

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.02.006

田晓红, 李逸, 王佳雅, 等. 我国市场上全麦面包粉品质现状分析[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(2): 46-54.

TIAN X H, LI Y, WANG J Y, et al. Quality analysis of whole wheat bread flour in Chinese market[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(2): 46-54.

# 我国市场上全麦面包粉品质现状分析

田晓红<sup>1,2</sup>, 李逸<sup>1</sup>, 王佳雅<sup>3</sup>, 任菲<sup>1</sup>, 刘艳香<sup>1</sup>, 刘明<sup>1</sup>, 谭斌<sup>1,2</sup>✉

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油加工研究所, 北京 100037;

2. 中原食品实验室, 河南 漯河 462300;

3. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮油质量检验检测中心, 北京 100037)

**摘要:** 为调查我国市场上全麦面包粉品质现状, 分析了具有代表性的 10 款全麦面包粉的理化品质、流变特性、加工品质和烘焙品质。结果表明: 全麦面包粉的水分含量在 8.30~13.39 g/100g; 灰分含量在 0.6~2.5 g/100g, 平均值为 1.5 g/100g; 蛋白质含量在 13.92~15.86 g/100g; 湿面筋含量在 30.20%~47.10%; 9 个样品膳食纤维含量在 8.65~14.31 g/100g, 均值为 10.25 g/100g; 9 个样品的烷基间苯二酚含量在 234.72~508.48  $\mu\text{g/g}$  之间; 稳定时间大于 7 min 的样品有 7 个, 大于 5 min 的样品有 9 个; 面团最大发酵高度 Hm 在 23.8~42.9 mm 之间。添加量为 60% 的全麦面包都具有良好的外观和面包芯结构, 口感绵软, 香味浓郁, 感官评分在 77.8~102.0 分, 均能达到合格。总之, 我国全麦面包粉产品数量比较少, 膳食纤维含量和烷基间苯二酚含量较高, 加工品质和烘焙品质良好。

**关键词:** 面包; 全麦粉; 理化品质; 发酵流变特性; 加工品质

中图分类号: TS210.7 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)02-0046-09

网络首发时间: 2024-03-04 18:26:33

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240301.1549.004>

## Quality Analysis of Whole Wheat Bread Flour in Chinese Market

TIAN Xiao-hong<sup>1,2</sup>, LI Yi<sup>1</sup>, WANG Jia-ya<sup>3</sup>, REN Fei<sup>1</sup>, LIU Yan-xiang<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>1</sup>, TAN Bin<sup>1,2</sup>✉

(1. Institute of Cereal and Oil Science and Technology, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China; 2. Zhongyuan food laboratory, Luohe, Henan 462300, China;

3. Inspection and Testing Center for Grain and Oil Quality, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

**Abstract:** In order to investigate the quality of whole wheat bread flour in Chinese market, the physicochemical quality, rheological properties, processing quality and baking quality of 10 representative whole-wheat bread flour(WWBF) were analyzed. The results showed that the moisture content of WWBF ranged from 8.30 g/100 g to 13.39 g/100 g. The ash content of WWBF ranged from 0.6 g/100 to 2.5 g/100 g,

收稿日期: 2023-09-12

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2021YFD2100203)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th five-year plan, China(No. 2021YFD2100203)

作者简介: 田晓红, 女, 1979 年出生, 硕士, 副研究员, 研究方向为健康谷物加工。E-mail:txh@ags.ac.cn

通讯作者: 谭斌, 男, 1972 年出生, 博士, 首席研究员, 研究方向为健康谷物加工与营养。E-mail:tb@ags.ac.cn

with an average of 1.5 g/100 g. The protein contents of WWBF were between 13.92 g/100 g and 15.86 g/100 g. The content of wet gluten ranged from 30.20% to 47.10%. The average dietary fiber was 10.25 g/100 g, and the dietary fiber of 9 samples were between 8.65 g/100 g and 14.31 g/100 g. The content of alkylresorcinol of WWBF in 9 samples ranged from 234.72  $\mu\text{g/g}$  to 508.48  $\mu\text{g/g}$ . There were 7 samples with stabilization time longer than 7 min and 9 samples with stabilization time longer than 5 min. The maximum fermentation height Hm of dough were between 23.8 mm and 42.9 mm. The whole wheat bread with 60% WWBF had a good appearance, bread structure, soft taste and rich flavor. The sensory scores of whole-wheat bread ranged from 77.8 to 102.0. Whole wheat breads were all qualified. In short, WWBF products in China were relatively lack. The dietary fiber content and alkyl resorcinol content of WWBF were higher, and the processing quality and baking quality were good.

**Key words:** bread; whole-wheat flour; physicochemical qualities; rheological properties of fermentation; processing quality

全麦面包粉是制作全麦面包用的全麦粉，是全麦粉的重要的全谷物食品原料之一，其品质对全麦面包的质量起决定性的作用。我国目前全麦面包粉数量不多，主要是因为我国的小麦品种大部分都是中筋小麦，生产高品质面包的小麦品种较少，麸皮的存在使得小麦粉筋力下降。我国对面包和全麦面包的研究起步比较晚，目前对面包专用的全麦粉研究主要集中在全麦面包加工工艺优化和全麦面包品质改良上。陈艳红等<sup>[1]</sup>研究发现，当全麦粉添加量 25% 时面包硬度和咀嚼度较低，回复性好，感官评分值高。张艺等<sup>[2]</sup>研究发现，添加 30% 全麦粉的全麦面包具有良好的外观形态和质构品质。关硕<sup>[3]</sup>通过单因素及响应面优化实验得全麦面包最佳配方，39% 的黑小麦全麦粉中添加 0.25% 的硬脂酰乳酸钠、254 mg/kg 的脂肪酶，272 mg/kg 的真菌  $\alpha$ -淀粉酶制作的全麦面包感官评分最高。吴迪等<sup>[4]</sup>研究发现：随着蛋清粉添加量的增加，全麦面包的比容增大，内瓤结构疏松柔软，硬度下降，咀嚼度降低。刘凯和肖付才<sup>[5]</sup>研究发现，木聚糖酶能够将水不可提取的多糖转化为水可提取的多糖，从而能够提高面团中气体保留能力，使全麦面包的比容增大，具有更好的弹性和柔软度。目前我国市场上全麦面包数量众多，但全麦面包感官品质总体不高<sup>[6]</sup>。为更好的了解我国全麦面包原料——全麦面包粉的现状，找准全麦面包粉行业存在的问题，本研究采购了国内市场上 10 个全麦面包粉样品，对全麦面包粉的理化

品质、流变特性、加工品质和烘焙品质进行评价，为期为我国全麦面包产业的发展提供支撑。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

全麦面包粉、面包用小麦粉、安琪高活性干酵母（耐高糖）、舒可曼烘焙细砂糖、安佳原味奶油、伊利全脂奶粉、中盐精制盐；线上某商城和生产企业。全麦面包粉有新良高筋全麦面包粉、上一道高筋全麦面包粉、金像牌全麦粉、易小焙全麦面包粉、新良全麦面包粉、想念全麦面包粉、新良焙食尚全麦面包粉、新良全麦粉、奥良德全麦面包粉、红磨坊全麦面包粉等，共计 10 种。以面包用小麦粉做对照（CK）。

