

# 青麦粉添加对馒头面团及面筋蛋白结构的影响

张康逸, 康志敏, 王继红, 高玲玲, 温青玉, 郭东旭

(河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南郑州 450008)

**摘要:** 以馒头专用粉及青麦粉制作青麦馒头, 利用激光共聚焦显微镜、黏度仪、红外光谱仪等分析仪器进行测定, 探究不同青麦粉添加量(0%、5%、10%、15%、20%)对面团粉质特性、糊化特性、微观结构及面筋蛋白二级结构的影响。结果表明, 随着青麦粉添加量的增加, 混合粉湿面筋含量、面筋指数减少; 糊化温度、峰值黏度降低, 面团糊化时间缩短, 面团稳定时间从6.18 min降至4.92 min、粉质质量指数减小了18, 面筋强度变弱, 承受力变差; 面团拉伸面积、延伸度和最大拉伸阻力在135 min时显著减小; 面筋网络结构逐渐出现孔洞, 分布不均匀; 面团面筋蛋白各吸收峰都发生了偏移,  $\beta$ -折叠和 $\alpha$ -螺旋结构含量增加; 综上所述, 青麦粉的加入改变了面团特性和面筋蛋白结构, 这些变化可能是导致青麦馒头品质下降的主要原因。

**关键词:** 青麦粉; 馒头; 面团; 面筋蛋白二级结构

文章编号: 1673-9078(2019)02-82-88

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.2.012

## Effect of Adding Green Wheat Flour on the Dough of Steamed Bread and Structure of Its Gluten Protein

ZHANG Kang-yi, KANG Zhi-min, WANG Ji-hong, GAO Ling-ling, WEN Qing-yu, GUO Dong-xu

(Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China)

**Abstract:** Steamed bread was made using steamed bread specialized flour and green wheat flour. Analytical instruments such as laser confocal microscope and rapid visco analyser (RVA) and fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy were used to examine the impacts of adding green wheat flour in different amounts (0%~20%) on the characteristics of bread dough, gelatinization properties, microstructure and gluten protein secondary structure. The results showed that the increase of the amount of green wheat flour caused decreased wet gluten content and gluten index, reduced pasting temperature and peak viscosity, shortened gelatinization processing time, decreased dough stability time (from 6.18 to 4.92 min), reduced flour quality index (by 18), weakened gluten strength and tolerance, reduced tensile area, elasticity, maximum tensile resistance of dough at the 135<sup>th</sup> min, gradual appearance and uneven distribution of voids in the gluten network structure, and shift of individual absorption peaks of gluten protein, and increased beta-sheet and alpha-helical structure contents. In summary, addition of green wheat flour could change dough properties and gluten structure, which may be the main cause of decreased final product quality.

**Key words:** green wheat flour; steamed bread; dough; gluten protein secondary structure

鲜食全谷物是通过速冻进行整粒加工和低温保藏, 最大程度保留其营养成分及活性物质的全谷物食品, 随着科学技术的发展, 亚健康人群数量的增加及人们对营养食物的追求, 鲜食全谷物主食化产品越来越受到人们的青睐。青麦粉是以青麦仁<sup>[1]</sup>为原料, 采用低温干燥粉碎制作的全谷物青麦仁全粉, 含有丰富的氨基酸、膳食纤维、 $\alpha$ 、 $\beta$ 淀粉酶等, 经检测青麦仁膳食纤维含量高达14.78%, 微量元素中Cu、Mn含量是鲜玉米的4倍多, 人体必需氨基酸含量明显大于成熟后的小麦, 亮氨酸、组氨酸、谷氨酸是成熟小麦含

收稿日期: 2018-08-26

基金项目: 河南省重大科技专项项目(151100111300)

作者简介: 张康逸(1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品科学

通讯作者: 康志敏(1986-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 食品加工

量的2倍, 第一限制性氨基酸赖氨酸含量是小麦的8倍, DPPH自由基清除能力、氧自由基吸收能力、ABTS<sup>+</sup>清除能力均高于成熟期小麦粉。馒头是我国大部分地区人们的日常主食<sup>[2]</sup>, 将青麦全粉作为膳食调理配料添加到面粉中, 不仅提高了馒头的营养价值, 也是强化人们膳食摄入的有效途径。

全谷物青麦全粉蛋白质含量比普通小麦粉含量略少, 麦谷蛋白和醇溶蛋白含量更低。麦谷蛋白和醇溶蛋白是形成面筋的主要物质, 醇溶蛋白影响面团的吸水率和延伸度, 麦谷蛋白对面团形成时间, 稳定时间及粉质拉伸各指标都有显著影响<sup>[3]</sup>。二者的含量和质量决定了面制品中蛋白质的结构性能和面团的形成, 面团形成的好坏直接影响面制品的品质, 因此全谷物青麦粉的添加会严重影响馒头品质。黄莲燕等<sup>[4]</sup>研究

