过第1次压缩形变后所表现出来的对第2次压缩的相对抵抗能力,在曲线上通过2次压缩所做正功之比表现^[15]。通过试验得出(图1c),添加了龙粳31号稻米粉的混合粉面团的黏聚性会随着稻米粉的增加整体呈增加趋势,其它混合粉面团黏聚性会随着稻米粉的添加整体先呈上升趋势,添加量达到40%时,黏聚性有所下降。黏聚性减小说明其内部结构较弱,经过第1次下压后有键合被破坏^[19]。因此以上试验现象应该与其内部键合有关,该结果说明在较大稻米粉添加量时,米-面混合粉与纯小麦粉面团相比较其内部的键合形式存在较大的差异性,并且可以推断出添加了龙粳31号稻米粉的面团,其内部结构最强。然而,本试验结果并没有得出黏聚性与弹性的正比例相关关系,与张婉等^[20]所研究的结果不符,其原因可能与质构仪所采用的测定方法有关,黏聚性在曲线上表现为2次压缩所做正功之比(面积2/面积1,见图2),而弹性用第2次压缩与第1次压缩的高度比值表示,即长度2/长度1(见图2),长度可以在一定程度上影响其对应面积的大小,但并不作为决定性因素,弹性还与两次下压所测得峰值有一定的相关性,即当长度2/长度1的比值较小的时候,由于图形的宽度的影响使面积2/面积1的值反而较大,故此表现为龙

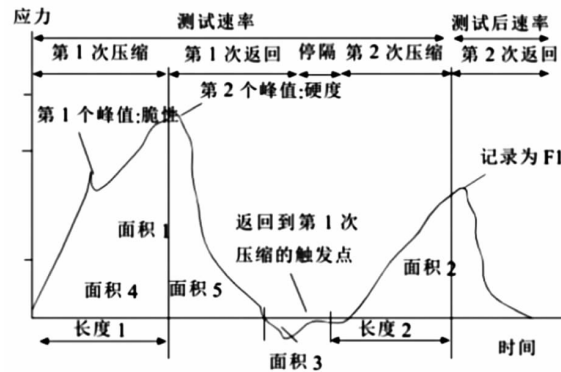


图2 典型的TPA质构图

Fig.2 Typical TPA texture diagram

粳31号的弹性变化不显著,而黏聚性增加。添加糯性粳米龙稻9号的混合粉面团的黏聚性下降最为明显,当添加量达到40%时其黏聚性下降至-1.15。这可能是由于当糯性米粉加入高筋粉面团后,使其直链淀粉含量急剧降低,支链淀粉含量增加,黏性增加,从而使面团黏附与探头上减少了所做正功,结果显示2次做功之比出现负值。

胶着性只能表示半固态测试样品的黏性特性,指半固态食品咀嚼到可吞咽时所做的功,数值上使用硬度和黏聚性的乘积表示^[17]。通过试验得出,当各个稻米粉按照一定的比例添加到高筋粉中,对比于纯小麦粉面团胶着性有的上升有的下降,当添加量达到40%后各品种均明显降低。从图1d中可以看出,只有添加了龙粳31号和牡丹江31号稻米粉的混合粉面团的胶着性会随着添加量的增加(0~30%)而增加,其它整体趋势下降,这与黏聚性变化规律相似。

回复性代表样品在第1次压缩过程中回弹的能力,是第1次压缩回复过程中回到样品所释放的弹性能与压缩时探头的耗能之比^[15]。从图1e中可以看出,所有混合粉面团随着稻米粉的添加回复性均减小,差异性较小。分析其原因可能是由于粳米粉中谷蛋白含量较高(占总蛋白的80%左右),而醇溶蛋白含量较低(占总蛋白的10%左右),因此粳米粉的添加破坏了原有面团中麦胶蛋白和麦谷蛋白形成的整体结构,使其回复性减弱^[21-22]。其中添加龙稻9号稻米粉的混合粉面团回复性减小不明显,这一结果与龙稻9号混合粉面

团的硬度减小,弹性增加的趋势相呼应。说明糯性米的独特高支链淀粉含量造成的面团黏性增加,对混合粉面团具有一定的正面影响,该方面已有一些研究得到了证实^[23-25]。

2.2 稻米-小麦混合粉面团应力松弛变化规律研究

添加不同种类的黑龙江稻米的混合面团应力松弛时间如表 1 所示。

表 1 不同种稻米粉的不同添加量混合面团应力松弛时间

Table 1 Stress relaxation time of mixed dough with different addition amounts of rice flour added to different rice varieties