### 1.2 仪器

CR-400 色差计：日本柯尼卡美能达公司；BCZ-140 型电热恒温鼓风干燥箱：上海博讯医疗生物仪器股份有限公司；Rapid N Exceed 快速定氮仪：德国 Elementar Analysen system eGmb H 公司；PL3002IC、AB304-S 分析天平：瑞士梅特勒托利多公司；磁性金属测定仪、圆形验粉筛、JMTY 面包体积测定仪：上海粮油仪器有限公司；面筋仪测定仪、吹泡示功仪：北京东方孚德技术发展中心；F3 流变发酵测定仪：法国肖邦技术公司——特雷首邦（北京）贸易有限公司；SD-P103 自动面包机：松下电器；Q31 面包切片机：广东乐创电器有限公司；TA.XT2i Plus 质构仪：英国 Stable

Micro System 公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 全麦面包粉物理特性测试

色泽测定：将样品放到色差计自带的粉末配件中，测定样品的颜色，重复 3 次；粗细度按照 GB/T 5507—2008《粮油检验 粉类粗细度测定》；磁性金属物按照 GB/T 5509—2008《粮油检验 粉类磁性金属物测定》；含砂量按照 GB/T 5508—2011《粮油检验 粉类粮食含砂量测定》。

#### 1.3.2 基本组分测定

水分按照 GB/T 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》；灰分按照 GB/T 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》；总蛋白按照 GB/T 24318—2009《杜马斯燃烧法测定饲料原料中总氮含量及粗蛋白质的计算》；湿面筋含量按照 GB/T 5506.2—2008《小麦和小麦粉 面筋含量》第 2 部分：仪器法测定湿面筋；干面筋按照 GB/T 5506.4—2008《小麦和小麦粉 面筋含量》第 4 部分：快速干燥法测定干面筋；面筋指数按照 LS/T 6102—1995《小麦粉湿面筋质量测定法面筋指数法》。

#### 1.3.3 面团流变学特性测试

1.3.3.1 粉质测试 采用 GB/T 14614—2019《粮油检验 小麦粉面团流变学特性测试 粉质仪法》。

1.3.3.2 吹泡测试 采用 GB/T 14614.4—2005《小麦粉面团流变特性测定 吹泡仪法》，在预实验基础上稍作调整：在原加水量的基础上，再加上粉质吸水率 15% 的水，其他不变。

1.3.3.3 发酵流变学特性的测定 参照田晓红等<sup>[7]</sup>的方法。

#### 1.3.4 面包制作

准确称取全麦面包粉 150 g、面包用小麦粉 100 g，充分混合后放入全自动面包机中，依次加入 18 g 细砂糖、15 g 黄油、6 g 奶粉、3 g 盐，190 g 的 4 ℃去离子水，启动面包机和面，面团初步形成后放入 2.8 g 高活性干酵母，室温发酵，焙烤。焙烤结束后立刻取出面包，放在架子上冷却到室温进行评价。

#### 1.3.5 面包比容

将待测面包称量  $m$ ，精确至 0.001 kg。测量

待测面包高度  $h$ ，精确至 0.1 cm，面包比容  $P$  的结果为： $P=h/m$ 。

#### 1.3.6 面包感官评分

评价标准参照“GB/T 35869—2018 粮油检验 小麦粉面包烘焙品质评价 快速烘焙法”中的附录 A，略作改动，将体积的评分标准改为高度，高度 < 9 cm，得 0 分；大于 18 cm 得满分 45 分；高度在 9~18 之间，每增加 1 cm，得分增加 5 分。评价项目增加气味（10 分）和口感（10 分），满分 120 分。

### 1.4 数据处理

采用 SPSS 19 进行数据统计分析，使用 Origin 2018 软件进行绘图。采用单因素方差分析（ANOVA）和 Duncan 检验计算结果的显著性差异， $P < 0.05$  为显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 物理特性

全麦面包粉的外观见图 1，物理特性见表 1。不同全麦粉的外观差别比较大，主要体现在麸皮粒径大小和颜色上。麸皮粒度是影响全麦面粉制作面包品质的主要因素之一。有关麸皮粒度对面团和烘焙性能影响的文献报道有些矛盾。Lin Suyun 等<sup>[8]</sup>研究发现超微麸皮面团的吸水率和糊化温度、峰值粘度、最终粘度均高于粗麸皮面团，稳定时间、抗拉伸性和延伸性均低于粗麸皮面团；Wang Naifa<sup>[9]</sup>研究发现减小全麦粉的粒径可以缩短面团的发酵时间，提高面团的搅拌稳定性，用小粒径的全麦粉制成的馒头比体积明显大于用大粒径的全麦粉制成的馒头。Li Cheng<sup>[10]</sup>通过研究 4 个蛋白质含量不同的小麦品种后发现麸皮粒径小的全麦粉生产的全麦面包比容最低，面包颜色较深，硬度值较大，中等至麸皮粒度大的全麦粉更适合面包生产。从图 1 中可以看出，目前市场上面包用全麦粉的粗细度和颜色差异较大，有的样品中麸皮粒径较大，例如 8 号样品，有些麸皮粒径较小。麸皮粒径小的样品偏多。从表 2 中数据可知，7 号样品未通过 CQ20 号筛的比例最多，为 21.61%，其次是 3 号样品，2 号样品中麸皮比较小。从颜色上看，除 2 号样品比较白，看不到