了不同谷物麸皮对面团及面筋蛋白结构的影响,发现谷物麸皮改变了面团的流变特性及面筋蛋白的组成及二级结构。王超等<sup>[5]</sup>认为添加膳食纤维使蛋白分子间形成 $\alpha$ -螺旋结构减少,弱化了面团面筋网络结构。王世新等<sup>[6]</sup>研究水分对冷冻面团质构及面筋蛋白二级结构的影响,加水量和冷冻对小麦面团的质构特性和面筋蛋白二级结构影响显著。张慧娟等<sup>[7]</sup>改性麸皮的添加会增加面团的形成时间和吸水率,减少面筋蛋白的气孔数量,而对于鲜食全谷物粉对主食面团及面筋蛋白二级结构的影响研究较少。本文研究青麦粉添加量对面团面筋含量、面团糊化特性、粉质拉伸特性、面团网络结构及面筋蛋白二级结构的影响,从青麦粉的添加对面团面筋的作用机理分析导致青麦馒头品质下降的原因,为青麦粉在主食产品加工过程中的作用机理提供依据,为全谷物主食产品的开发提供研究基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

青麦粉,河南省农科院农副产品加工研究所; 白雪麦纯富强粉,中粮(郑州)粮油工业有限公司; 安琪高活性干酵母,安琪酵母(伊犁)有限公司。

### 1.2 实验设备及仪器

B5A 多功能搅拌机,广州市威力事实业有限公司; JJM54S 面筋洗涤仪、JLZM6000 面筋离心指数测定仪,上海嘉定粮油仪器有限公司; RVA-4 型快速黏度仪,澳大利亚 Newport 科学仪器公司; 电子粉质仪、电子拉伸仪,德国布拉班德公司; FV-100 激光共聚焦显微镜,奥林巴斯株式会社。Nicolet is5 傅里叶变换红外光谱仪, Thermo Scientific。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 添加青麦粉面团、馒头的制备及馒头比容感官品质的测定

面粉+青麦粉+1%酵母融入水中→和面→分割成型→醒发→蒸制→冷却成品

馒头制作方法参考王显伦文献<sup>[8]</sup>中方法并稍作修改,称取 100%面粉,分别添加不同比例(0%、5%、10%、15%、20%)的青麦粉替代相应比例的面粉,加适量水和成光滑面团;将面团分割成 120 g 的馒头面胚,成型,置于 30 °C、湿度 60%的醒发箱中醒发 30 min。将醒发好的馒头面胚置于蒸锅上蒸制 30 min,将青麦馒头室温冷却 20 min,采用菜籽置换法测定其比容;选择 10 名感官评价员分别对不同条件下的馒头

进行感官评定,参照馒头感官评价标准<sup>[9]</sup>并稍作修改进行打分,去除最大和最小值,取平均值,计算总分。

#### 1.3.2 青麦馒头面团湿面筋含量和面筋指数测定

按照 1.3.1 制作青麦馒头面团,用面筋洗涤仪洗涤面团,至用碘液检查无颜色,参照 LS/T 6102-1995<sup>[10]</sup>中方法测定。

#### 1.3.3 混合粉糊化特性的测定

准确称取 3.5 g 的混合粉样品,加 25.0 g 水,参照 GB/T 24853-2010 进行测定。测定样品的糊化特性变化曲线,记录糊化温度、峰值黏度、最低黏度、最终黏度、崩解值、回生值和高峰时间,每个样品平行测定 3 次。

#### 1.3.4 面团粉质特性和拉伸特性的测定

参照 GB/T 14614-2006 和 GB/T 14615-2006 进行测定。

#### 1.3.5 面团面筋网络结构激光共聚焦扫描显微镜(CSLM)

将样品面团制备成长约 2.5 cm 的正方体,然后置于-30 °C 冰箱中冷冻 3 h 备用,将冷冻后的面团用冷冻切片切片,配置浓度 0.001 g/L 的罗丹明 B 水溶液,对切片进行染色,将载有样品的载玻片盖上盖玻片,置于 CSLM 镜头下观察,采用 40× 倍目镜观察。扫描条件:参照 Jekle 等<sup>[11]</sup>方法,发射光波长:575 nm,扫描方式:单张扫描,扫描密度:1024×1024。

#### 1.3.6 傅里叶变换红外光谱(Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)测定

将 KBr 在 40 °C 恒温干燥 6 h 备用,取 2.0 mg 粉碎后的样品和 0.2 g KBr 放入玛瑙研钵混合研磨均匀,再用压片机压片,压力保持 15 kPa,取出样品进行 FTIR 扫描,光谱范围为 400~4000  $\text{cm}^{-1}$ ,扫描累加 64 次,分辨率为 4  $\text{cm}^{-1}$ <sup>[12,13]</sup>。用 Omnic 8.0 软件分析截取酰胺 I 带 1600~1700  $\text{cm}^{-1}$  波段,再用 Peak Fit 4.12 软件对其进行基线校正、高斯去卷积、二阶导数拟合,计算峰面积确定面筋蛋白二级结构所占比例<sup>[14,15]</sup>,酰胺 I 带波数与面筋蛋白二级结构对应关系为:1646~1664  $\text{cm}^{-1}$  为  $\alpha$ -螺旋;1615~1637  $\text{cm}^{-1}$  及 1682~1700  $\text{cm}^{-1}$  为  $\beta$ -折叠;1664~1681  $\text{cm}^{-1}$  为  $\beta$ -转角;1637~1645  $\text{cm}^{-1}$  为无规卷曲<sup>[16]</sup>。

#### 1.3.7 数据处理

采用 Excel 2007、Origin 8.5 进行图表制作,运用统计分析软件 SPSS16.0 对试验数据进行显著性检验,以  $p < 0.05$  为显著性标准。

