

# 薏米全粉的添加对小麦粉加工品质的影响

刘 壮, 张鹏辉, 姚亚亚, 张会彦, 欧阳伶俐, 李慧静\*  
(河北农业大学食品科技学院, 河北 保定 071000)

**摘 要:** 研究不同添加量(5%、10%、15%、20%和25%)的薏米全粉对小麦粉的粉质特性, 拉伸特性、糊化特性以及对馒头的质构和感官评价的影响。结果表明: 薏米全粉的添加增加了小麦粉中蛋白质、油脂和灰分的含量。与小麦粉面团相比, 薏米全粉不影响小麦粉的形成时间和稳定时间, 但在添加量高于15%时弱化度增加显著; 添加薏米全粉的面团拉伸能量, 延伸性总体上降低, 最大拉伸阻力在45 min和135 min差异不显著, 拉伸比增加显著。薏米粉的添加显著提高了馒头的硬度、弹性和咀嚼性, 显著降低了回复性和内聚性, 感官评定与质构硬度和咀嚼性结果一致。随着薏米全粉的添加, 口感各个指标总体上降低, 但是5%~10%的薏米全粉添加量对馒头感官评价影响不大, 并且少量薏米所产生的气味更受人喜爱。结合上述因素, 考虑到对面团流变特性、糊化特性和馒头品质的影响, 小麦粉中添加10%的薏米全粉较为合适。

**关键词:** 薏米粉; 小麦粉; 流变特性; 馒头; 质构分析

## Effect of Coix Seed Flour on Processing Properties of Wheat Flour

LIU Zhuang, ZHANG Penghui, YAO Yaya, ZHANG Huiyan, OUYANG Lingli, LI Huijing\*  
(College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China)

**Abstract:** This paper studied the effect of adding different proportions (5%, 10%, 15%, 20% and 25%) of coix seed flour on farinograph properties, extensograph properties and gelatinization properties of wheat dough and texture properties and sensory evaluation of Chinese steamed bread. The results indicated that the addition of coix seed flour increased the contents of protein, fat and ash in wheat flour. Coix seed flour did not affect dough development time (DDT) or dough stability time (DST). The degree of weakening increased significantly when the addition amount of coix seed flour was greater than 15%. The tensile energy and the extensibility of dough generally decreased with the addition of coix seed flour. No significant difference was noticed between maximum tensile resistance at 45 and 135 min and the tensile ratio increased significantly. The addition of coix seed flour increased the hardness, elasticity and chewiness of Chinese steamed bread and reduced the recovery and cohesiveness, and the sensory evaluation was consistent with the results of hardness and chewiness. Coix seed flour added at 5%–10% had little impact on the sensory evaluation of Chinese steamed bread and the light flavor of coix was loved by consumers. Taking into account dough rheological properties, gelatinization characteristics and the quality of steamed bread, the appropriate addition of coix seed flour should be 10%.

**Keywords:** coix seed flour; wheat flour; rheological characteristics; Chinese steamed bread; texture properties

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820015

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2018)20-0099-05

引文格式:

刘壮, 张鹏辉, 姚亚亚, 等. 薏米全粉的添加对小麦粉加工品质的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(20): 99-103. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820015. <http://www.spkx.net.cn>

LIU Zhuang, ZHANG Penghui, YAO Yaya, et al. Effect of coix seed flour on processing properties of wheat flour[J]. Food Science, 2018, 39(20): 99-103. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201820015. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-05-05

基金项目: 河北省科技计划项目(17227117D); 河北省现代农业产业技术体系小麦创新团队建设专项(HBCT2018010207); 河北省食品科学与工程学科“双一流”建设基金项目(2016SPGCA18)

第一作者简介: 刘壮(1993—), 男, 硕士, 研究方向为粮食油脂及植物蛋白工程。E-mail: cereal1132@163.com

\*通信作者简介: 李慧静(1973—), 女, 教授, 博士, 研究方向为粮油深加工与资源开发。E-mail: huijingli2002@163.com

尽管精制小麦粉制品拥有更好的质地、色泽和口感,然而随着人们健康意识的提升,全麦粉或者多谷物小麦粉得到了更多的关注<sup>[1]</sup>。相比稻谷、小麦和玉米等大宗作物,薏米含有更高的维生素和膳食纤维,可以降低胆固醇含量,有益于身体健康<sup>[2]</sup>。同时薏米属于非面筋食品,在小麦粉中的添加可以减少肠道疾病和面筋的过敏症状<sup>[3-4]</sup>。薏米是药食两用谷物资源,在中国不但被广泛食用,还作为皮肤病、风湿病和神经痛的辅助食疗食物,同时在传统中医药上讲,薏米还具有去湿利尿等功效<sup>[5]</sup>。薏米由于其丰富的营养和功效被称为“世界禾本科植物之王”<sup>[6]</sup>。