图 1 全麦面包粉外观

Fig 1 Appearance of whole wheat bread flour

表 1 全麦面包粉物理特性

Table 1 Physical properties of whole wheat bread flour

样品序号	色泽			粗细度/%	含砂量/%	磁性金属物/(g/kg)
	$L^*$	$a^*$	$b^*$			
1	65.20±0.60 <sup>d</sup>	1.09±0.09 <sup>b</sup>	9.57±0.26 <sup>b</sup>	4.73±0.35 <sup>c</sup>	0.010±0.004 <sup>c</sup>	0.001 4±0.000 5 <sup>a</sup>
2	72.51±0.10 <sup>a</sup>	-0.64±0.04 <sup>c</sup>	7.23±0.07 <sup>f</sup>	0.53±0.01 <sup>g</sup>	0.002±0.001 <sup>d</sup>	0.000 4±0.000 1 <sup>b</sup>
3	63.36±0.54 <sup>e</sup>	1.50±0.21 <sup>a</sup>	8.53±0.21 <sup>d</sup>	12.16±0.34 <sup>c</sup>	0.012±0.003 <sup>c</sup>	0.001 1±0.000 6 <sup>a</sup>
4	66.29±0.08 <sup>c</sup>	0.71±0.02 <sup>d</sup>	8.91±0.12 <sup>c</sup>	4.80±0.20 <sup>c</sup>	0.013±0.004 <sup>c</sup>	0.001 7±0.000 5 <sup>a</sup>
5	65.04±0.05 <sup>d</sup>	0.96±0.13 <sup>bc</sup>	10.29±0.21 <sup>a</sup>	4.28±0.03 <sup>f</sup>	0.009±0.002 <sup>c</sup>	0.001 6±0.000 1 <sup>a</sup>
6	68.92±0.44 <sup>b</sup>	-0.12±0.07 <sup>f</sup>	8.10±0.38 <sup>e</sup>	9.14±0.03 <sup>d</sup>	0.010±0.000 <sup>c</sup>	0.001 8±0.001 3 <sup>a</sup>
7	65.66±0.23 <sup>cd</sup>	0.83±0.12 <sup>cd</sup>	9.98±0.19 <sup>a</sup>	21.61±0.07 <sup>a</sup>	0.016±0.004 <sup>bc</sup>	0.001 9±0.000 8 <sup>a</sup>
8	68.99±0.76 <sup>b</sup>	0.31±0.27 <sup>f</sup>	7.35±0.08 <sup>f</sup>	19.93±0.24 <sup>b</sup>	0.021±0.004 <sup>ab</sup>	0.002 2±0.000 0 <sup>a</sup>
9	64.88±0.50 <sup>d</sup>	0.87±0.14 <sup>bcd</sup>	9.28±0.08 <sup>b</sup>	8.85±0.01 <sup>d</sup>	0.011±0.001 <sup>c</sup>	0.002 6±0.000 2 <sup>a</sup>
10	65.15±0.14 <sup>d</sup>	1.09±0.04 <sup>b</sup>	9.39±0.13 <sup>b</sup>	4.22±0.00 <sup>f</sup>	0.023±0.004 <sup>a</sup>	0.002 2±0.000 4 <sup>a</sup>

注：1.  $L^*$ 表示黑白， $a^*$ 表示红绿， $b^*$ 表示蓝黄；2. 不同字母表示数据存在显著性差异 ( $P<0.05$ )，下同。

Note: 1.  $L^*$  stands for black and white,  $a^*$  stands for red and green,  $b^*$  stands for blue and yellow; 2. Different letters indicate significant differences in data ( $P<0.05$ ), same as below.

明显麸皮外，其余样品均能看到明显的麸皮。10个样品的  $a^*$  值在-0.64~1.50， $b^*$  值在 9.35~10.29。

在“GB/T 1355—2021 小麦粉”标准和“LS/T 3244—2015 全麦粉”标准中，对含砂量和磁性金属物分别要求不大于 0.02%、0.003 g/kg，在所测定的样品中有两个样品的含砂量超 0.02%，所有样品的磁性金属物含量都在此标准要求范围内。

## 2.2 化学特性

全麦面包粉的化学特性指标见表 2，样品的水分含量在 8.30~13.39 g/100 g，平均值为 11.60 g/100 g。全麦粉中含有小麦胚芽和丰富的酶类，水分含量高，易哈败霉变。全麦面包粉企业为了让产品在储存期间内保持良好的品质，有 6 个产品的水分含量在 11.10%~11.80% 之间，水分含量最低的是 10 号样品 (8.30%)，产品保质期为 24

个月，水分含量最高的是 8 号 (13.39%)，产品标注保质期为 6 个月，低水分含量有助于延长产品的保质期。

全麦粉中存在影响面筋形成面团流变性的麸皮和胚芽，使全麦面包体积小，质地偏硬、口感差<sup>[11]</sup>。为减少麸皮和胚芽的影响，湿面筋含量和面筋指数高的全麦粉面包加工特性会更好<sup>[12]</sup>。粮食行业标准 LS/T 10136—1993《面包用小麦粉》中要求精制级面包粉湿面筋含量  $\geq 33\%$ ，普通级面包粉湿面筋含量  $\geq 30\%$ 。全麦面包粉样品的蛋白质含量均大于 14.5 g/100 g (3 号除外)。全麦面包粉湿面筋含量在 30.20%~47.10%，平均值为 35.29%，干面筋含量在 10.33%~14.88%，平均值为 11.66%，面筋指数在 52.57%~95.55%，平均值为 78.51%。全麦面包粉的蛋白质和湿面筋含量高

表 2 全麦面包粉基本组分  
 Table 2 Basic components of whole wheat bread flour

序号	水分含量/%	蛋白质含量/%	灰分含量/ (g/100g)	湿面筋含量/%	干面筋含量/%	面筋指数/%	DF/(g/100g)	ARs/(ug/g)
1	11.10±0.10 <sup>c</sup>	14.69±0.21 <sup>d</sup>	1.45±0.03 <sup>ab</sup>	31.90±0.50 <sup>de</sup>	10.48±0.19 <sup>f</sup>	79.70±2.11 <sup>c</sup>	10.24±0.11 <sup>cd</sup>	425.24±0.17 <sup>d</sup>
2	13.03±0.02 <sup>a</sup>	15.39±0.30 <sup>bc</sup>	0.57±0.00 <sup>b</sup>	35.05±0.26 <sup>d</sup>	11.38±0.10 <sup>de</sup>	78.84±1.72 <sup>c</sup>	3.83±0.39 <sup>e</sup>	11.37±0.02 <sup>h</sup>
3	11.80±0.11 <sup>bc</sup>	13.92±0.12 <sup>e</sup>	2.00±0.04 <sup>ab</sup>	30.93±0.29 <sup>e</sup>	10.33±0.10 <sup>f</sup>	78.88±5.37 <sup>c</sup>	14.31±0.32 <sup>a</sup>	234.72±0.39 <sup>e</sup>
4	11.60±0.11 <sup>cd</sup>	15.68±0.07 <sup>ab</sup>	2.54±0.03 <sup>a</sup>	31.63±0.57 <sup>e</sup>	10.53±0.17 <sup>f</sup>	88.83±2.49 <sup>ab</sup>	9.34±0.53 <sup>def</sup>	461.06±0.59 <sup>c</sup>
5	12.12±0.03 <sup>b</sup>	14.59±0.08 <sup>d</sup>	1.48±0.01 <sup>a</sup>	34.00±1.26 <sup>de</sup>	11.55±0.70 <sup>d</sup>	82.78±6.36 <sup>bc</sup>	8.65±0.08 <sup>f</sup>	474.86±0.10 <sup>b</sup>
6	11.69±0.11 <sup>cd</sup>	15.21±0.15 <sup>c</sup>	1.26±0.03 <sup>ab</sup>	47.10±0.37 <sup>a</sup>	14.88±0.10 <sup>a</sup>	69.36±3.10 <sup>d</sup>	9.70±0.11 <sup>cde</sup>	324.41±0.28 <sup>f</sup>
7	11.33±0.14 <sup>de</sup>	15.37±0.41 <sup>bc</sup>	1.43±0.01 <sup>ab</sup>	30.20±0.99 <sup>e</sup>	10.53±0.48 <sup>f</sup>	83.07±1.61 <sup>bc</sup>	11.03±0.52 <sup>bcd</sup>	416.10±0.26 <sup>e</sup>
8	13.39±0.61 <sup>a</sup>	15.36±0.23 <sup>bc</sup>	1.51±0.04 <sup>ab</sup>	37.25±2.68 <sup>c</sup>	12.53±0.46 <sup>c</sup>	95.55±1.93 <sup>a</sup>	12.04±0.19 <sup>bcd</sup>	502.74±9.95 <sup>a</sup>
9	11.67±0.02 <sup>cd</sup>	14.61±0.24 <sup>d</sup>	1.55±0.02 <sup>ab</sup>	33.35±0.61 <sup>ef</sup>	11.03±0.13 <sup>e</sup>	75.56±3.23 <sup>cd</sup>	11.53±0.34 <sup>bc</sup>	465.83±0.50 <sup>c</sup>
10	8.30±0.09 <sup>f</sup>	15.86±0.16 <sup>a</sup>	1.65±0.04 <sup>ab</sup>	41.50±0.48 <sup>b</sup>	13.35±0.17 <sup>b</sup>	52.57±0.05 <sup>c</sup>	11.81±0.03 <sup>bc</sup>	432.24±0.08 <sup>d</sup>