品种名称	应力松弛时间/s			
	稻米粉 10%	稻米粉 20%	稻米粉 30%	稻米粉 40%
五优稻 4 号	5.01	6.17	7.04	7.02
龙稻 9 号	3.14	3.12	2.74	1.53
龙稻 24 号	3.56	3.51	6.01	5.79
龙粳 31 号	3.82	4.80	6.11	7.90
牡丹江 29 号	3.58	3.58	5.78	5.64
牡丹江 31 号	2.08	3.48	4.16	5.38

Rao 等^[26]研究表明松弛时间较短表示面团变形轻松,松弛时间较长的面团中有大的聚合物生成。从表 1 可以看出混合粉面团的应力松弛时间会随稻米粉的添加整体呈上升趋势,因此可以得出结论添加稻米粉后改变了小麦面团的黏弹比,内部键合增加,从而应力松弛时间延长^[27]。然而,添加了龙稻 9 号稻米粉的面团的应力松弛时间会随着添加量的增加而减小,这是由于龙稻 9 号为糯性稻米,几乎不含直链淀粉,全部为支链淀粉,黏性较大,从而使面团在受到同等形变时以较快的速度发生力的变化。在静态流变学中应力松弛时间为黏与弹的比值,应力松弛时间与黏性呈正比与弹性呈反比,因此通过以上研究也可以得出结论,米粉的添加增加了面团的弹性,而糯性米粉却增加了面团的黏性。

2.3 粳米-高筋混合粉体系筋力的变化规律

由表 2 可以看出,在 6 种稻米不同比例梯度的稻米-小麦混合粉中,五稻优 4 号添加量为 50% 时,拉伸值和回弹值最低,而龙稻 9 号添加量为 30% 时,拉伸值和回弹值最大。从整体来看,五稻优 4 号、龙稻 24 号、龙粳 31 号、牡丹江 29 号、牡丹江 31 号的拉伸值和回生几乎都小于空白样,而龙稻 9 的拉伸值和回生值几乎都大于空白样,说明稻米粉的加入会对面团的筋力有一定的影响作用。由图 3 可以看出,除了龙稻 9 号外,不同比例梯度的稻米-小麦混合粉体系形成的面团与空白

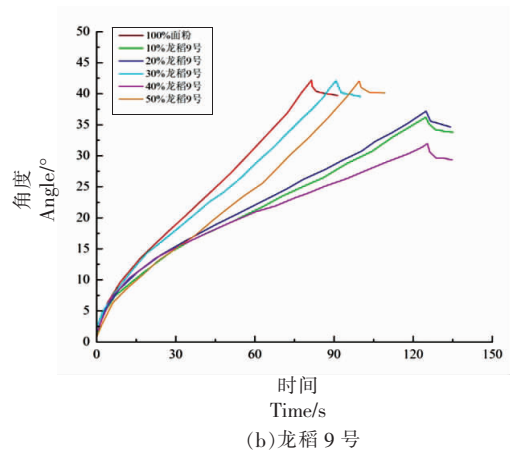
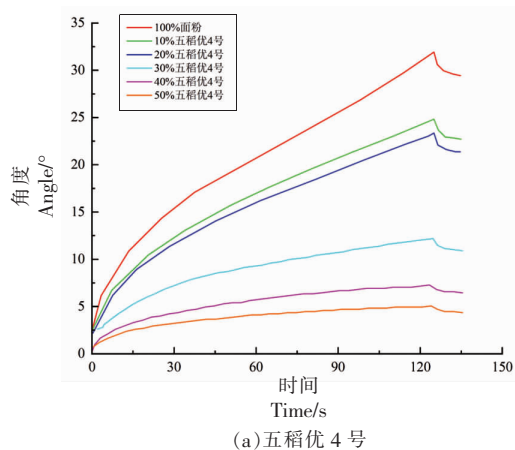
样 100% 面粉形成的面团相比抗扭阻力增强,剪切偏转角度减小,面团韧性增加,筋力增强,回弹值减小。拉伸值和回弹值的减小意味着结构的增强。该结果与前面的质构测定和应力松弛测定结果相一致。