## 2 结果与分析

## 2.1 青麦粉添加对面团面筋品质及馒头比容、感官品质的影响

面粉蛋白由清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和麦谷蛋白组成,醇溶蛋白和麦谷蛋白是组成小麦面筋含量的主要成分,麦谷蛋白的黏结性和弹性和醇溶蛋白的黏性和延伸性构成了小麦粉独有的面筋特性<sup>[17]</sup>;湿面筋的含量和质量对馒头品质有显著影响<sup>[18]</sup>,研究表明,湿面筋含量为28%~32%时制作的馒头品质较好<sup>[19]</sup>;由图1可知,随青麦粉添加量的增加,混合粉的湿面筋含量、面筋指数逐渐减少,混合粉的品质降低。青麦粉中醇溶蛋白和麦谷蛋白含量较少,青麦仁全粉无法形成湿面筋,随着青麦粉添加量的增加,大大弱化了混合粉的面筋含量和质量,当青麦粉添加量大于10%时,混合粉的湿面筋含量和面筋指数较低,面筋指数小于70%,混合粉品质变差。由图1可知,随青麦粉添加量增加,青麦馒头的比容、感官评分逐渐减小,说明随着添加量的增加,青麦馒头比容变小,感官品质变差。

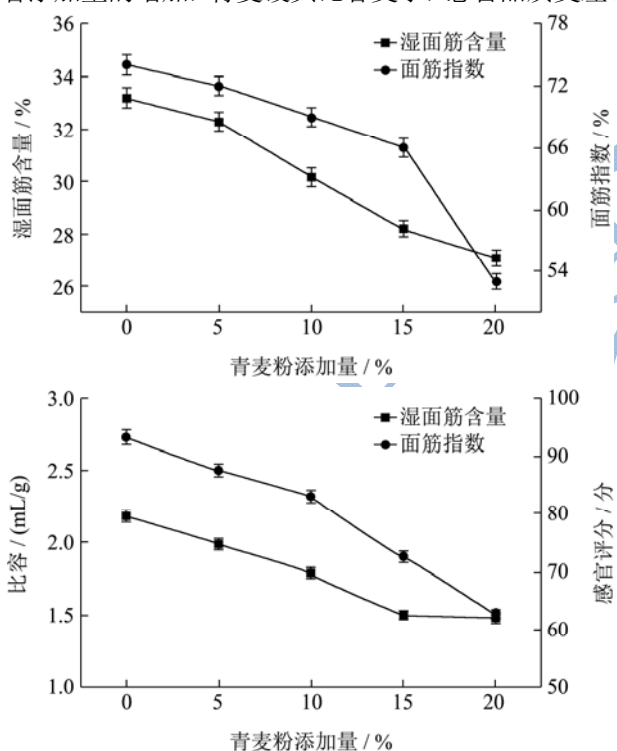


图1 青麦粉添加对面筋品质及馒头比容、感官品质的影响

Fig.1 Effects of green wheat flour on wet gluten quality, specific volume and sensory quality of steamed bread

## 2.2 青麦粉添加对混合粉糊化特性的测定

食品在蒸煮过程中会伴随着淀粉的糊化,淀粉的糊化和回生严重影响着食品的品质<sup>[20]</sup>。由表1可知,随青麦粉添加量的增加,混合粉的糊化温度、峰值黏

度逐渐降低,峰值黏度从1940 cP降至1601 cP,青麦粉添加量为0%、5%、10%和15%、20%混合粉糊化温度与峰值黏度差异显著( $p < 0.05$ );糊化温度的降低缩短了面团糊化的加工时间,淀粉不易充分糊化,降低了面制品的制作品质<sup>[21]</sup>。随青麦粉添加量的增加,高峰时间变化不显著,衰减值和回生值在添加量为10%以后出现了增加,添加10%的青麦粉后衰减降低150 cP,衰减值和回升值变小会减小淀粉的糊化回生<sup>[22]</sup>,说明添加5%、10%的青麦粉可减小淀粉的糊化回生,但影响不显著( $p > 0.05$ )。Mais等<sup>[23]</sup>研究表明发现添加甘薯纤维的混合粉由于纤维素和蛋白质等作用阻碍了淀粉氢键的重新缔合,可减小淀粉的糊化与回生。青麦全粉中的纤维素含量比面粉要高,这可能是青麦混合粉回生值降低的原因。

## 2.3 青麦粉的添加对面团粉质特性的影响

粉质特性反应了面粉加水和形成面团后的黏弹性与耐揉性<sup>[24]</sup>,由表2可知,随青麦粉添加量的增加,面团吸水率、形成时间及弱化度逐渐增加,面团吸水率从57.5%增加至71.2%,增加了13.7%,说明青麦粉吸水力比面粉强,添加青麦粉可以增加面粉的吸水率,面团形成时间增加说明添加青麦粉后面团不易成型,弱化度增加说明面团韧性降低,面筋强度变弱,易变形不利于加工。随青麦粉添加量的增加,面团稳定时间从6.18 min降低至4.92 min、粉质质量指数减小了18,稳定时间越短说明面筋强度越弱,面筋承受力差,粉质质量变差。且青麦粉添加量对面团吸水率、稳定时间、弱化度及粉质质量指数都有显著影响( $p < 0.05$ )。