于我国小麦的平均蛋白质（13.0%）、湿面筋含量（33.1%）和面筋指数（68）<sup>[13]</sup>。

膳食纤维（DF）是全谷物的重要组成部分，也是全麦粉品质判定依据，在 LS/T 3244—2015《全麦粉》行业标准中，要求膳食纤维含量不低于 9 g/100g。从表 2 中可以看出，除 2 号样品外，DF 含量在 8.65~14.31 g/100g，均值为 10.25 g/100g，略高于标准值，低于 9 g/100g 的样品有两个。麸皮中膳食纤维是健康饮食的重要组成部分，从营养角度说，膳食纤维越多越好，但是，膳食纤维也会引起二硫键的构象变化而干扰面筋蛋白网络的形成，破坏面筋的网络结构，使得全麦面包粉加工品质降低<sup>[14-15]</sup>。烷基间苯二酚（ARs）几乎全部集中在麸皮中，胚乳和胚芽中均未发现 ARs，精加工产品中几乎不含有 ARs。ARs 在麸皮加工处理时比较稳定，烘烤、高压、挤压、微波使得 ARs 缓慢下降<sup>[16]</sup>，热风和水热干燥甚至可以使 ARs 含量提高<sup>[17]</sup>。因此，可以将 ARs 做为全谷物及全谷物食品的生化标志物。在 LS/T 3455—2015《全麦粉行业标准》中，要求全麦粉当中 ARs 不小于 200 ug/g。从表 2 中可以看出，除 2 号 ARs 含量比较低，其他样品的 ARs 含量在 234.72 ~ 508.48 ug/g，符合全麦粉标准的要求。2 号样品的膳食纤维含量和烷基间苯二酚含量偏低，不符合全麦粉行业标准，在研究过程中发现其已退出市场。

## 2.3 面团流变学特性

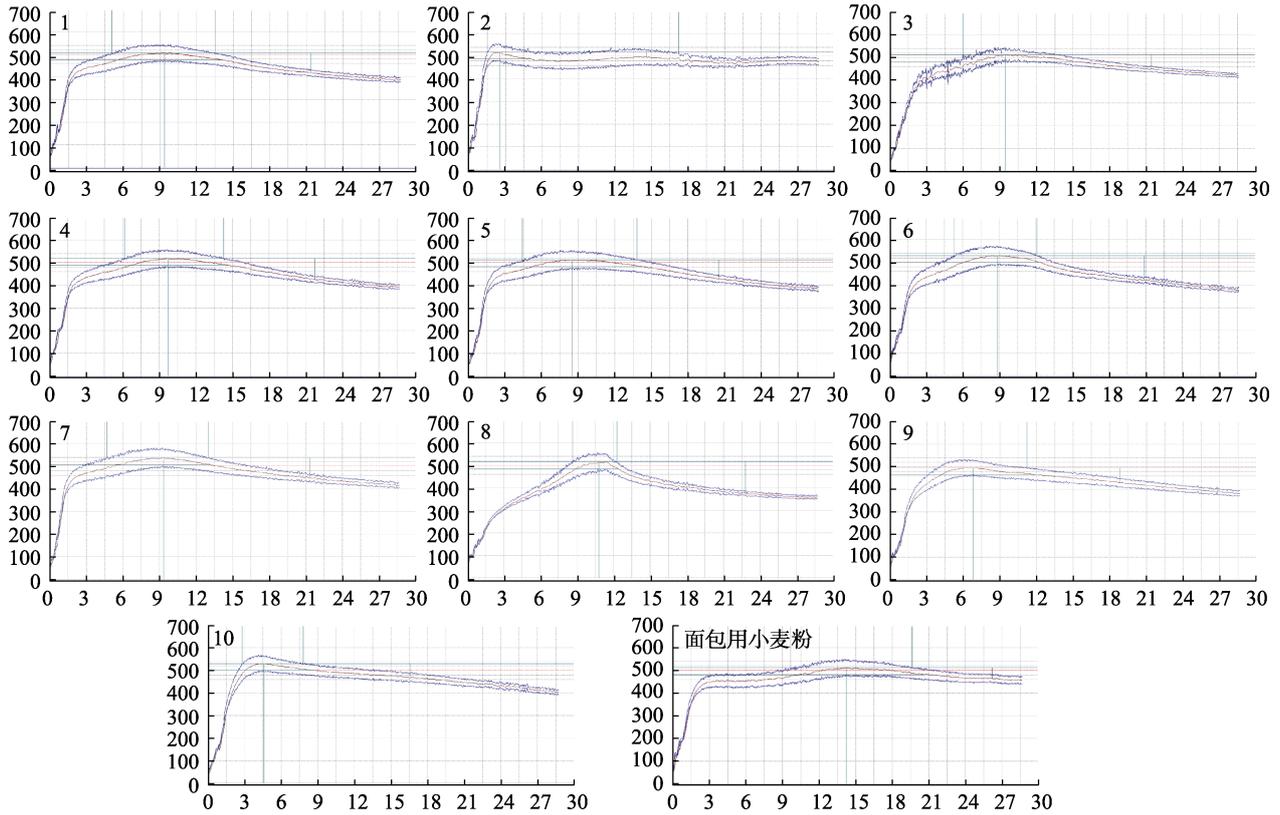
### 2.3.1 粉质特性

全麦面包粉样品的粉质图见图 2，粉质指标

见表 3。全麦面包粉的粉质指标差异较大，吸水量在 62.2~79.6 mL，平均值为 70.6 mL；形成时间在 2.6~10.9 min，稳定时间在 3.8~15.7 min，弱化度在 19.0~140.0 FU，粉质质量指数在 54.5~150.0 mm。在 LS/T 10136—1993《面包用小麦粉》中要求普通级面包用小麦粉的稳定时间≥7 min，精制级面包用小麦粉的稳定时间≥10 min，在采购的全麦面包粉中，稳定时间大于 7 min 的样品有 7 个，大于 5 min 的样品有 9 个。样品直接的形成时间和稳定时间差异很大，例如 2 号样品形成时间是 2.6 min，稳定时间却达到了 15.7 min，而 8 号样品正好相反，形成时间在 10.9 min，稳定时间却只有 3.8 min。结合后面制作全麦面包品质来看，稳定时间只有 3.8 min 的 8 号样品制作的全麦面包品质也比较好。所以说，稳定时间并不是衡量全麦面包粉加工品质的唯一因素。