馒头至今已经有1 700多年的历史,是我国黄淮海流域的主食,在我国饮食文化中占有重要的位置<sup>[7]</sup>。由于馒头特定的蒸制工艺,不会存在油炸食品和烘烤食品中的丙烯酰胺超标的问题,因此馒头是一种健康安全的食品<sup>[8-9]</sup>。尽管馒头利用精面进行加工拥有好的口感,但是由于在小麦制粉追求精细加工,导致维生素等营养成分的损失,使小麦粉保健成分含量很少,同时随着饮食的变化,相关的慢性非传染性疾病成为了需预防的疾病<sup>[10-11]</sup>。向小麦粉中加入杂粮或者一些有效成分能一定程度地改善上述问题,并且使馒头具有一些独特的风味。Liu Xingli等<sup>[12]</sup>研究了添加马铃薯对面团流变学特性和馒头品质的影响。Zhu Fan等<sup>[13]</sup>研究了红茶对馒头抗氧化性及馒头品质的影响。汪姣<sup>[14]</sup>研究了黑米、甜荞和红豆对馒头品质的影响。Hao Meili等<sup>[15]</sup>研究了大麦和胡麻外壳提取物对馒头品质的影响。崔丽琴等<sup>[16]</sup>研究了豆渣粉对馒头品质的影响。目前对薏米的研究主要集中在薏米多酚、多糖等有效成分上,但是对薏米全粉的深加工较少。王立峰<sup>[17]</sup>研究表明薏米提取物对肝癌细胞具有抑制作用,并能降低细胞内胆固醇含量,具有降血脂和抗氧化功效。庄玮婧等<sup>[18]</sup>提取的薏米多糖有抗氧化活性。本实验将薏米全粉按照不同比例加入小麦粉中,考察其对小麦粉的组成成分、流变学特性和糊化特性的影响以及对馒头感官评价和质构特性的影响,旨在探索薏米全粉复配小麦粉的可行性,加强对小宗作物薏米等的利用和推广。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

薏米(蛋白质量分数13.97%、脂肪质量分数4.97%、灰分质量分数1.33%) 贵州龙鑫有限公司;小麦粉(蛋白质量分数11.22%、脂肪质量分数1.22%、灰分质量分数0.61%)、高筋粉 古船食品有限公司;高活性干酵母 安琪酵母股份有限公司。

硫酸钾、石油醚 天津天力化学有限公司;硫酸铜、硼酸 天津恒兴化学试剂制造有限公司;氢氧化钠 国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 仪器与设备

Farinograph-AT粉质仪、Extensograph-E拉伸仪、Viscograph-E黏度仪 德国Brabender公司;CP114电子天平、101-0AB电热鼓风干燥箱 奥豪斯仪器上海有限公司;KDN-08C型消化炉 浙江托普仪器有限公司;XL-100高效节能快速一体马弗炉 鹤壁亿欣仪器仪表有限公司;DEGURU DKM201型多功能厨师机 广东顺德地一日用电气科技有限公司;TMS-PRO质构仪 美国FTC公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 薏米全粉的制备

采用用中药粉碎机进行对薏米进行粉碎,粉碎后薏米全粉过80目筛。

#### 1.3.2 水分、脂肪、蛋白质和灰分的测定

水分测定:参照GB/T 5009.3—2016《食品中水分的测定》;脂肪测定:参照GB/T 14772—2008《食品中脂肪的测定》;蛋白质测定:参照GB/T 5009.5—2010《食品中蛋白质的测定》;灰分测定:参照GB/T 5505—2008《食品中灰分的测定》。

#### 1.3.3 小麦粉粉质特性的测定

利用粉质仪测定薏米全粉添加量为5%、10%、15%、20%和25%小麦粉粉质特性,方法参照GB/T 14614—2006《小麦粉 面团的物理特性 吸水量和流变学特性的测定 粉质仪法》。

#### 1.3.4 小麦粉拉伸特性的测定

利用Extensograph-E拉伸仪,测定薏米全粉添加量为5%、10%、15%、20%和25%小麦粉的拉伸特性。方法参照GB/T 14615—2006《小麦粉 面团的物理特性 流变学特性的测定 拉伸仪法》。