由图 3a 可以看出,在五稻优 4 号添加量为 50% 时,形成的图线平缓,面团抗扭阻力最大,韧性和筋力最强,而添加量为 10% 五稻优 4 号的面团剪切偏转角度较大,面团抗扭阻力较小,说明面团的抗扭阻力随五稻优 4 号粳米粉添加量的增加而增大,在 125.2 s 时撤掉扭力,停止拉伸,面团开始回弹,随粳米粉梯度比例的增大,面团回弹值减小,即面团回弹力减小。龙稻 9 号添加量分别为 40%, 30%, 50%, 20%, 10% 时(图 3b),面团的抗扭阻力依次增大,当粳米粉添加量为 40% 时,面团的剪切偏转角度最大,面团筋力最小,而粳米粉添加量为 10% 时,面团剪切偏转角度最小,面团筋力最大。龙稻 9 号的添加对混合粉体系的影响与其它粳米粉的影响结果相反,其原因可能是龙稻 9 号为糯性粳米,其中所含的淀粉基本都是支链淀粉,面团黏度很大,韧性和筋力显著降低。图 3c 可以看出,龙稻 24 号添加量为 30% 时,面团抗扭阻力较小,延伸性好,粳米粉添加量为 50% 时,面团抗扭阻力最大。当粳米粉添加量分别为 40%, 10%, 20% 时,面团抗扭阻力依次增大,剪切偏转角度减小。图 3d 可以看出,龙粳 31 号添加量为 10% 时,

表2 不同品种稻米-小麦混合粉不同添加量混合面团筋力

Table 2 Different varieties of rice-wheat mixed flour mixed with different amounts of dough gluten

样品	拉伸值	回弹值
100%面粉	602.8 BU/125.2 s	46.4 BU/10.2 s
10%五优稻4号+90%面粉	468.5 BU/125.2 s	39.8 BU/10.2 s
20%五优稻4号+80%面粉	440.3 BU/125.2 s	35.7 BU/10.2 s
30%五优稻4号+70%面粉	231.3 BU/125.2 s	24.0 BU/10.2 s
40%五优稻4号+60%面粉	139.3 BU/125.2 s	15.8 BU/10.2 s
50%五优稻4号+50%面粉	98.7 BU/125.2 s	12.4 BU/10.2 s
10%龙稻9号+90%面粉	689.8 BU/125.2 s	48.9 BU/10.2 s
20%龙稻9号+80%面粉	703.1 BU/125.2 s	46.4 BU/10.2 s
30%龙稻9号+70%面粉	800.0 BU/125.2 s	49.6 BU/10.2 s
40%龙稻9号+60%面粉	800.0 BU/125.2 s	48.0 BU/10.2 s
50%龙稻9号+50%面粉	800.0 BU/125.2 s	42.2 BU/10.2 s
10%龙稻24号+90%面粉	291.0 BU/125.2 s	30.7 BU/10.2 s
20%龙稻24号+80%面粉	222.2 BU/125.2 s	24.0 BU/10.2 s
30%龙稻24号+70%面粉	608.6 BU/125.2 s	35.7 BU/10.2 s
40%龙稻24号+60%面粉	389.7 BU/125.2 s	30.7 BU/10.2 s
50%龙稻24号+50%面粉	160.0 BU/125.2 s	17.4 BU/10.2 s
10%龙粳31号+90%面粉	432.0 BU/125.2 s	39.8 BU/10.2 s
20%龙粳31号+80%面粉	241.3 BU/125.2 s	25.7 BU/10.2 s
30%龙粳31号+70%面粉	271.1 BU/125.2 s	36.5 BU/10.2 s
40%龙粳31号+60%面粉	278.6 BU/125.2 s	26.5 BU/10.2 s
50%龙粳31号+50%面粉	264.0 BU/125.2 s	24.0 BU/10.2 s
10%牡丹江29号+90%面粉	435.3 BU/125.2 s	40.6 BU/10.2 s
20%牡丹江29号+80%面粉	318.4 BU/125.2 s	31.5 BU/10.2 s
30%牡丹江29号+70%面粉	281.1 BU/125.2 s	28.2 BU/10.2 s
40%牡丹江29号+60%面粉	497.5 BU/125.2 s	32.3 BU/10.2 s
50%牡丹江29号+50%面粉	210.6 BU/125.2 s	20.7 BU/10.2 s
10%牡丹江31号+90%面粉	351.6 BU/125.2 s	38.1 BU/10.2 s
20%牡丹江31号+80%面粉	453.5 BU/125.2 s	40.6 BU/10.2 s
30%牡丹江31号+70%面粉	412.0 BU/125.2 s	35.7 BU/10.2 s
40%牡丹江31号+60%面粉	412.1 BU/125.2 s	33.2 BU/10.2 s
50%牡丹江31号+50%面粉	244.6 BU/125.2 s	24.0 BU/10.2 s