### 2.3.2 吹泡特性

吹泡仪在测试面团被吹成球形直到破裂过程与面团发酵及热胀过程有一定的相似性，与面包的品质有较密切的相关性。全麦面包粉的吹泡流变学结果见表 3。 $P$  值与面泡内最大压力值成正比，与面团形变阻力大小有关， $P$  值越大表明在吹泡过程中把面泡吹起来所需要的力越大。最大压力  $P$  在 66.9~168.9 mmH<sub>2</sub>O，小于面包用小麦粉的 206.2 mmH<sub>2</sub>O。全麦面包粉的延伸性能优于小麦粉，破裂点横坐标  $L$  在 42~90 mm，全麦粉的形变能量  $W$  值低于小麦粉的形变能量  $W$  值。防止发酵过程中产生的二氧化碳溢出的能力弱。曲



注：纵坐标为稠度，单位 FU；横坐标为时间，单位 min。

Note: The ordinate is consistency in FU; the horizontal coordinate is time in minute.

图 2 全麦面包粉粉质图

Fig. 2 Composition of whole wheat bread flour

表 3 全麦面包粉粉质流变学特性

Table 3 Rheological properties of whole wheat bread flour

序号	粉质流变学					吹泡流变学						
	WAF/mL	DDT/min	S/min	DS/FU	FQN/mm	P/Pa	L/mm	G	W/10 <sup>-4</sup> J	P/L	Ie/%	
CK	68.9±0.1 <sup>f</sup>	14.1±0.2 <sup>a</sup>	9.6±0.1 <sup>b</sup>	51±5 <sup>c</sup>	202±6 <sup>a</sup>	2 022	44	14.7	368	4.7	44.6	
1	70.4±0.1 <sup>cd</sup>	9.3±0.2 <sup>cd</sup>	8.4±0.1 <sup>c</sup>	89±4 <sup>b</sup>	139±2 <sup>b</sup>	1 248	61	17.4	185	2.1	11.3	
2	65.0±0.0 <sup>e</sup>	2.6±0.1 <sup>e</sup>	15.7±0.0 <sup>a</sup>	19±4 <sup>f</sup>	55±5 <sup>d</sup>	988	42	14.4	200	2.4	69.6	
3	73.3±0.6 <sup>a</sup>	9.6±0.1 <sup>c</sup>	7.4±0.4 <sup>d</sup>	66±5 <sup>d</sup>	150±1 <sup>b</sup>	1 656	44	14.7	238	3.9	33.3	
4	71.8±0.2 <sup>b</sup>	10.0±0.4 <sup>c</sup>	8.5±0.4 <sup>c</sup>	92±1 <sup>ab</sup>	150±4 <sup>b</sup>	1 237	72	18.9	220	1.7	18.3	
5	70.2±0.3 <sup>cd</sup>	8.6±0.1 <sup>d</sup>	9.6±0.1 <sup>b</sup>	83±1 <sup>bc</sup>	145±2 <sup>b</sup>	1 130	64	17.8	199	1.8	19.0	
6	70.9±0.6 <sup>c</sup>	9.3±0.6 <sup>cd</sup>	7.1±0.2 <sup>d</sup>	104±10 <sup>a</sup>	131±10 <sup>b</sup>	1 309	76	19.4	225	1.8	15.2	
7	62.2±0.1 <sup>h</sup>	9.6±0.4 <sup>c</sup>	8.4±0.1 <sup>c</sup>	81±11 <sup>bc</sup>	139±11 <sup>b</sup>	1 225	90	21.1	231	1.4	18.4	
8	73.2±0.1 <sup>e</sup>	10.9±0.1 <sup>b</sup>	3.8±0.1 <sup>b</sup>	51±1 <sup>e</sup>	109±14 <sup>c</sup>	1 337	60	17.2	197	2.3	15.5	
9	70.0±0.1 <sup>d</sup>	6.4±0.6 <sup>e</sup>	6.8±0.8 <sup>d</sup>	71±4 <sup>cd</sup>	110±15 <sup>c</sup>	757	59	17.1	108	1.5	9.4	
10	70.0±0.4 <sup>d</sup>	4.9±0.4 <sup>f</sup>	5.5±0.6 <sup>e</sup>	57±7 <sup>de</sup>	97±13 <sup>c</sup>	656	46	15.1	87	1.5	11.1	

注：WAF 为吸水量(water absorption of flour)，DDT 为形成时间(dough development time)，S 为稳定时间(stability)，DS 为软化度(degree of softening)，FQN 为粉质质量指数(farinograph quality number)，P 为最大压力(maximum pressure parameter)，L 为破裂点横坐标(mean abscissa at rupture)，G 为充气指数(index of swelling)，W 为形变能量(deformation energy)，P/L 为曲线形状比(curve configuration ratio)，Ie 为弹性指数(elasticity index)。

线形状比  $P/L$  大时表示面团的韧性强， $P/L$  小则表示其延展性较强。与小麦粉相比，全麦粉的  $P/L$  比较小，在 1.4~3.9 之间，全麦粉面团韧性不足，延展性较强。全麦粉中由于麸胚对面筋的破坏作

用，使得面团的抗形变能力显著下降。

### 2.3.3 发酵特性

小麦或全麦粉在烘焙中的膨胀，决定于面团中产生二氧化碳的数量和面团本身的流变特性。

其膨胀还取决于在压力下蛋白网络保持其形态的能力和面团蛋白热变形、淀粉凝胶化时保持压力的能力。不同麸胚来源全麦粉的发酵流变学结果见表 4。面团最大发酵高度(Hm)和最终发酵高度(h)是面团在发酵过程中产气和留气的综合反映,以往研究表明面团的最终发酵高度 Hm 与面包体积呈正相关<sup>[18]</sup>。全麦面包粉的面团最大发酵高度 Hm 在 23.8~55.5 mm, 均值为 35.7 mm, 最终发酵高度 h 与最大发酵高度 Hm 结果接近。全麦面包粉在发酵阶段的总产气量在 1 211~1 598 mL, 平均产气量 1 416 mL, 大于面包用小麦粉产气量(1 006 mL), 这些气体被传递到和面产生的气泡核中, 气泡不断膨胀。在气体释放阶段, 由于麸皮的影响导致全麦粉面团中的气泡更容易破裂, 释放更多的二氧化碳气体, 使得保留系数 R 在 75.8%~91.7%之间, 均值为 81.3%, 小于面包用小麦粉的保留系数(93.8%)。

