

# 不同品种马铃薯对马铃薯-小麦复合馒头品质特性的影响

侯飞娜<sup>1,2</sup>, 木泰华<sup>1</sup>, 孙红男<sup>1</sup>, 陈井旺<sup>1</sup>, 杨海燕<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 农业部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100193)

(2. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830052)

**摘要:** 本文以 22 个品种的新鲜马铃薯为原料制备马铃薯全粉, 并对马铃薯全粉的基本成分进行了分析和比较; 然后以 22 个不同品种的马铃薯全粉为原料制作马铃薯-小麦复合馒头 (马铃薯全粉: 小麦粉=3:7), 并对其比体积、高径比、气孔结构和质构特性进行了分析和比较。结果表明, 不同品种马铃薯-小麦复合馒头的比体积、高径比、气孔特性和质构特性存在显著差异性 ( $p < 0.05$ )。高径比和比体积均较高的品种是紫花白、夏波蒂、陇薯 6 号、陇薯 7 号、中薯 2 号; 气孔密度和气孔表面积分率都较高的品种是一点红、青薯 9 号、大西洋; 硬度和咀嚼性都较好的品种是一点红、费乌瑞它、青薯 6 号、青薯 9 号、大西洋。综合考虑馒头的感官和物理特性, 一点红、青薯 9 号和大西洋 3 个品种比较适合替代小麦粉, 制得体积较为理想、硬度较低、气孔结构较好的馒头。

**关键词:** 马铃薯; 马铃薯全粉; 馒头; 品质特性

文章编号: 1673-9078(2016)3-132-139

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.022

## Effects of Different Potato Cultivars on the Quality Characteristics of Potato-wheat Composite Steamed Bread

HOU Fei-na<sup>1,2</sup>, MU Tai-hua<sup>1</sup>, SUN Hong-nan<sup>1</sup>, CHEN Jing-wang<sup>1</sup>, YANG Hai-yan<sup>2</sup>

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

(2. College of Food and Pharmaceutical Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

**Abstract:** Fresh potato samples from 22 cultivars were used as raw materials to prepare potato flours. The essential components of potato flours from the different cultivars were evaluated and compared, and the potato flours from 22 different cultivars were used as raw materials to prepare potato-wheat composite steamed breads (mass ratio of potato flour and wheat flour = 3:7). The aspect ratio, specific volume, pore structure, and texture properties of potato-wheat composite steamed breads made from 22 potato cultivars were evaluated and compared. The results showed significant differences ( $p < 0.05$ ) in the aspect ratio, specific volume, pore characteristics, and texture properties among the potato-wheat composite steamed breads from different cultivars. Zihuabai, Shepody, Longshu No. 6, Longshu No. 7, and Zhongshu No. 2 had relatively high aspect ratios and specific volumes; Yidianhong, Qingshu No. 9, and Atlantic had relatively high cell densities and area fractions; Yidianhong, Favorita, Qingshu No. 6, Qingshu No. 9, and Atlantic had relatively good hardness and chewiness. Based on the sensory and physical properties of potato-wheat composite steamed bread, Yidianhong, Qingshu No. 9, and Atlantic cultivars are suitable for replacing wheat flour in the preparation of steamed bread with desirable volume, low hardness, and good pore structure.

**Key words:** potato, potato flour, steamed bread, quality characteristics

收稿日期: 2015-05-08

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项-马铃薯主粮化关键技术体系研究与示范(201503001-2); 中国农业科学院基本科研业务费预算增量项目-薯类作物主粮化产品加工技术工艺与装备研发(2014ZL009); 2015年农业财政专项-马铃薯主粮化产品中试技术研发与示范

作者简介: 侯飞娜(1991-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与综合利用

通讯作者: 木泰华(1964-), 男, 博士生导师, 研究员

馒头是中国的传统主食之一, 主要以小麦粉、发酵剂和水为原料制成<sup>[1]</sup>。然而, 小麦粉的消费存在潜在的营养和健康问题, 在小麦加工过程中, 由于过度的追求加工精度导致众多营养素丢失, 此外小麦粉蛋白中赖氨酸含量较低, 也影响馒头的营养价值<sup>[2]</sup>。