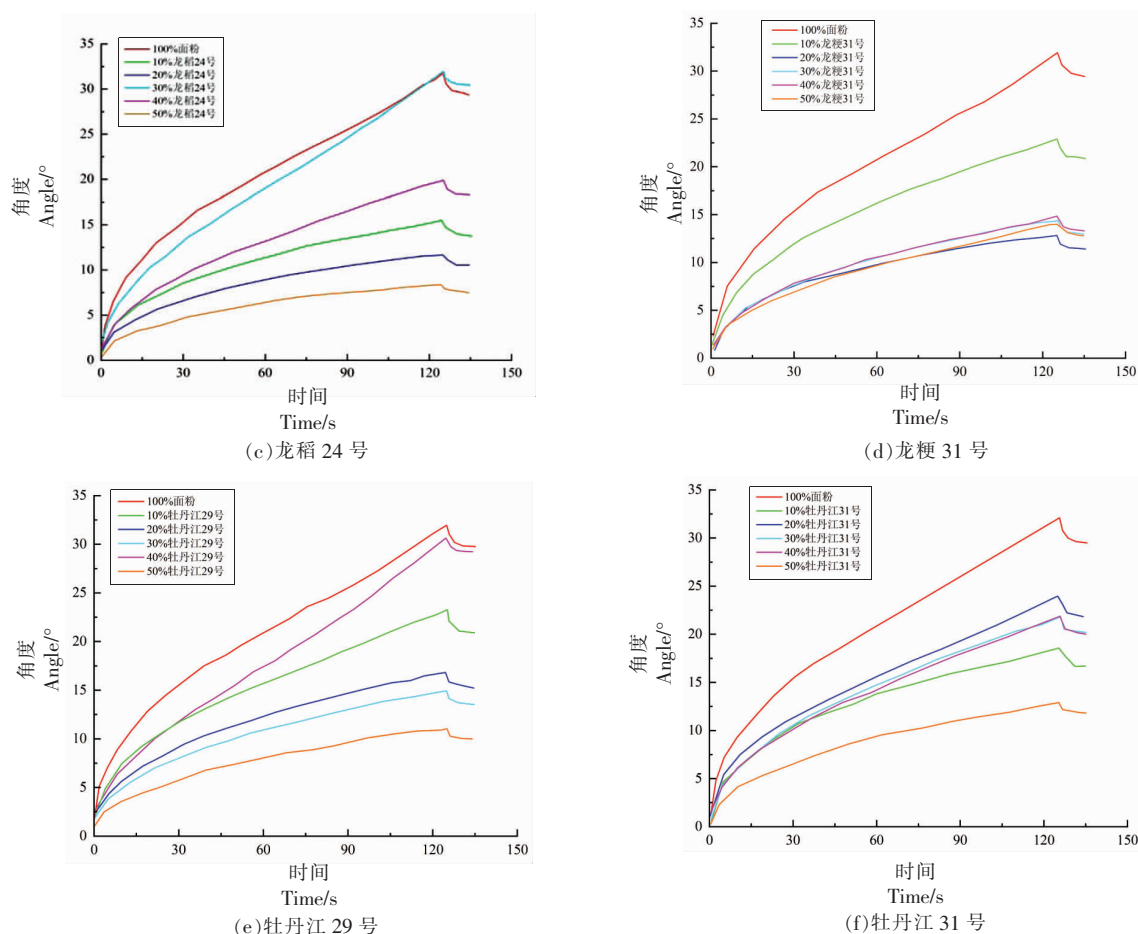


图 3 不同品种稻米-小麦混合粉不同添加量混合面团的筋力曲线

Fig.3 The gluten curve of the mixed dough with different amounts of rice-wheat mixed flour of different varieties