## 2.4 青麦粉添加对面团拉伸特性的影响

由表3可知,随着青麦粉添加量的增加,面团拉伸面积、延伸度在135 min时显著减小( $p < 0.05$ ),最大拉伸阻力在135 min时逐渐减小,拉伸面积减小说明添加青麦粉使得面筋结构松散,面团筋力变弱。延伸度可以表示面团的延展性,由上表可知延伸度在70~200 mm的之间,说明添加青麦粉后面团属于弱筋粉的范畴(延伸度 $< 155$  mm)<sup>[25]</sup>。拉伸阻力表示面团的筋力和强度,最大拉伸阻力表示面团韧性的强弱,一定的拉伸阻力可以维持面团内的体积<sup>[26]</sup>,随青麦粉含量的增加最大拉伸阻力从414 BU减小365 BU,表明青麦粉的添加弱化了面团的韧性和筋力。这可能是因为随青麦粉的增加,混合粉中膳食纤维含量增加,阻碍了面筋网络的形成。拉伸比是面团的拉伸阻力与延伸度的比值,拉伸比过大表明面团的筋力过强,延展性差,反之筋力太弱无法保持气体造成面团难醒发<sup>[27]</sup>。



由上表可知拉伸比随青麦粉的添加有所增加，这可能是因为拉伸阻力的增大速率比延伸度增加得更快。

表 1 青麦粉添加对混合粉糊化特性的影响

Table 1 Influence of green wheat flour on pasting properties of mixed powder

青麦粉添加量/%	糊化温度/°C	峰值黏度/cP	衰减值/cP	回生值/cP	高峰时间/min
0	86.95±0.82 <sup>a</sup>	1940±85 <sup>a</sup>	882±31 <sup>a</sup>	995±51 <sup>a</sup>	5.87±0.25 <sup>a</sup>
5	85.39±1.26 <sup>ab</sup>	1862±72 <sup>ab</sup>	765±24 <sup>b</sup>	988±35 <sup>a</sup>	5.65±0.36 <sup>a</sup>
10	85.06±1.81 <sup>ab</sup>	1781±58 <sup>bc</sup>	732±43 <sup>b</sup>	931±43 <sup>a</sup>	5.68±0.11 <sup>a</sup>
15	83.38±1.05 <sup>b</sup>	1669±39 <sup>cd</sup>	750±18 <sup>b</sup>	956±26 <sup>a</sup>	5.71±0.32 <sup>a</sup>
20	82.96±2.02 <sup>b</sup>	1601±97 <sup>d</sup>	761±29 <sup>b</sup>	972±47 <sup>a</sup>	5.71±0.24 <sup>a</sup>

注：数据结果为 Mean±SD；同列小写字母上标不同表示均值之间差异显著 ( $p < 0.05$ )，下同。

表 2 青麦粉添加对面团粉质特性的影响

Table 2 Influence of green wheat flour on the farinograph properties of dough

青麦粉添加量/%	面团吸水率/%	形成时间/min	稳定时间/min	弱化度/BU	粉质质量指数
0	57.5±0.18 <sup>e</sup>	1.90±0.01 <sup>d</sup>	6.18±0.03 <sup>a</sup>	34±1 <sup>e</sup>	82±1 <sup>a</sup>
5	61.3±0.07 <sup>d</sup>	2.82±0.02 <sup>c</sup>	5.87±0.04 <sup>b</sup>	38±2 <sup>d</sup>	77±1 <sup>b</sup>
10	63.5±0.14 <sup>c</sup>	3.02±0.02 <sup>b</sup>	5.46±0.01 <sup>c</sup>	56±1 <sup>c</sup>	74±2 <sup>bc</sup>
15	67.2±0.28 <sup>b</sup>	3.18±0.01 <sup>a</sup>	5.12±0.02 <sup>d</sup>	60±1 <sup>b</sup>	68±3 <sup>cd</sup>
20	71.2±0.21 <sup>a</sup>	3.20±0.03 <sup>a</sup>	4.92±0.04 <sup>e</sup>	64±1 <sup>a</sup>	64±4 <sup>d</sup>

表 3 青麦粉添加对面团拉伸特性的影响

Table 3 Influence of green wheat flour on the extensograph properties of dough

青麦粉添加量/%	135 min			
	拉伸面积/cm <sup>2</sup>	延伸度/mm	最大拉伸阻力/BU	最大拉伸比
0	66±2 <sup>a</sup>	124±5 <sup>a</sup>	414±3 <sup>a</sup>	3.3±0.1 <sup>b</sup>
5	59±2 <sup>b</sup>	115±4 <sup>b</sup>	410±2 <sup>a</sup>	3.5±0.2 <sup>ab</sup>
10	52±1 <sup>c</sup>	101±3 <sup>c</sup>	390±4 <sup>b</sup>	3.6±0.1 <sup>ab</sup>
15	42±1 <sup>d</sup>	97±2 <sup>c</sup>	378±2 <sup>c</sup>	3.9±0.1 <sup>a</sup>
20	30±1 <sup>e</sup>	87±2 <sup>d</sup>	365±3 <sup>d</sup>	3.9±0.3 <sup>a</sup>