#### 1.3.5 小麦粉的糊化特性的测定

利用Viscograph-E黏度仪,测定薏米全粉添加量为5%、10%、15%、20%和25%的小麦粉糊化特性,方法参照GB/T 14490—2008《粮油检验谷物及淀粉糊化特性测定 粘度仪法》。

#### 1.3.6 馒头的制作、感官评价和质构分析

馒头制作采用一次成型法。取小麦粉和不同比例的薏米混合粉200 g。将1%酵母和1%的蔗糖放入适量的37℃水进行活化,计时5 min,将活化后的酵母放入小麦粉和混合粉中进行和面,和好面后压面10次。等分成3分,进行搓圆。放在37℃、相对湿度70%的雾化醒发箱,醒发45 min。将醒发好的面团放入蒸锅进行蒸制,蒸制30 min,将蒸好馒头取出冷却1 h放到塑料袋进行保存,然后进行感官评价和质构分析。

馒头感官评价方法按照LST 3204—1993《馒头用小麦粉》,评定人员由经过培训的10人小组组成。对小麦粉和各添加量的薏米混合粉的馒头进行感官评价。

质构分析参考Sim等<sup>[19]</sup>的方法。对冷却好的馒头进行切片切成20 mm的薄片,采用直径20 mm的球形探头,检测速率102 mm/min,形变量50%,起始力5 N。对硬度、回复性、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性进行考察。

#### 1.4 统计分析

利用SPSS 17.0统计软件(IBM)进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 薏米全粉添加量对小麦粉基本成分的影响

**表1 薏米全粉添加量对小麦粉基本成分的影响**  
**Table 1 Effect of addition of coix seed flour on chemical components of wheat flour**

薏米全粉添加量/%	蛋白质量分数	脂肪质量分数	灰分质量分数
0	11.22±0.12 <sup>a</sup>	1.22±0.10 <sup>a</sup>	0.61±0.04 <sup>a</sup>
5	11.31±0.14 <sup>ab</sup>	1.42±0.03 <sup>b</sup>	0.67±0.00 <sup>b</sup>
10	11.44±0.10 <sup>bc</sup>	1.46±0.02 <sup>b</sup>	0.67±0.02 <sup>b</sup>
15	11.57±0.15 <sup>cd</sup>	1.63±0.02 <sup>c</sup>	0.71±0.04 <sup>b</sup>
20	11.58±0.11 <sup>cd</sup>	1.91±0.00 <sup>d</sup>	0.77±0.02 <sup>c</sup>
25	11.65±0.15 <sup>d</sup>	2.15±0.02 <sup>e</sup>	0.79±0.01 <sup>c</sup>

注:同列不同字母表示差异显著,  $P<0.05$ 。下同。

由表1可知,随着薏米全粉的添加,小麦粉中的蛋白质、脂肪和灰分有显著的增加,当薏米全粉添加量大于10%时,混合粉蛋白质含量与小麦粉相比差异性显著,当薏米全粉添加量大于5%时,混合粉的脂肪与灰分含量与小麦粉差异显著。这是因为薏米全粉中蛋白质含量远比米、面高,薏米全粉的添加可以降低复配小麦粉碳水化合物化合物的含量,可以降低主食之中热量的摄入<sup>[20]</sup>。薏米全粉中的油脂含有丰富的不饱和脂肪酸,薏米作为全谷物的添加,增加了小麦粉的油脂含量,同时薏米富含Zn、Fe、Ca和Mg等微量元素,因此可以在一定程度上缓解小麦粉因精细加工而导致的矿物质、维生素和油脂损失的问题<sup>[21]</sup>。

### 2.2 薏米全粉添加量对小麦粉粉质特性的影响

面团的形成时间表示面团面筋的形成速率,稳定时间考察面筋的强弱,弱化度则表示面团的抗剪切能力。由表2可知,随着薏米全粉添加量的增加,面团的形成时间和稳定时间变化差异不显著,未使上述两指标像燕

麦、小米等杂粮的添加使得小麦粉的发生劣变<sup>[22]</sup>。而吸水率略有下降,在薏米全粉添加量为20%~25%时下降显著。而弱化度随着薏米全粉的添加而逐渐增大,在添加量为15%~25%时差异显著。由于薏米全粉中含有一定量的膳食纤维,同时薏米全粉作为全谷物,其中的脂肪氧化酶活性更高,脂肪氧化酶可以把小麦粉的S—H键氧化成S—S键,从而改善了小麦粉因为薏米全粉的添加而面筋减少的问题,因此其稳定时间变化不明显<sup>[23-25]</sup>。此外,由于薏米的添加稀释了面筋蛋白的浓度,导致复配小麦粉面团的抗剪切能力的降低,使得面团的弱化度增加。