马铃薯是世界上仅次于水稻、小麦和玉米的第四大粮食作物, 在我国已有 400 多年的栽培历史。据 FAO 统计, 2013 年度世界马铃薯总产量 3.68 亿 t, 我国马

铃薯总产量约 0.89 亿 t, 居世界第一位。在我国, 马铃薯是主要粮食和蔬菜作物之一, 又是重要的工业原料, 具有较高的开发利用价值<sup>[3-5]</sup>。马铃薯全粉一般是以马铃薯的块茎为原料, 经过清洗、去皮、蒸煮、捣泥等生产工艺再经脱水干燥而得到的粉末状产品<sup>[6]</sup>。马铃薯全粉涵盖了新鲜马铃薯块茎除薯皮以外的全部干物质(淀粉、蛋白质、糖、脂肪、纤维、灰分、维生素、矿物质等)<sup>[7]</sup>。由于其能较好的保留鲜薯的营养保健成分, 在食品加工中应用广泛, 日益受到广大消费者的喜爱<sup>[8]</sup>。

在小麦馒头中适量加入马铃薯全粉能明显改善小麦馒头的质构及营养构成, 但过量加入马铃薯全粉后小麦馒头由于面筋基质会被非弹性蛋白和高吸水性的纤维破坏, 可能比体积会较小、硬度较大<sup>[9]</sup>。前期我们综合评价了马铃薯全粉馒头的营养价值及生产成本, 发现马铃薯全粉与小麦粉按 3:7 比例制成的馒头营养价值高, 且成本较低, 适合于产业化生产。此外, 不同品种的马铃薯全粉的基本成分存在差异, 而这些基本成分的含量会显著影响馒头品质<sup>[10]</sup>。目前, 对于马铃薯馒头的研究尚未见报道, 而对于适合制作马铃薯-小麦复合馒头的马铃薯品种, 更是信息皆无。

因此, 本文选用我国 22 个主栽品种的新鲜马铃薯为原料分别制备成全粉, 按 3:7 比例制成馒头, 比较不同品种马铃薯对马铃薯-小麦复合馒头比体积、高径比、气孔结构及质构特性的影响, 明确不同品种马铃薯对马铃薯-小麦复合馒头品质特性的影响规律, 从而为马铃薯-小麦复合馒头专用马铃薯品种的筛选提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

分别于 2014 年 3 月及 5 月从陕西定边和中国农业科学院蔬菜花卉研究所收集我国马铃薯主栽品种 22 种(如表 1 所示), 所有品种原料薯均色泽良好, 清洁, 无腐烂、无异味、无发芽, 无病虫害症状、无机械损伤和青皮薯, 符合 SB/T 10752-2012 马铃薯雪花粉行业标准中关于原料状态的规定。马铃薯全粉的制备流程为:

新鲜马铃薯→洗净→汽蒸(105℃, 30 min)→剥皮→碾碎→烘干→粉碎(过 100 目筛)

表 1 供试马铃薯样品的品种及来源

Table 1 Cultivar names and producing regions of potato samples used in this study

编号	品种	收获年份	来源	编号	品种	收获年份	来源
1	一点红	2014	陕西定边	12	中薯 2 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
2	紫花白	2014	陕西定边	13	中薯 3 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
3	夏波蒂	2014	陕西定边	14	中薯 5 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
4	费乌瑞它	2014	陕西定边	15	中薯 7 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
5	青薯 6 号	2014	陕西定边	16	中薯 9 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
6	青薯 9 号	2014	陕西定边	17	中薯 10 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
7	大西洋	2014	陕西定边	18	中薯 11 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
8	黑金刚	2014	陕西定边	19	中薯 13 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
9	陇薯 3 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	20	中薯 16 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
10	陇薯 6 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	21	克新一号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所
11	陇薯 7 号	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	22	红美	2014	中国农业科学院蔬菜花卉研究所