## 2.4 全麦面包品质

### 2.4.1 外观与面包芯结构

全麦面包粉中由于麸皮的存在, 影响了面筋网络的形成, 引起全麦面团的保气性差和膨松性差, 烘烤质量差, 这是目前全麦面包首要解决的问题<sup>[19]</sup>。全麦粉面包外观和面包芯结构见图 3,

从图中可以看出, 市场上的全麦粉大部分能够制作出外观品质良好的全麦粉含量 60% 的全麦面包。3 号面包和 10 号面包体积比较小, 其他全麦粉面包体积与小麦粉面包体积相当, 这与面团最大发酵高度 Hm 结果一致, Hm 与面包体积成正比。3 号样品表面有一些小斑点, 冠小, 无颈, 孔壁偏厚, 其他全麦面包表皮色泽正常, 表面光滑无斑点, 冠大, 颈明显, 气孔细密、均匀并呈长形, 孔壁薄, 呈海绵状。8 号样品表面和面包芯能看到明显麸皮颗粒。2 号样品的面包芯乳白色, 与小麦粉面包颜色相当, 其他全麦粉面包芯偏暗, 是正常的全麦面包颜色。8 号和 10 号面包芯有大的孔洞, 可能是和面时造成的。面包粉的颜色决定了面包的颜色, 偏白一些的全麦面包更受消费者的欢迎, 因此, 生产者可以选择硬白麦来制备全麦面包粉。

### 2.4.2 比容

全麦面包的高度和比容见表 5, 全麦面包高度的均值为 16.5 cm, 低于小麦粉面包, 全麦面包的比容均值为 40.1 mm/kg, 小于小麦粉面包, 3 号全麦面包的高度和比容最低。全麦面包的低比容使得面包芯结构更细密, 质构硬度更高, 口感偏硬。这主要是因为面团在发酵过程中产生的二

表 4 全麦面包粉发酵流变学特性

Table 4 Rheological properties of whole wheat bread flour fermentation

序号	面团发酵			气体释放					
	Hm/mm	h/mm	T1/min	H'm/mm	Tx/min	AT/mL	A1/mL	R/%	T'1/min
CK	45.5±3.7 <sup>b</sup>	45.5±3.7 <sup>b</sup>	180.0±0.0 <sup>a</sup>	53.9±6.6 <sup>f</sup>	125.3±1.1 <sup>a</sup>	1 006±100 <sup>c</sup>	942±73 <sup>c</sup>	93.8±2.1 <sup>a</sup>	177.8±1.1 <sup>a</sup>
1	36.8±2.6 <sup>bc</sup>	36.3±2.2 <sup>bc</sup>	155.3±15.9 <sup>ab</sup>	63.4±1.7 <sup>bc</sup>	53.3±11.7 <sup>cd</sup>	1 460±96 <sup>bc</sup>	1 172±28 <sup>ab</sup>	80.4±3.4 <sup>bc</sup>	153.0±14.8 <sup>a</sup>
2	55.5±4.7 <sup>a</sup>	55.3±4.5 <sup>a</sup>	179.3±1.1 <sup>a</sup>	61.7±0.3 <sup>cd</sup>	111.8±3.2 <sup>a</sup>	1 211±25 <sup>d</sup>	1 110±4 <sup>cd</sup>	91.7±2.2 <sup>a</sup>	174.0±4.2 <sup>a</sup>
3	23.8±5.8 <sup>c</sup>	23.1±5.3 <sup>c</sup>	144.0±8.5 <sup>ab</sup>	64.3±0.9 <sup>bc</sup>	43.5±0.0 <sup>cd</sup>	1 483±45 <sup>bc</sup>	1 150±18 <sup>bc</sup>	77.6±1.2 <sup>bc</sup>	160.5±6.4 <sup>a</sup>
4	34.2±4.7 <sup>bcd</sup>	33.8±5.2 <sup>bcd</sup>	162.0±25.5 <sup>ab</sup>	62.8±2.1 <sup>bcd</sup>	51.0±2.1 <sup>cd</sup>	1 391±61 <sup>bc</sup>	1 138±11 <sup>bcd</sup>	81.9±2.8 <sup>b</sup>	162.0±0.0 <sup>a</sup>
5	34.8±4.9 <sup>bcd</sup>	34.3±5.2 <sup>bcd</sup>	147.8±9.5 <sup>ab</sup>	63.3±0.2 <sup>bc</sup>	48.0±8.5 <sup>cd</sup>	1 442±21 <sup>bc</sup>	1 160±15 <sup>b</sup>	80.5±2.2 <sup>bc</sup>	157.5±10.6 <sup>a</sup>
6	42.9±2.9 <sup>b</sup>	42.5±2.8 <sup>b</sup>	147.3±3.9 <sup>ab</sup>	58.4±2.5 <sup>c</sup>	91.5±14.8 <sup>b</sup>	1 255±69 <sup>d</sup>	1 099±39 <sup>d</sup>	87.6±1.8 <sup>a</sup>	154.5±19.1 <sup>a</sup>
7	30.4±1.1 <sup>cde</sup>	29.5±0.7 <sup>cde</sup>	162.0±19.0 <sup>ab</sup>	65.4±0.9 <sup>b</sup>	39.8±3.2 <sup>d</sup>	1 501±7 <sup>ab</sup>	1 155±4 <sup>b</sup>	77.0±0.6 <sup>bc</sup>	42.0±0.0 <sup>b</sup>
8	34.4±2.9 <sup>bcd</sup>	32.6±5.3 <sup>cd</sup>	132.0±19.1 <sup>ab</sup>	64.5±0.1 <sup>bc</sup>	54.0±2.1 <sup>cd</sup>	1 447±18 <sup>bc</sup>	1 153±7 <sup>b</sup>	79.8±1.5 <sup>bc</sup>	162.8±15.9 <sup>a</sup>
9	37.2±1.9 <sup>bc</sup>	34.7±0.8 <sup>bc</sup>	122.3±20.2 <sup>b</sup>	69.4±0.2 <sup>a</sup>	51.0±2.1 <sup>cd</sup>	1 598±29 <sup>a</sup>	1 210±9 <sup>a</sup>	75.8±1.9 <sup>c</sup>	48.8±3.2 <sup>b</sup>
10	27.1±3.9 <sup>de</sup>	25.2±2.5 <sup>de</sup>	113.3±54.1 <sup>b</sup>	60.0±1.3 <sup>de</sup>	60.0±10.6 <sup>c</sup>	1 372±2 <sup>c</sup>	1 108±11 <sup>cd</sup>	80.8±0.8 <sup>b</sup>	172.5±2.1 <sup>a</sup>

注: Hm: 面团最大发酵高度(maximum dough development height under stress), mm; h: 面团最终发酵高度(dough development height at the end of the test), mm; T1: 面团发酵最大高度的时间(maximum dough development time), min; H'm: 气体释放时的最大高度(maximum height of the gas release curve), mm; Tx: 面团开始泄露二氧化碳气的时间(time when the dough starts to loose CO<sub>2</sub>), min; AT: 总产气量(total volume), mL; A1: 保留体积(retention volume), mL; R: 保留系数(retention index), 持气量与总产气量的百分比; T'1: 达到气体释放最大高度的时间(Time to reach the maximum height of gas release curve), min。