**表2 薏米全粉添加量对小麦粉粉质特性的影响**  
**Table 2 Effect of addition of coix seed flour on farinograph properties of wheat flour**

薏米全粉添加量/%	形成时间/min	吸水率/%	稳定时间/min	弱化度/BU
0	3.07±0.09 <sup>a</sup>	62.80±0.70 <sup>cd</sup>	3.99±0.20 <sup>a</sup>	94.0±9.89 <sup>a</sup>
5	2.97±0.19 <sup>a</sup>	63.85±0.07 <sup>d</sup>	3.76±0.07 <sup>a</sup>	98.0±1.41 <sup>ab</sup>
10	3.01±0.07 <sup>a</sup>	62.55±0.35 <sup>e</sup>	3.83±0.18 <sup>a</sup>	106.0±2.82 <sup>abc</sup>
15	2.91±0.31 <sup>a</sup>	61.70±0.84 <sup>bc</sup>	3.88±0.10 <sup>a</sup>	112.0±11.31 <sup>bcd</sup>
20	3.22±0.21 <sup>a</sup>	60.80±0.00 <sup>ab</sup>	4.07±0.30 <sup>a</sup>	121.5±6.36 <sup>cd</sup>
25	2.80±0.00 <sup>a</sup>	59.90±0.14 <sup>a</sup>	3.88±0.07 <sup>a</sup>	129.0±1.41 <sup>d</sup>

### 2.3 薏米全粉添加量对小麦粉拉伸特性的影响

由表3可知,随着薏米全粉的添加,拉伸能量略有减小,并随着醒发时间的延长,不同添加量之间的差异性减小。与对照相比,45 min薏米全粉添加量为5%的差异显著,90 min时薏米全粉添加量为10%差异显著,到135 min 20%的薏米添加量差异才显著。随着薏米全粉的添加,面团的延伸性逐渐减小,并且随着时间的延长,各添加量之间显著性越来越大。随着薏米全粉的添加,面团的拉伸阻力在45 min和135 min时差异不显著。与对照相比,薏米全粉各个添加量在45 min和90 min时拉伸比差异都不显著,在135 min时拉伸比随着薏米全粉添加量的增加而增加,并且在薏米全粉添加量为15%~25%差异显著。

上述现象可能是薏米全粉的添加稀释了面筋蛋白的浓度和薏米全粉中脂肪氧化酶把面筋蛋白中的S—H键氧化为S—S键,从而在一定程度上增强了面筋蛋白的弹性,这两方面共同作用的结果<sup>[23-25]</sup>。实际上反映拉伸特性最主要的指标是能量和比值,面团能量数值提供了面团强度的信息和小麦粉烘焙特性,拉伸比表示曲线阻力和面团