面团抗扭阻力较小,当粳米粉添加量大于 10%时,即粳米粉添加量为 20%,30%,40%,50%时,面团的抗扭阻力变化较小,剪切偏转角度相距不大,面团筋力较强。图 3e 可以看出,牡丹江 29 号粳米-小麦混合粉曲线略有波动,添加量为 40%时,面团抗扭阻力最小,在 30 s 后剪切偏转角度几乎呈直线上升,粳米粉添加量分别为 10%,20%,30%和 50%时,面团抗扭阻力依次增大,剪切偏转角度减小,面团筋力增大。由图 3f 可以看出,牡丹江 31 号添加量为 50%时,面团抗扭阻力增幅最大,筋力最强,当粳米粉添加量依次为 20%,30%,40%,10%时,面团抗扭阻力依次增大,剪切偏转角度依次减小,面团筋力增强。

3 结论

本文研究了 6 种稻米粉与小麦粉进行一定比

例的混合后,其混合体系面团的质构特性和应力松弛静态流变特性的变化,结果表明稻米粉添加到高筋小麦粉中后会使其内部键合有所增加,韧性和弹性增强,然而该稻米-高筋小麦混合粉面团的蛋白质网络结构质量较差,内部结构不完全符合纯小麦粉面团的变化规律。龙稻 9 号为糯性粳米,其中所含的直链淀粉较少,大部分为支链淀粉,米质较黏稠,故其筋力曲线与其余 5 种粳米粉的曲线相反。此外,随米粉添加比例增加,混合粉面团的其拉伸值和回弹值呈下降趋势,面团筋力增强,而龙稻 9 号除外,随米粉添加比例增加,其拉伸值和回弹值呈上升趋势,筋力减弱。糯性米对米-面混合粉面团具有一些良好的影响,而这种影响是通过增加黏性达到的。本文为扩大稻米的使用以及稻米面包配方的优化提供了一定理论基础。

参 考 文 献

- [1] DIOWKSZ A, SADOWSKA A. Impact of sourdough and transglutaminase on gluten-free buckwheat bread quality[J]. Food Bioscience, 2021, 43: 101309.
- [2] STOJCESKA V, BUTLER F, GALLAGHER E, et al. A comparison of the ability of several small and large deformation rheological measurements of wheat dough to predict baking behaviour[J]. Journal of Food Engineering, 2008, 83(4): 475-482.
- [3] 张浩, 李雪琴. 质构仪测定小麦面筋的硬度与弹性[J]. 现代食品科技, 2013, 29(4): 903-906, 931.
- ZHANG H, LI X Q. Determination of wheat gluten hardness and springiness with texture analyzer[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(4): 903-906, 931.
- [4] ALEIXANDRE A, BENAVENT-GIL Y, VELICKOVA E, et al. Mastication of crisp bread: Role of bread texture and structure on texture perception[J]. Food Research International, 2021, 147: 110477.
- [5] TEBBEN L, SHEN Y, LI Y. Improvers and functional ingredients in whole wheat bread: A review of their effects on dough properties and bread quality[J]. Food Science and Technology, 2018, 81: 10-24.
- [6] OCM A, LG B, RMN A, et al. Rheological and textural properties of gluten-free doughs and breads based on fermented cassava, sweet potato and sorghum mixed flours[J]. LWT, 2019, 101: 575-582.
- [7] 于浩, 徐晓飞, 俞经虎. 明胶软糖的感官评价与质构分析研究[J]. 食品科技, 2018, 43(10): 316-319.
- YU H, XU X F, YU J H. Sensory evaluation and texture analysis of gelatin[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(10): 316-319.
- [8] PARK J H, KIM D C, LEE S E, et al. Effects of rice flour size fractions on gluten free rice bread[J]. Food Science and Biotechnology, 2014, 23(6): 1875-1883.
- [9] KHOSHGOZARANABRAS S, AZIZI M H, BAGHERIPOORFALLAH N, et al. Effect of brown rice flour fortification on the quality of wheat-based dough and flat bread[J]. Food Sci Technol, 2014, 51(10): 2821-2826.
- [10] ROUILLE J, VALLE G D, LEFEBVRE J, et al. Shear and extensional properties of bread doughs affected by their minor components[J]. Journal of Cereal Science, 2005, 42(1): 45-57.
- [11] ZHAO X W, JIANG C P, LI R F, et al. Equibiaxial extensional viscosity and network formation of wheat gluten-xanthan gum dough[J]. Advanced Materials Research, 2013, 787: 5.
- [12] ZHANG L L, GUAN E Q, YANG Y L, et al. The globulin aggregation characteristics induced by salt and alkali and its effects on dough processing quality[J]. Journal of Cereal Science, 2022, 104: 103437.
- [13] FERNANDA O, CAROLINE J S. Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2017, 16(3): 369-381.
- [14] WANG Z X, LI H, LIANG M C, et al. Glutelin and prolamin, different components of rice protein, exert differently *in vitro*, antioxidant activities[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 72: 108-116.
- [15] 周耸励, 张权峰, 陶丽伟, 等. 谷物蛋白的组成特点及分离方法研究现状[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(21): 5547-5551.
- ZHOU S L, ZHANG Q F, TAO L W, et al. Research status of composition characteristics and separation methods of cereal protei[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2018, 9(21): 5547-5551.
- [16] GUJRAL H S, ROSELL C M. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase[J]. Food Research International, 2004, 37(1): 75-81.
- [17] 张秋会, 宋莲军, 黄现青, 等. 质构仪在食品分析与检测中的应用[J]. 农产品加工, 2017(24): 52-56.
- ZHANG Q H, SONG L J, HUANG X Q, et al. Implication of texture analyzer in food analysis and detection[J]. Farm Products Processing, 2017(24): 52-56.
- [18] 范周. 米粉面团流变学性质及米粉面包工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- FAN Z. The study on dynamic rheological of rice dough the technology of rice bread[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006.
- [19] ZHANG K X, JIANG H, TANG X J, et al. Effect of enzyme combinations on baking properties of bread with fermented glutinous rice[J]. Food Science,