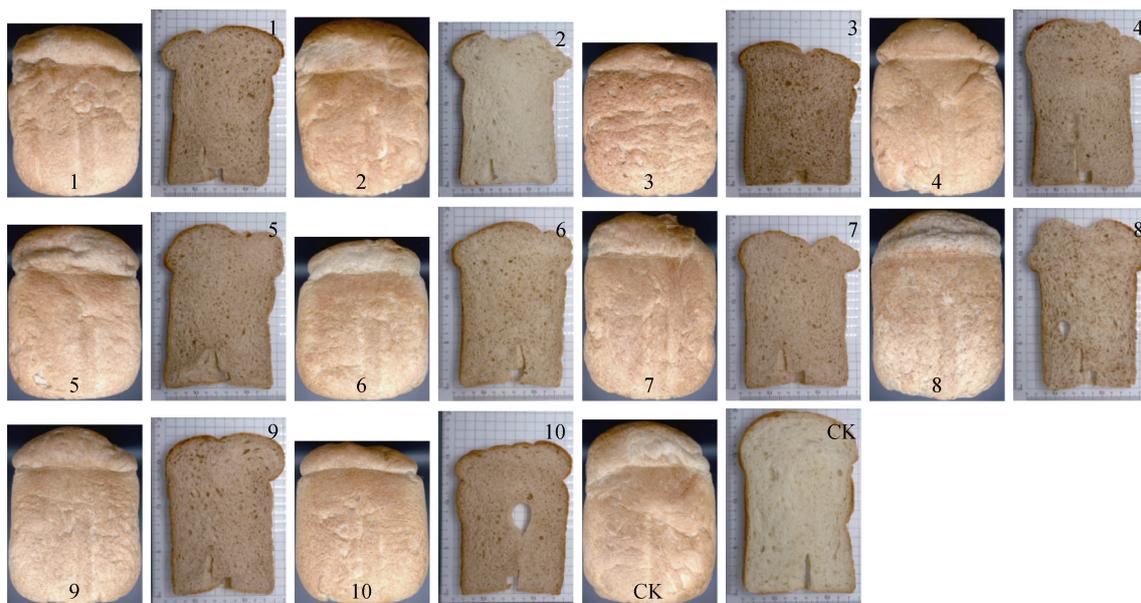


图 3 全麦面包外观和面包芯结构

Fig 3 Appearance and inner structure of whole wheat bread

氧化碳使得气泡不断变大, 麸皮对面筋蛋白网络形成的气室壁有切割作用, 使得气泡变大到一定程度后破裂, 二氧化碳气体外溢, 影响了面包最终体积<sup>[20]</sup>, 全麦粉的面团发酵流变学也验证了这一点。

#### 2.4.3 感官评分

全麦面包感官评分见表 5, 可以看出, 全麦面包的感官评分略低于小麦粉面包。按照满分 120 分、优秀 102 分、及格 72 分标准, 所有全麦面包均达到及格, 除 3 号面包的总分为 77.8 分外, 其他的均在 89 分以上, 所有项目中差异较大的项目有面包体积和面包芯纹理结构, 其他评分差异不大。总体上看, 市场上全麦面包粉的加工品质较好, 制作的面包外观光滑, 孔径均匀, 口感绵

软, 香味浓郁。

### 3 结论

我国全麦面包粉还处于起步阶段, 由于原料和加工工艺的限制, 产品数量比较少。10 个样品中 9 个样品的膳食纤维含量在 8.65~14.31 g/100g, 烷基间苯二酚含量在 234.72~508.48 ug/g, 湿面筋含量在 30.20%~47.10%, 稳定时间在 3.8~5.6 min, 面团最大发酵高度 Hm 在 23.8~42.9 mm。制备的 60%全麦粉含量的全麦面包都具有良好的外观和面包芯结构, 口感绵软, 香味浓郁, 均能达到合格的要求。总体上来说, 我国全麦面包粉膳食纤维含量和烷基间苯二酚含量较高, 加工品质和烘焙品质良好。

表 5 全麦面包高度和比容

Table 5 Height and volume of whole wheat bread

样品	高度/cm	比容/(cm/kg)	体积得分/分	色泽/分	纹理结构/分	质地/分	口感/分	气味/分	总分/分
CK	17.8±0.4 <sup>a</sup>	46.14±1.15 <sup>a</sup>	44.0±2.1 <sup>a</sup>	4.8±0.4 <sup>a</sup>	28.2±4.4 <sup>ab</sup>	7.7±1.9 <sup>a</sup>	8.9±1.3 <sup>a</sup>	8.0±1.4 <sup>a</sup>	106.6
1	16.5±1.4 <sup>abc</sup>	40.02±3.58 <sup>bcd</sup>	37.5±7.1 <sup>abc</sup>	3.9±1.2 <sup>b</sup>	30.4±3.8 <sup>a</sup>	8.1±0.8 <sup>a</sup>	6.7±1.7 <sup>cd</sup>	7.1±1.8 <sup>abc</sup>	97.7
2	17.6±0.1 <sup>ab</sup>	43.16±0.00 <sup>ab</sup>	43.0±0.7 <sup>ab</sup>	3.8±1.6 <sup>b</sup>	26.6±5.3 <sup>abc</sup>	7.6±1.3 <sup>a</sup>	8.7±1.6 <sup>ab</sup>	7.3±0.9 <sup>abc</sup>	102.0
3	14.6±0.8 <sup>d</sup>	34.93±2.16 <sup>c</sup>	28.0±4.2 <sup>d</sup>	2.1±0.7 <sup>c</sup>	25.2±3.9 <sup>bc</sup>	7.0±1.8 <sup>a</sup>	6.2±1.3 <sup>d</sup>	6.3±0.8 <sup>bc</sup>	77.8
4	17.0±0.7 <sup>abc</sup>	41.19±1.96 <sup>bc</sup>	40.0±3.5 <sup>abc</sup>	3.8±0.6 <sup>b</sup>	28.6±4.1 <sup>ab</sup>	7.5±1.4 <sup>a</sup>	7.5±1.2 <sup>bc</sup>	6.5±0.7 <sup>bc</sup>	97.9
5	17.1±0.4 <sup>abc</sup>	41.19±0.94 <sup>bc</sup>	40.3±1.8 <sup>abc</sup>	3.6±0.8 <sup>b</sup>	29.7±2.8 <sup>a</sup>	7.5±1.1 <sup>a</sup>	7.0±1.9 <sup>cd</sup>	6.7±1.8 <sup>abc</sup>	99.3
6	17.0±0.0 <sup>abc</sup>	41.35±0.24 <sup>bc</sup>	40.0±0.0 <sup>abc</sup>	3.9±0.9 <sup>b</sup>	30.6±3.4 <sup>a</sup>	7.4±1.3 <sup>a</sup>	7.9±1.9 <sup>abc</sup>	5.9±1.7 <sup>c</sup>	99.6
7	16.6±0.3 <sup>abc</sup>	40.68±0.50 <sup>bcd</sup>	38.0±1.4 <sup>abc</sup>	3.9±0.8 <sup>b</sup>	24.1±6.0 <sup>cd</sup>	7.2±1.2 <sup>a</sup>	7.7±1.2 <sup>abc</sup>	7.1±1.3 <sup>abc</sup>	93.0
8	17.1±0.4 <sup>abc</sup>	42.03±0.61 <sup>bc</sup>	40.5±2.1 <sup>abc</sup>	3.0±0.8 <sup>b</sup>	20.5±5.3 <sup>d</sup>	7.1±1.6 <sup>a</sup>	6.0±1.2 <sup>d</sup>	6.9±1.1 <sup>abc</sup>	89.0
9	16.0±0.7 <sup>bcd</sup>	38.86±1.42 <sup>cd</sup>	35.0±3.5 <sup>bcd</sup>	3.6±0.8 <sup>b</sup>	29.3±2.9 <sup>ab</sup>	7.6±1.1 <sup>a</sup>	7.0±0.9 <sup>cd</sup>	7.3±0.9 <sup>abc</sup>	94.2
10	15.5±0.7 <sup>cd</sup>	37.22±1.45 <sup>dc</sup>	32.5±3.5 <sup>cd</sup>	3.1±0.7 <sup>b</sup>	28.7±2.8 <sup>ab</sup>	7.4±1.4 <sup>a</sup>	6.8±1.0 <sup>cd</sup>	7.4±0.9 <sup>ab</sup>	89.9