### 1.2 主要仪器与设备

SX-5 马弗炉: 安徽贝意克设备技术有限公司; Kjeltec Analysister 凯氏定氮仪: 瑞典 FOSS 公司; CXC-06 纤维测定仪: 济南盛泰仪器有限公司; Soxhlet Avanti 2050 粗脂肪测定仪: 瑞典 FOSS 公司; DGG-9240B 型电热恒温鼓风干燥箱: 上海森信实验仪器有限公司; TGL-16M 型高速离心机: 湖南湘仪仪器厂; SM-168S 高级双刀厨师机: 深圳市牧人电器五金制品有限公司; HWS-100 恒温恒湿培养箱: 北京科

林恒达科技发展有限公司; TA-XT2i 物性测试仪: 英国 Stable Micro System 公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 馒头的制作

原料(120 g 马铃薯全粉+280 g 小麦粉)→混合→加水(260 g)、酵母(4 g)搅拌 10 min→面团发酵 60 min(35℃左右、相对湿度 70~80%)→搅拌 5 min→切割、揉捏成型(每个馒头 100 g)→二次醒发 15 min→蒸制 30 min→成品→室温下冷却 1 h 备用

### 1.3.2 基本成分的测定

水分: 参照 AOAC 935.29, 采用常压干燥法 (105℃) [11]。

粗蛋白: 参照 AOAC 976.05, 采用凯氏定氮法, 蛋白转换因子为 6.25 [11]。

粗纤维: 粗纤维采用 ISO 5498:1981 的方法测定 [12]。

粗脂肪: 粗脂肪参照 AOAC 960.39 的方法测定 [11]。

总淀粉含量的测定: 参照 Megazyme 总淀粉试剂盒所提供的方法测定马铃薯总淀粉含量。

灰分: 采用灼烧法 (550℃, 6h) [11]。

### 1.3.3 比体积和高径比

比体积的测定: 馒头的体积采用小米法测定, 质量用电子天平称量, 馒头的体积与质量的比值即比体积 [13]。

高径比的测定: 馒头高度和直径用游标卡尺测定, 高度与直径的比值即为高径比。

### 1.3.4 气孔结构分析

将馒头按 1 cm 厚度切片拍照, 取馒头片图像中心 3×3 cm<sup>2</sup> 大小用 Image J 软件进行分析, 阈值选择参照 Otsu thresholding 技术 [14], 设定可分辨半径范围为 50~50000 μm, 通过分析可得到的参数有: 气孔密度、气孔平均大小、气孔表面积分率。

### 1.3.5 质构分析

参照 Mi ñarro B 等 [15] 的方法对馒头进行取样。TPA 测试中, 使用的探头为 P50 型; 馒头的 TPA 测试的操作模式为: 压力测定; 操作类型: TPA; 测试前速率: 1.0 mm/s; 测试速率: 1.0 mm/s; 测试后速率: 1.0 mm/s; 压缩率: 50%; 两次压缩之间的时间间隔: 2 s; 触发类型设置为: Auto; 起点感应力: 5 g; 数据采集速率: 200 pps。从 TPA 实验曲线上可得到 6 个参数值: 硬度、弹性、粘结性、粘合性、咀嚼性、回复性。

### 1.3.6 数据分析

所有测定均独立重复 3 次, 试验结果表示为平均值±标准差。采用 SAS 9.2 数据处理软件对结果进行分析, 并对数据进行单因素方差分析,  $p < 0.05$  时为显著性差异。

## 2 结果与讨论

### 2.1 马铃薯全粉基本成分分析

如表 2 所示, 22 个品种马铃薯全粉的基本成分均存在显著性差异。水分平均含量为 5.30 g/100 g 马铃薯全粉, 水分含量最高的品种为大西洋 (6.94±0.13 g/100

g 马铃薯全粉), 最低的品种为陇薯 3 号 (2.54±0.04 g/100 g 马铃薯全粉)。水分是营养成分的载体, 直接影响着食品的生理活性, 但食品含水较多容易繁殖微生物而发生变质, 不利于保鲜、储藏和运输。所有品种马铃薯全粉水分含量均低于≤9%, 符合 SB/T 10752-2012 马铃薯雪花粉行业标准的规定。