**表3 薏米全粉添加量对小麦粉拉伸指数的影响**  
**Table 3 Effect of addition of coix seed flour on extensograph properties of wheat flour**

薏米全粉添加量/%	能量/cm <sup>2</sup>			延伸性/mm			最大拉伸阻力/BU			拉伸比/(BU/mm)		
	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min	45 min	90 min	135 min
0	46.0±0.00 <sup>a</sup>	46.5±4.95 <sup>a</sup>	48.0±2.83 <sup>a</sup>	161.5±0.71 <sup>a</sup>	153.0±4.24 <sup>a</sup>	159.5±2.12 <sup>a</sup>	216.0±1.41 <sup>a</sup>	195.0±11.31 <sup>a</sup>	216.5±16.26 <sup>a</sup>	1.20±0.00 <sup>a</sup>	1.40±0.00 <sup>a</sup>	1.35±0.07 <sup>a</sup>
5	37.5±2.12 <sup>b</sup>	45.0±1.41 <sup>a</sup>	46.5±2.12 <sup>a</sup>	157.0±9.90 <sup>a</sup>	148.0±5.66 <sup>ab</sup>	145.0±4.24 <sup>a</sup>	216.0±2.83 <sup>a</sup>	170.0±11.31 <sup>b</sup>	225.5±14.85 <sup>a</sup>	1.15±0.21 <sup>a</sup>	1.45±0.21 <sup>a</sup>	1.55±0.21 <sup>ab</sup>
10	33.0±1.41 <sup>c</sup>	39.0±1.41 <sup>bc</sup>	44.5±2.12 <sup>a</sup>	143.5±0.70 <sup>b</sup>	135.5±4.95 <sup>bc</sup>	139.5±4.94 <sup>b</sup>	203.5±5.65 <sup>a</sup>	160.0±14.84 <sup>cd</sup>	228.5±23.33 <sup>a</sup>	1.15±0.28 <sup>a</sup>	1.40±0.28 <sup>a</sup>	1.65±0.21 <sup>ab</sup>
15	31.0±1.41 <sup>c</sup>	41.0±1.41 <sup>ab</sup>	41.5±2.12 <sup>ab</sup>	129.5±4.95 <sup>c</sup>	132.5±13.44 <sup>bc</sup>	129.0±7.07 <sup>c</sup>	216.0±1.41 <sup>a</sup>	165.0±11.31 <sup>bc</sup>	225.5±4.94 <sup>a</sup>	1.25±0.28 <sup>a</sup>	1.60±0.28 <sup>a</sup>	1.75±0.14 <sup>b</sup>
20	29.0±1.41 <sup>cd</sup>	34.0±0.00 <sup>cd</sup>	37.5±3.54 <sup>bc</sup>	128.0±2.82 <sup>c</sup>	123.0±1.41 <sup>cd</sup>	122.5±3.53 <sup>c</sup>	195.0±5.65 <sup>a</sup>	152.0±1.41 <sup>d</sup>	216.5±19.09 <sup>a</sup>	1.20±0.00 <sup>a</sup>	1.60±0.00 <sup>a</sup>	1.80±0.07 <sup>b</sup>
25	26.5±2.12 <sup>d</sup>	31.0±1.41 <sup>d</sup>	34.5±2.12 <sup>c</sup>	118.5±4.95 <sup>c</sup>	112.0±2.83 <sup>d</sup>	112.0±0.00 <sup>d</sup>	192.5±1.41 <sup>a</sup>	152.0±4.95 <sup>d</sup>	213.5±16.26 <sup>a</sup>	1.25±0.07 <sup>a</sup>	1.75±0.07 <sup>a</sup>	1.90±0.14 <sup>b</sup>



拉伸长度的关系, 拉伸曲线面积大、比值适中的面团品质好, 其黏弹性优良<sup>[26]</sup>。本研究结果表明薏米全粉的添加使面团能量略有降低, 拉伸比增加, 因此可以减缓薏米全粉对馒头的劣变作用。

#### 2.4 薏米全粉添加量对小麦粉糊化特性的影响

**表 4 薏米全粉添加量对小麦粉糊化特性的影响**  
**Table 4 Effect of addition of coix seed flour on gelatinization properties of wheat flour**

薏米全粉添加量/%	糊化温度/℃	最高黏度/BU	最终黏度/BU	崩解值/BU	回生值/BU
0	59.95±0.21 <sup>a</sup>	944.00±8.49 <sup>a</sup>	1 336.5±62.93 <sup>d</sup>	437.50±3.54 <sup>d</sup>	794.5±7.78 <sup>f</sup>
5	60.30±0.28 <sup>ab</sup>	961.00±15.55 <sup>ab</sup>	1 302.5±17.67 <sup>bc</sup>	425.50±9.19 <sup>cd</sup>	739.50±6.36 <sup>e</sup>
10	61.00±0.28 <sup>bc</sup>	986.50±19.09 <sup>bc</sup>	1 287.0±26.87 <sup>bc</sup>	413.00±8.48 <sup>bc</sup>	713.00±9.89 <sup>d</sup>
15	61.45±0.21 <sup>cd</sup>	1 001.00±26.87 <sup>bc</sup>	1 248.5±10.60 <sup>ab</sup>	402.50±14.84 <sup>b</sup>	663.00±12.73 <sup>c</sup>
20	61.85±0.35 <sup>de</sup>	1 075.50±6.36 <sup>d</sup>	1 260.5±6.36 <sup>ab</sup>	417.00±2.12 <sup>cd</sup>	639.00±4.24 <sup>b</sup>
25	63.35±0.49 <sup>d</sup>	1 042.00±1.41 <sup>d</sup>	1 203.0±0.00 <sup>a</sup>	380.50±0.70 <sup>a</sup>	593.50±2.12 <sup>a</sup>