## 2.5 CSLM 观察青麦粉对面筋蛋白微观结构

的影响

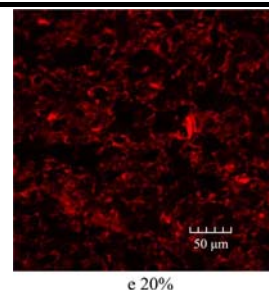
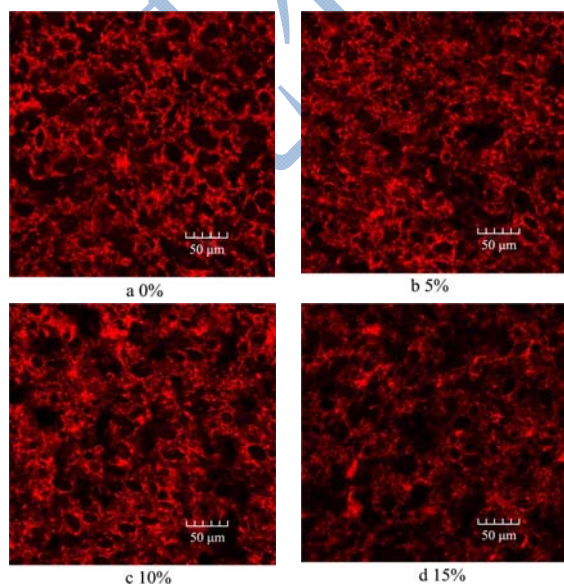


图 2 青麦粉添加对馒头面团面筋蛋白微观结构的影响

Fig.2 Effect of green wheat flour on ultrastructure of gluten protein in steamed bread dough

图2为不同青麦粉添加量面团的光学切片图像，蛋白质被罗丹明B溶液染成红色。由图2可以看出面筋蛋白之间相互交联成网状，形成了连续的网络框架结构，淀粉填充在面筋网络结构里，复杂的面筋网络结构决定了面制品的物理性质<sup>[28]</sup>。图a为未添加青麦粉的面团，面筋网络结构清晰，气孔均匀，图b、c分别为青麦粉添加量为5%、10%的面团，由图2可知，面筋网络结构开始出现部分孔洞，分布开始变得不均匀，但

仍有网络结构存在,说明面团中仍有足够的面筋蛋白亚基可形成二硫键支撑网络结构;当青麦粉添加量为15%、20%时,面筋蛋白含量降低,面筋网络结构断裂,被破坏严重,形成较大的孔洞,研究表明面筋网络结构是面制品拥有柔软内部结构的必要条件,面制品最终品质很大程度上取决于面团的结构、均匀度及稳定性<sup>[29]</sup>。这可能是由于青麦粉本身不含能形成面筋

结构的蛋白,随青麦粉添加量的增加破坏了面团的组织结构,面团无法像小麦粉一样形成具有粘弹性的面筋结构,当青麦粉含量增加到一定程度时,混合粉面团的面筋含量降低,不能形成连续的面筋网络结构,导致面团及馒头组织结构紧实并缺乏弹性与柔软性。

## 2.6 青麦粉添加量的面团面筋蛋白红外图谱

表4 混合面团面筋蛋白二级结构的含量

Table 4 Content of the secondary structure of gluten protein in mixed dough

青麦粉添加量/%	$\alpha$ -螺旋/%	$\beta$ -折叠/%	$\beta$ -转角/%	无规则卷曲/%
0	13.10±0.02 <sup>c</sup>	41.66±0.89 <sup>b</sup>	16.28±0.32 <sup>a</sup>	7.13±0.05 <sup>b</sup>
5	14.76±0.09 <sup>d</sup>	42.09±0.68 <sup>b</sup>	15.81±0.26 <sup>ab</sup>	6.36±0.10 <sup>d</sup>
10	15.09±0.15 <sup>c</sup>	42.11±0.35 <sup>b</sup>	15.31±0.48 <sup>b</sup>	6.95±0.09 <sup>c</sup>
15	15.30±0.21 <sup>b</sup>	42.43±0.92 <sup>b</sup>	15.24±0.21 <sup>b</sup>	7.05±0.09 <sup>bc</sup>
20	16.10±0.06 <sup>a</sup>	44.25±1.06 <sup>a</sup>	14.34±0.26 <sup>c</sup>	7.35±0.03 <sup>a</sup>