## 参考文献:

- [1] 陈艳红, 郑胜蓝, 李慧雪, 等. 全麦粉面包生产工艺优化[J]. 食品与机械, 2021, 37(11): 173-177.  
CHEN Y H, ZHEN S L, LI H X, et al. Study on production process optimization of bread containing whole wheat flour[J]. Food & Machinery, 2021, 37(11): 173-177.
- [2] 张艺, 乔志刚, 马硕, 等. 全麦粉添加量对面包品质的影响研究[J]. 食品工程, 2023, 166(1): 41-44.  
ZHANG Y, QIAO Z G, MA S, et al. Effect of whole wheat flour on bread quality[J]. Food Engineering, 2023, 166(1): 41-44.
- [3] 关硕. 黑小麦全麦粉加工特性及产品研发[D]. 山西农业大学, 2022: 25-36.  
GUANG S. Processing characteristics and product development of triticale whole wheat flour[D]. Shanxi Agricultural University, 2022:25-36.
- [4] 吴迪, 王佳玉, 汤晓智, 等. 外源蛋白添加对全麦面团特性和面包品质的影响[J]. 中国农业科学, 2021, 54(6): 1258-1269.  
WU D, WANG J Y, TANG X Z, et al. Influence of exogenous protein addition on whole wheat dough properties and bread quality characteristics[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(6): 1258-1269.
- [5] 刘凯, 肖付才. 木聚糖酶对面团特性及全麦面包品质影响[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(4): 23-26.  
LIU K, XIAO F C. Effect of xylanase on dough characteristics and whole wheat bread quality[J]. Cereals and Oils, 2021, 34(4): 23-26.
- [6] 田晓红, 姜平, 刘明, 等. 我国市场全麦面包品质现状分析[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(9): 57-64.  
TIAN X H, JIANG P, LIU M, et al. Analysis on quality of whole wheat bread in Chinese market[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(9): 57-64.
- [7] 田晓红, 汪丽萍, 李逸, 等. 多谷物粉含量对面团加工特性和面包品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(10): 177-184.  
TIAN X H, WANG L P, LI Y, et al. Effect of multi-grain flour content on dough processing characteristics and bread qualities[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(10): 177-184.
- [8] LIN S, JIN X, GAO J, et al. Impact of wheat bran micronization on dough properties and bread quality: Part I - Bran functionality and dough properties[J]. Food Chemistry, 2021, 353: 129407.
- [9] WANG N F, HOU G G, DUBAT A. Effects of flour particle size on the quality attributes of reconstituted whole-wheat flour and Chinese southern-type steamed bread[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 82: 147-153.
- [10] LI C, TILLEY M, CHEN R, et al. Effect of bran particle size on rheology properties and baking quality of whole wheat flour from four different varieties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2023, 175: 114504.
- [11] 王博, 张维清, 李鹏, 等. 不同发酵类型乳酸菌对全麦面包品质影响研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(17): 180-186.  
WANG B, ZHANG W Q, LI P, et al. Effects of different fermentation types of lactic acid bacteria on the quality of whole wheat bread[J]. Food and Fermentation of Industries, 2023, 49(17): 180-186.
- [12] PIRRE G, CAROLE Mc. A finer screening of wheat cultivars based on comparison of the baking potential of whole-grain flour and white flour[J]. International Journal of Food Science and Technology, 2011, 46: 1137-1148.
- [13] 洪宇, 孙辉, 常柳, 等. 2020 年我国小麦品质分析[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(1): 87-92.  
HONG Y, SUN H, CHANG L, et al. Analysis on the wheat quality in China in 2020[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(1): 87-92.
- [14] XU X F, ZHANG X J, SUN M B, et al. Optimization of mixed fermentation conditions of dietary fiber from soybean residue and the effect on structure, properties and potential biological activity of dietary fiber from soybean residue[J]. Molecules, 2023, 28(3): 1322.
- [15] MA S, WANG Z, LIU H M, et al. Supplementation of wheat flour products with wheat bran dietary fiber: Purpose, mechanisms, and challenges[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 123: 281-289.
- [16] TIAN S Q, ZHAO R Y, PENG T Y, et al. Effect of different heat treatment on alkylresorcinol contents of wheat bran[J]. BioResources, 2020, 15(1): 1500-1509.
- [17] CICCORITTI R, TADDEI F, GAZZA L, et al. Influence of kernel thermal pre-treatments on 5-n-alkylresorcinols, polyphenols and antioxidant activity of durum and einkorn heat[J]. European Food Research and Technology, 2021, 247: 353-362.
- [18] 柳志玲, 卞科, 关二旗, 等. 过热蒸汽处理面筋蛋白对面团流变学特性及面包品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2022, 43(2): 48-55.  
LIU Z L, BIAN K, GUAN E Q, et al. Effect of superheated steam treatment of gluten on dough rheological properties and bread quality[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2022, 43(2): 48-55.
- [19] 卢晨曦, 张国治. 全麦面包风味改良的研究进展[J]. 粮食加工, 2022, 47(3): 14-20.  
LU C X, ZHANG G Z. Research progress on flavour improvement of wholemeal bread[J]. Grain Processing, 2022, 47(3): 14-20.
- [20] 岳颖, 佟立涛, 周素梅, 等. 发酵面团气室结构稳定性调控理论研究进展[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(4): 169-176.  
YUE Y, TONG L T, ZHOU S M, et al. Recent progress in the mechanism of gas cell stability of fermented dough[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(4): 169-176. 完

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 ( <http://lspkj.ijournal.cn> )、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。