由表4可知, 随着薏米全粉添加量的增加, 混合粉的糊化温度和最高黏度显著增加, 而最终黏度、崩解值和回生值显著降低。本研究结果与熊柳<sup>[27]</sup>和林亲录<sup>[28]</sup>等研究结果一致。淀粉突然吸水膨胀的温度称为糊化温度, 糊化温度的高低代表了糊化的难易程度, 因为薏米全粉淀粉的结晶度高, 糊化焓值高, 初始糊化温度高, 从而导致薏米难糊化, 因此向小麦粉中加入薏米全粉会使其糊化温度升高; 随着薏米全粉的添加, 小麦粉的最高黏度增加, 这可能是因为薏米淀粉的结晶度更高, 糊化吸水膨胀所产生的黏度更大<sup>[29]</sup>。崩解值是最大黏度和谷值黏度的差值, 显示了面团在糊化时的稳定性, 崩解值越低面团热稳定性越强, 随着薏米全粉添加, 小麦粉的崩解值降低, 这是因为薏米全粉的高含量的蛋白质和纤维会提高淀粉的热稳定性, 因此导致小麦粉崩解值的降低。回生值显示了最终黏度和谷值黏度的差值, 反映出小麦粉的老化程度, 回生值越小说明小麦粉越不易老化, 由结果可知, 随着薏米全粉添加量的增加, 小麦粉回生值降低, 可能因为薏米全粉中高含量的蛋白质和纤维素抑制了淀粉氢键的重新排列, 从而抑制了淀粉的老化。

#### 2.5 薏米全粉添加量对馒头质构的影响

**表 5 薏米全粉添加量对馒头质构的影响**  
**Table 5 Effect of addition of coix seed flour on texture properties of wheat flour**

薏米全粉添加量/%	硬度/N	回复性	内聚性	弹性/mm	胶黏性/N	咀嚼性/mJ
0	18.08±0.64 <sup>a</sup>	1.54±0.02 <sup>c</sup>	0.50±7.81 <sup>d</sup>	4.61±0.01 <sup>a</sup>	9.05±0.22 <sup>a</sup>	41.69±0.20 <sup>f</sup>
5	24.57±2.32 <sup>b</sup>	0.34±0.01 <sup>b</sup>	0.43±0.06 <sup>c</sup>	5.68±0.01 <sup>b</sup>	10.57±0.48 <sup>bc</sup>	60.29±0.81 <sup>b</sup>
10	25.45±2.03 <sup>b</sup>	0.30±0.01 <sup>b</sup>	0.41±0.01 <sup>b</sup>	4.77±0.01 <sup>ab</sup>	10.47±0.77 <sup>bc</sup>	49.97±0.71 <sup>ab</sup>
15	22.33±2.37 <sup>b</sup>	0.30±0.02 <sup>b</sup>	0.42±0.02 <sup>c</sup>	4.73±0.01 <sup>ab</sup>	9.30±0.68 <sup>ab</sup>	44.38±0.80 <sup>a</sup>
20	27.48±2.22 <sup>c</sup>	0.30±0.02 <sup>b</sup>	0.39±0.07 <sup>a</sup>	5.21±0.01 <sup>ab</sup>	10.80±0.25 <sup>c</sup>	56.38±0.71 <sup>ab</sup>
25	25.77±2.02 <sup>b</sup>	0.26±0.05 <sup>a</sup>	0.39±0.07 <sup>a</sup>	5.11±0.01 <sup>ab</sup>	9.73±0.52 <sup>abc</sup>	47.95±0.40 <sup>ab</sup>

由表5可知, 随着薏米全粉添加量的增加, 与对照相比, 馒头的硬度增加了43%, 弹性增长了13%, 胶黏

性和咀嚼性相较于对照组略有增加。硬度和咀嚼性是衡量面制品品质的两个重要指标, 在一定范围内, 硬度和咀嚼性越小, 面团越柔软, 口感越好<sup>[16]</sup>, 因此薏米全粉的添加会使馒头质地产生不利的影响。这可能是因为薏米全粉稀释了面筋蛋白的浓度, 使馒头比容减小, 从而使馒头的硬度和咀嚼性增加。由于薏米全粉的添加促使了S—S键的形成, 小麦粉弹性增加, 因此馒头的弹性增加。同时由糊化结果(表4)表明薏米全粉的添加增加了小麦粉的黏度, 因此胶黏性增加。回复性表示样品在第1次压缩过程中回弹的能力, 反映了馒头受压后迅速恢复变形的能力, 内聚性表明了馒头的内部结合力的大小<sup>[30]</sup>。同时随着薏米全粉的添加, 馒头的回复性和内聚性都明显减小, 这说明薏米全粉的添加使馒头的内部结合力降低。