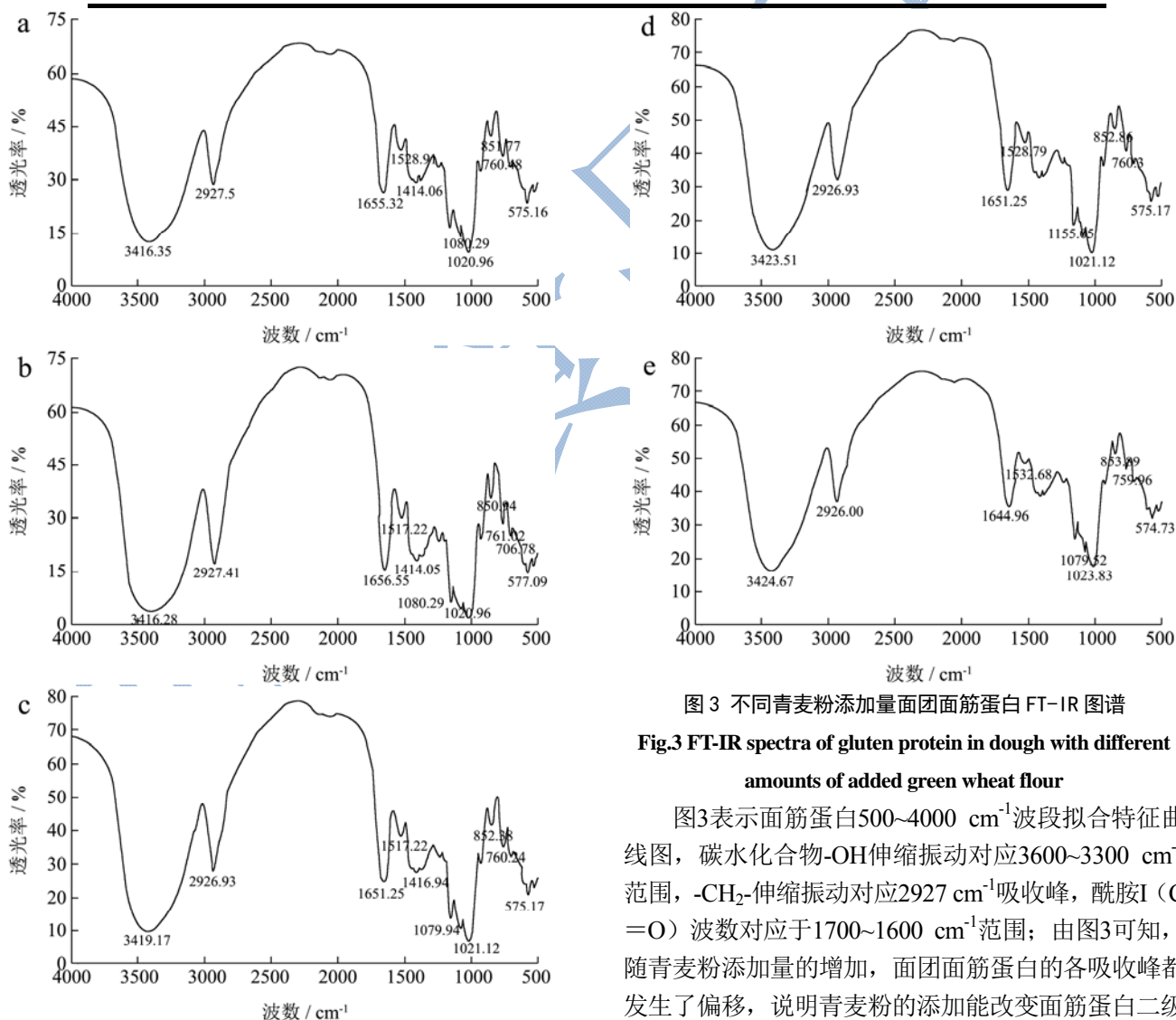


图3 不同青麦粉添加量面团面筋蛋白 FT-IR 图谱

Fig.3 FT-IR spectra of gluten protein in dough with different amounts of added green wheat flour

图3表示面筋蛋白500~4000  $\text{cm}^{-1}$ 波段拟合特征曲线图,碳水化合物-OH伸缩振动对应3600~3300  $\text{cm}^{-1}$ 范围,- $\text{CH}_2$ -伸缩振动对应2927  $\text{cm}^{-1}$ 吸收峰,酰胺I ( $\text{C}=\text{O}$ )波数对应于1700~1600  $\text{cm}^{-1}$ 范围;由图3可知,随青麦粉添加量的增加,面团面筋蛋白的各吸收峰都发生了偏移,说明青麦粉的添加能改变面筋蛋白二级

结构。由表4可知随青麦粉的添加,面团二级结构中 $\alpha$ -螺旋和 $\beta$ -折叠结构逐渐增加, $\beta$ -转角结构逐渐减少,其中 $\alpha$ -螺旋结构含量增加明显( $p < 0.05$ ), $\beta$ -转角和 $\beta$ -折叠结构的变化可能是由于随青麦粉的添加两种结构发生了相互转化,Bock等<sup>[30]</sup>发现面粉中添加小麦麸皮会使 $\beta$ -转角转化为 $\beta$ -折叠结构,使面筋蛋白部分脱水,面团水分重新分布;同时,Choi等<sup>[31]</sup>研究认为 $\beta$ -折叠和 $\alpha$ -螺旋是较有序的二级结构,都含有大量氢键,使蛋白质二级结构具有一定的刚性,稳定性较高,无规卷曲和 $\beta$ -转角是较为无序的蛋白二级结构,肽段间有较大自由度,柔韧性大,这也说明随青麦粉添加量的增加, $\beta$ -折叠和 $\alpha$ -螺旋结构含量的增加使得面团蛋白二级结构趋于稳定,导致面团的硬度、黏性增加、弹性降低。因此,随青麦粉添加量的增加,膳食纤维含量增加,面团面筋蛋白含量在一定程度上被稀释,面团面筋蛋白二级结构趋于稳定,面团硬度增加,弹性降低。