- 2018, 39(1): 16-21.
- [20] 张婉, 魏益民, 魏帅, 等. 鲜熟面条贮藏品质变化及货架期研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(4): 11-17.
ZHANG W, WEI Y M, WEI S, et al. Study on storage quality change and shelf life of fresh cooked noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(4): 11-17.
- [21] 徐小青, 郭祯祥, 郭嘉. 麦醇溶蛋白与麦谷蛋白比值对面团特性的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2020, 41(2): 27-33.
XU X Q, GUO Z X, GUO J. Effect of the ratio of gliadin to glutenin on dough characteristics[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2020, 41(2): 27-33.
- [22] LUO S J, YAN X D, FU Y T, et al. The quality of gluten-free bread made of brown rice flour prepared by low temperature impact mill [J]. Food Chemistry, 2021, 348: 129032.
- [23] 张志超. 糯米团凝胶特性的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016.
ZHANG Z C. The study of glutinous rice group gel property[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016.
- [24] LI Y, DING G, YOKOYAMA W, et al. Characteristics of annealed glutinous rice flour and its formation of fast-frozen dumplings[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 79 : 112.
- [25] LIAN X J, WANG C J, ZHANG K S, et al. The retrogradation properties of glutinous rice and buckwheat starches as observed with FT-IR, ¹³C NMR and DSC[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2014, 64: 288-293.
- [26] 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.
- [27] 孙娟娟, 魏肖鹏, 邱燕燕, 等. 干法糊化对燕麦粉面团应力松弛特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(4): 23-27.
SUN J J, WEI X P, QIU Y Y, et al. Effects of dry gelatinization on stress relaxation properties of oat flour dough[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(4): 23-27.

Studies on Mechanical Characteristics of Large Deformation of Rice-High Gluten Wheat Mixed Flour Dough

Chen Fenglian, An Ran, Guo Yinmei, He Yinyuan, Liu Linlin, Ji Yuning,
Dou Xinlai, Li Xinyang, Zhang Na
(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076)

Abstract In order to investigate the effects of rice flour on the physical properties of wheat flour dough, six varieties of Heilongjiang japonica rice mixed with high gluten wheat flour were prepared, and the mixed flour dough was subjected to multi-faceted analysis of texture properties analysis (TPA), stress relaxation analysis, and large deformation mechanical analysis such as gluten strength. The results showed that, with the increases of rice flour content, the hardness, elasticity and cohesion of rice-high gluten wheat mixed flour increased, while the adhesion and resilience decreased. The stress relaxation time of all groups except Longdao 9 showed an overall upward trend, which increased by 2.01, 2.23, 4.08, 2.06 s, and 3.3 s, respectively. With the increase of rice flour addition ratio, the stretch value and rebound value of the mixed flour dough decrease, and the strength of the dough increases. Because Longdao 9 is glutinous rice, the stretch value and rebound value increase, and the strength decreases.

Keywords rice; texture characteristics; stress relaxation; gluten force