#### 2.6 薏米全粉添加量对馒头感官评价的影响

**表 6 薏米全粉添加量对馒头感官评价的影响**  
**Table 6 Effect of addition of coix seed flour on sensory evaluation of wheat flour**

薏米全粉添加量/%	比容/(mL/g)	外部(35分)			内部(65分)				总分
		比容	外观形状	色泽	结构	弹性	黏牙	气味	
0	2.84	20.00	13.10	8.95	13.22	15.29	12.05	4.23	86.84
5	2.16	19.00	13.00	8.32	12.05	14.16	12.46	4.41	83.40
10	2.30	20.00	12.70	7.79	11.42	14.84	10.21	4.20	81.16
15	2.29	20.00	9.60	6.75	9.34	12.94	11.14	4.19	73.96
20	1.69	15.00	8.65	6.20	9.70	12.34	10.59	4.18	66.66
25	1.82	16.00	9.50	5.61	10.05	12.51	10.59	4.02	68.28

如表6所示, 随着薏米全粉的添加, 馒头的各项指标总体上呈现降低的趋势, 但是在薏米全粉添加量为5%~10%馒头的品质与对照组相比变化不大。随着薏米全粉的添加比容有所下降, 外观形状较对照组有表面出现坑洼, 表面粗糙, 并出现一定的塌陷。色泽变暗, 但是颜色的变化在人可接受范围内。结构、弹性也是呈现出降低的趋势, 这与质构分析中硬度和咀嚼性的增加表现出了一定的相关性, 以及比容的减小, 因为薏米全粉的添加, 降低了面筋蛋白的含量, 降低了面筋的持气能力。黏牙结果与质构结果中的胶黏性结果一致。从感官评价可以看出, 气味的评价值随着薏米全粉的添加先增加再降低, 这可能是少量的薏米全粉更加消费者的喜爱, 但是当添加量大于10%时, 薏米全粉可以掩盖小麦粉的麦香味, 使评价值降低。综上所述, 薏米全粉的最适添加量确定为10%。

### 3 结 论

薏米全粉的添加增加了小麦粉中蛋白质、脂肪和灰分的含量。添加薏米全粉对小麦粉的形成时间, 稳定时间没有影响, 吸水率和弱化度略有增加。添加薏米全粉对面团的能量和延展性略有降低, 但是随着时间的延长

薏米全粉添加量对面团能量的影响差异性降低。最大拉伸阻力在45 min和135 min时差异不显著, 拉伸比在45 min和90 min时差异不显著, 但是在135 min时拉伸比增加, 在薏米全粉添加量为15%~25%差异显著。这可能是因为薏米全粉的添加虽然降低了面筋蛋白的含量, 但是薏米全粉中的脂肪氧化酶可以将小麦粉的S—H键转化为S—S键增加了小麦粉的弹性, 这其中面筋蛋白的稀释导致小麦粉品质的下降, S—S键的增加起到阻止面团加工品质劣变的作用。同时薏米全粉中的纤维发挥了类似麦麸中可溶性戊聚糖也可能会起到支撑面筋的作用<sup>[31]</sup>。薏米全粉的添加增加了小麦粉的糊化温度和最高黏度, 降低了小麦粉崩解值和回生值, 说明薏米全粉的添加可改善小麦粉的热稳定性和抗老化能力。

质构分析结果表明薏米全粉的添加增加了馒头的硬度、弹性和咀嚼性, 降低了馒头的回复性和内聚性。感官评定结果表明薏米全粉的添加使馒头的比容、色泽、结构、弹韧性和黏牙都有下降, 但是5%~10%的薏米全粉的添加量, 对馒头品质不显著, 少量薏米全粉的添加更加受人喜爱。

尽管薏米全粉添加降低了面团的加工特性, 并且使馒头的质地和口感都有所降低, 但是薏米全粉作为全谷物, 营养丰富, 能够补充精制米面所缺乏的微量营养素, 有益于身体健康。并且在薏米全粉添加量为10%时, 对馒头品质影响在可接受的范围之内, 因此可以考虑10%添加量为最优。