### 3 结论

随青麦粉添加量的增加,混合粉的湿面筋含量、面筋指数逐渐减少,制作的馒头比容和感官评分逐渐减小;混合粉的糊化温度从86.95℃降至82.96℃、峰值黏度从1940 cP降至1601 cP,面团糊化加工时间缩短,淀粉糊化不充分,降低了面制品的制作品质;面团粉质拉伸特性显示随青麦粉添加量增加,面团稳定时间、粉质质量指数减小,面筋强度越弱,承受力差,粉质质量变差;面团拉伸面积、延伸度、最大拉伸阻力在135 min时显著减小了49 BU,同时随青麦粉添加量的增加,面筋网络结构出现部分孔洞,分布变得不均匀,面筋结构松散,面团面筋蛋白的各吸收峰都发生了偏移,青麦粉的添加改变了面筋蛋白二级结构, $\beta$ -折叠和 $\alpha$ -螺旋结构含量的增加使得面团蛋白二级结构趋于稳定,导致面团的硬度、黏性增加、弹性降低。这些都是使得青麦馒头比容变小,品质下降的原因。

### 参考文献

- [1] 张康逸,屈凌波.鲜食全谷物加工技术研究进展[J].粮食加工,2015,40(6):1-5  
ZHANG Kang-yi, QU Ling-bo. Research progress of fresh whole grain processing technology [J]. Food Processing, 2015, 40(6): 1-5
- [2] 邓利, Kizzy Nerissa Kira Ereia Rennie,梁叶星,等.脱脂糯米米糠粉对面团流变学性质及馒头品质的影响[J].食品科学,2015,36(7):50-55  
DENG Li, Kizzy Nerissa Kira Ereia Rennie, LIANG Ye-xing, et al. Effect of skim glutinous millet bran powder on rheological properties of wheat dough and the quality of steamed bread [J]. Food Science, 2015, 36(7): 50-55
- [3] 李志西,魏益民,张建国,等.小麦蛋白质组分与面团特性和烘焙品质关系的研究[J].中国粮油学报,1998,13(3):3-7  
LI Zhi-xi, WEI Yi-min, ZHANG Jian-guo, et al. Study on the effects of wheat protein components on dough properties and baking quality [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oil Association, 1998, 13(3): 3-7
- [4] 黄莲燕,张小爽,张君慧,等.不同谷物麸皮对面团流变学特性及面筋蛋白结构的影响[J].食品科学,2017,38(23):1-6  
HUANG Lian-yan, ZHANG Xiao-shuang, ZHANG Jun-hui, et al. Effect of different cereal brans on dough rheological properties and gluten secondary structure [J]. Food Science, 2017, 38(23): 1-6
- [5] 王超,王岸娜,吴立根.玉米种皮膳食纤维对谷朊粉和小麦淀粉混合体系形成面团影响[J].粮食与油脂,2012,11:12-15  
WANG Chao, WANG An-na, WU Li-gen. Effect of corn bran dietary fiber on dough of wheat gluten and wheat starch [J]. Cereals & Oils, 2012, 11: 12-15
- [6] 王世新,杨强,李新华.水分对冷冻小麦面团质构及面筋蛋白二级结构的影响[J].食品科学,2017,38(9):149-153  
WANG Shi-xin, YANG Qiang, LI Xin-hua. Effect of moisture on texture and gluten protein secondary structure in frozen wheat dough [J]. Food Science, 2017, 38(9): 149-153
- [7] 张慧娟,张小爽,黄莲燕.麸皮生物改性对面团和面筋蛋白性质的影响[J].食品研究与开发,2018,39(3):1-7  
ZHANG Hui-juan, ZHANG Xiao-shuang, HUANG Lian-yan, et al. Effects of biological modification of bran on dough and glutenin properties [J]. Food Research and Development, 2018, 39(3): 1-7
- [8] 王显伦,王玮,潘思轶.木聚糖酶对速冻馒头品质影响及其作用机理[J].中国粮油学报,2016,31(4):6-9  
WANG Xian-lun, WANG Wei, PAN Si-yi. Effect of xylanase on quality of frozen steamed bread and mechanism [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2016, 31(4): 6-9
- [9] 张国权,叶楠,张桂英,等.馒头品质评价体系构建[J].中国粮油学报,2011,26(7):10-16  
ZHANG Guo-quan, YE Nan, ZHANG Gui-ying, et al. Construction of quality evaluation system for steamed bread [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(7): 10-16
- [10] LS/T 6102-1995,小麦粉湿面筋质量测定法,面筋指数法[S]  
LS/T 6102-1995, Method for the Determination of Wet