#### 参考文献:

- [1] PROTONOTARIOU S, BATZAKI C, YAISSNIOTIS S, et al. Effect of jet milled whole wheat flour in biscuits properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 74: 106-113. DOI:10.1016/j.lwt.2016.07.030.
- [2] 李佳佳, 田建珍, 刘强, 等. 杂粮配粉对小麦粉品质的影响[J]. 包装与食品机械, 2012, 30(1): 14-17. DOI:10.3969/j.issn.1005-1295.2012.01.004.
- [3] RINALDI M, PACIULLI M, CALIGIANI A, et al. Sourdough fermentation and chestnut flour in gluten-free bread: a shelf-life evaluation[J]. Food Chemistry, 2017, 224: 144-152. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.12.055.
- [4] RYBICKA I, GLISZCYNKA-WIG O A. Minerals in grain gluten-free products. The content of calcium, potassium, magnesium, sodium, copper, iron, manganese, and zinc[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 59: 61-67. DOI:10.1016/j.jfca.2017.02.006.
- [5] 王立峰, 陈静宜, 谢慧慧, 等. 薏米多酚细胞抗氧化及HepG2细胞毒性和抗增殖作用[J]. 中国农业科学, 2013, 46(14): 2990-3002. DOI:10.3864/j.issn.0578-1752.2013.14.015.
- [6] 汪开治. 国外科技简讯[J]. 植物杂志, 2004(1): 48.
- [7] ZHU F. Influence of ingredients and chemical components on the quality of Chinese steamed bread[J]. Food Chemistry, 2014, 163: 154-162. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.04.067.
- [8] 吴澎, 周涛, 董海洲, 等. 影响馒头品质的因素[J]. 中国粮油学报, 2012(5): 107-111. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2012.05.022.
- [9] 苏东民. 中国馒头分类及主食馒头品质评价研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [10] 张猛. 复合杂粮面包工艺优化及品质改良研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [11] 陆红梅. 我国杂粮加工制品的发展现状及趋势[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(1): 20-21. DOI:10.3969/j.issn.1006-9577.2012.01.007.
- [12] LIU X L, MU T H, SUN H N, 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. DOI:10.1016/S2095-3119(16)61388-6.
- [13] ZHU F, SAKULNAK R, WANG S. Effect of black tea on antioxidant, textural, and sensory properties of Chinese steamed bread[J]. Food Chemistry, 2016, 194: 1217-1223. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.08.110.
- [14] 汪姣. 杂粮馒头的制作及其品质特性分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2012.
- [15] HAO M L, BETA T. Development of Chinese steamed bread enriched in bioactive compounds from barley hull and flaxseed hull extracts[J]. Food Chemistry, 2012, 133: 1320-1325. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.02.008.
- [16] 崔丽琴, 崔素萍, 马平, 等. 豆渣粉对小麦面团、馒头质构特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 85-88. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201405017.
- [17] 王立峰. 薏米中多酚类物质对抗氧化、抗肿瘤和降血脂作用的评价研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [18] 庄玮婧. 薏米多糖结构与理化性质的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2008.
- [19] SIM S Y, NOOR AAIZH A A, CHENG L H. Characteristics of wheat dough and Chinese steamed bread added with sodium alginates or konjac glucomannan[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 951-957. DOI:10.1016/j.foodhyd.2010.09.009.
- [20] 庄玮婧, 吕峰, 郑宝东. 薏米营养保健功能及其开发应用[J]. 福建轻纺, 2006(11): 103-106. DOI:10.3969/j.issn.1007-550X.2006.11.027.
- [21] 杨梓晨, 梁婧, 刘雨晴, 等. 薏米的成分分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 756-758. DOI:10.3969/j.issn.0517-6611.2011.02.049.
- [22] 新彬, 豆康宁, 王昭才. 燕麦粉对面粉品质的影响研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(4): 29-32. DOI:10.3969/j.issn.1008-9578.2016.04.009.
- [23] 周瑞宝. 植物蛋白功能原理与工艺[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 52-53.
- [24] 王怡然, 王金水, 赵谋明, 等. 小麦面筋蛋白的组成、结构和特性[J]. 食品工业科技, 2007, 28(10): 228-231. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2007.10.074.
- [25] 周素梅, 王璋, 许时婴. 戊聚糖酶与氧化酶对面团流变性质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2002, 23(8): 15-18. DOI:10.3969/j.issn.1002-0306.2002.08.005.
- [26] 朱永义. 谷物加工工艺及设备[M]. 北京: 科学出版社, 2002: 71-72.
- [27] 熊柳, 韩忠杰, 孙庆杰. 薏米粉及其淀粉的理化性质和淀粉消化性对比[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(7): 32-37. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2012.07.007.
- [28] 林亲录, 肖华西, 李丽辉, 等. 大米粉、大米淀粉及其磷酸酯淀粉的物性特征研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(2): 1-6.
- [29] 刘晓娟, 杨磊, 毛新, 等. 薏米难糊化的机理研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(7): 55-60. DOI:10.3969/j.issn.1009-7848.2012.07.009.
- [30] 何承云, 林向阳, 张永生. 黄原胶对馒头质构影响的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(5): 313-315.
- [31] 申瑞玲, 董吉林, 程珊珊, 等. 麸皮面粉面团的粉质和拉伸特性[J]. 农业工程学报, 2009, 25(增刊1): 237-240.