- Gluten Quality in Wheat Flour, Gluten Index [S]
- [11] Jekel M, Becker T. Dough microstructure: Novel analysis by quantification using confocal laser scanning microscopy [J]. Food Research International, 2011, 44: 984-991
- [12] 汪兰,吴文锦,乔宇,等.冻藏条件下魔芋葡甘聚糖降解产物对肌原纤维蛋白结构的影响[J].食品科学,2015,36(22): 244-249  
WANG Lan, WU Wen-jin, QIAO Yu, et al. Effect of degraded products of konjac glucomannan on the structure of myofibrillar protein from glass carp meat during frozen storage [J]. Food Science, 2015, 36(22): 244-249
- [13] 何建川,邵阳,张波.蛋白质和变性蛋白质二级结构的 FT-IR 分析进展[J].化学研究与应用,2012,24(8):1176-1180  
HE Jian-chuan. SHAO Yang, ZHANG Bo. Progress in study of protein secondary structure and denatured protein by FT-IR [J]. Chemical Research and Application, 2012, 24(8): 1176-1180
- [14] GAO Xin, LIU Tianhong, YU Jing, et al. Influence of high-molecular-weight gluten in subunit composition at Glu-B1 locus on secondary and micro structures of gluten in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Food Chemistry, 2016, 197(15): 1184-1190
- [15] Georget D M, Belton P S. Effects of temperature and water content on the secondary structure of wheat gluten studied by FTIR spectroscopy [J]. Biomacromolecules, 2006, 7(2): 469-475
- [16] 宋国胜,胡娟,沈兴,等.超声辅助冷冻对面筋蛋白二级结构的影响[J].现代食品科技,2009,25(8):860-864  
SONG Guo-sheng, HU Juan, SHEN Xing, et al. Effect of ultrasound assisted freeze on the secondary structure of gluten protein [J]. Modern Food Science and Technology, 2009, 25(8): 860-864
- [17] 陈胜福,周新奇,杨伟伟.对《小麦和小麦粉面筋含量》国家标准理解的探讨[J].粮食与饲料工业,2016,12(8):13-15  
CHEN Sheng-fu, ZHOU Xin-qi, YANG Wei-wei. Discussion on the national standard: gluten content of wheat and wheat flour [J]. Cereal & Feed Industry, 2016, 12(8): 13-15
- [18] 曹子月,耿艳艳,朱守创,等.湿面筋对馒头品质的影响[J].北方农业学报,2017,45(6):33-38  
CAO Zi-yue, GENG Yan-yan, ZHU Shou-chuang, et al. Effect of wet gluten on the quality of steamed buns [J]. Journal of Northern Agriculture, 2017, 45(6): 33-38
- [19] 齐兵建.小麦粉品质与北方优质馒头品质关系的研究[J].中国粮油学报,2004,19(3):21-25  
QI Bing-jian. Study on the relationship between wheat flour quality and northern-style steamed bread quality [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2004, 19(3): 21-25
- [20] Hung P V, Morita N. Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross linked starches from A-type and B-type wheat starch granules [J]. Carbohydrate Polymers, 2005, 59(2): 239-246
- [21] 鹿保鑫,杨春华,李志江.发酵糙米粉对小麦粉品质,流变学及面包的影响研究[J].中国粮油学报,2010,25(9):10-12  
LU Bao-xin, YANG Chun-hua, LI Zhi-jiang. Effect of fermented brown rice meal on wheat flour quality rheological property and bread quality [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(9): 10-12
- [22] 杨英,李晓楠,周艳青,等.米糠膳食纤维与食盐对面粉粉质及糊化特性的影响[J].食品工业科技,2016,16(37):98-102  
YANG Ying, LI Xiao-nan, ZHOU Yan-qing, et al. Effects of dietary fiber from rice bran and salt on the farinograms and pasting properties of flour [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 16(37), 98-102
- [23] Mais A, Brennan C S. Characterisation of flour, starch and fibre obtained from sweet potato (Kumara) tubers, and their utilization in biscuit production [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2008, 43: 373-379
- [24] 刘泉,陈会君,王海滨.香菇粉添加量对小麦粉流变学特性的影响[J].粮食科技与经济,2013,1:51-53  
LIU Quan, CHEN Hui-juan, WANG Hai-bin. Effects of lentinus edodes powder addition on the rheological properties of wheat flour [J]. Grain Science and Technology and Economy, 2013, 1: 51-53
- [25] 李浪.小麦面粉品质改良与检测技术[M].北京:化学工业出版社,2008  
LI Lang. Improvement and Testing Quality of Wheat Flour [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008
- [26] 李宁波,王晓曦,于磊,等.面团流变学特性及其在食品加工中的应用[J].食品科技,2008,33(8):35-38  
LI Ning-bo, WANG Xiao-xi, YU Lei, et al. Dough rheology properties and its application in the food processing industry [J]. Food Science and Technology, 2008, 33(8): 35-38
- [27] 豆康宁,赵俊芳,吕银德,等.面团在醒发过程中流变性的变化研究[J].粮食加工,2013,38(3):46-47,64  
DOU Kang-ning, ZHAO Jun-fang, LYU Yin-de, et al. Study on the rheology property changes of dough in fermenting [J]. Food Processing, 2013, 38(3): 46-47, 64
- [28] 彭芸,陈洁,吕莹果,等.苦荞粉添加量对面团性质及馒头品

- 质的影响[J].粮油食品科技,2015,23(1):47-50
- PENG Yun, CHEN Jie, LYU Ying-guo, et al. Effect of addition amount of buckwheat on the dough properties and steamed bread quality [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2015, 23(1): 47-50
- [29] Cristina P M, Robert J H, Harmen H J. Surface layer properties of dough liquor components: Are they key parameters in gas retention in bread dough [J]. Food Biophysics, 2006, 1(2): 83-93
- [30] Bock J E, Damodaran S. Bran-induced changes in water structure and gluten conformation in model gluten dough studied by Fourier transform infrared spectroscopy [J]. Food Hydrocolloids, 2013, 31(2): 146-155
- [31] Choi S, M A C. Structural characterization of globulin from common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) using circular dichroism and Raman spectroscopy [J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 150-160

现代食品科技