粗蛋白含量范围为 6.57~12.84 g/100 g DW, 平均含量 9.40 g/100 g DW, 略低于小麦。蛋白是人类赖以生存的基础营养素, 人体必须不断地从食物中摄取各种蛋白质, 才能保证机体的正常运行。每 100 g 马铃薯全粉中所含蛋白与玉米相当, 高于大米, 其蛋白的质量比大豆还好, 接近于动物蛋白 [16]。因此, 马铃薯全粉可为人们的膳食提供优良的植物蛋白。

粗纤维含量范围为 1.31~2.86 g/kg DW, 青薯 6 号, 费乌瑞它和一点红的粗纤维含量最高 (无显著性差异), 大西洋最低, 平均含量为 1.96g/100g DW, 显著高于小麦。纤维素是维护人体健康所必不可少的物质之一, 被称为人体必需的第七类营养。具有促进胃肠蠕动、增强消化功能、阻止胆固醇的吸收、维护血糖平衡, 从而具有预防和治疗脑血管硬化、糖尿病、肿瘤等疾病的保健功能 [17]。因此, 马铃薯全粉是补充膳食纤维的良好食物来源。

粗脂肪含量陇薯 6 号和陇薯 7 号最高 (无显著性差异), 红美最低, 含量范围为 0.15~4.70 g/kg DW, 平均含量为 2.33 g/kg DW。脂肪参与了人体器官的保温, 并维持体温和细胞功能。另外, 脂肪是 ω-3 和 ω-6 脂肪酸的来源, 并且是消化、吸收和运输维生素 A、D、E 和 K 元素所必需的。

淀粉含量范围为 51.70 g/100g DW (红美) -72.40 g/100g DW (青薯 6 号), 平均淀粉含量为 64.15 g/100g DW。灰分含量范围为 3.48~6.20 g/100 g DW。我们的测定结果与 Treadway 等 [18] 及 Eun [19] 等报道的结果相一致。

### 2.2 马铃薯-小麦复合馒头的比体积与高径比

图 1 列出了 22 个品种马铃薯-小麦复合馒头的照片。在所有马铃薯-小麦复合馒头中, 陇薯 6 号的高径比 (0.80) 最大而费乌瑞它与青薯 6 号的高径比最小 (表 3)。不同品种马铃薯-小麦复合馒头的比体积存在显著性差异, 变化范围为 1.56 (中薯 16 号) ~2.39 (青薯 9 号), 显著低于纯小麦馒头 (2.95±0.18)。紫花白、夏波蒂、陇薯 6 号、陇薯 7 号、中薯 2 号的高径比和比体积均较高。

马铃薯全粉的淀粉含量与马铃薯-小麦复合馒头的比体积 ( $r = -0.06689$ ,  $p = 0.7674$ ) 和高径比 ( $r = -0.08944$ ,



$p=0.6922$ )呈微弱的负相关,面筋网络中淀粉的糊化作用直接影响馒头的组织结构,糊化的淀粉颗粒从面团内部吸水膨胀,淀粉颗粒体积会逐渐增大<sup>[20]</sup>。而本

研究中所使用的马铃薯全粉由于制作过程中经过高温处理,可能导致淀粉的糊化特性发生了改变,因此对馒头比体积和高径比的影响不大。

表2 22个品种马铃薯全粉水分、粗蛋白、粗纤维、粗脂肪、淀粉及灰分含量(g/100g DW)

Table 2 Moisture, crude protein, crude fiber, crude fat, starch, and ash contents of potato flours from 22 potato cultivars (g/100 g DW)

品种	水分#	粗蛋白	粗纤维	粗脂肪*	淀粉	灰分
一点红	4.57±0.11 <sup>hi</sup>	9.53±0.10 <sup>f</sup>	2.82±0.01 <sup>a</sup>	1.45±0.21 <sup>gh</sup>	64.65±0.38 <sup>def</sup>	5.14±0.23 <sup>cd</sup>
紫花白	6.66±0.02 <sup>b</sup>	6.57±0.08 <sup>j</sup>	2.32±0.04 <sup>b</sup>	1.55±0.35 <sup>gh</sup>	60.37±2.67 <sup>ghi</sup>	6.20±0.05 <sup>a</sup>
夏波蒂	6.14±0.12 <sup>cd</sup>	8.95±0.06 <sup>g</sup>	1.76±0.01 <sup>efg</sup>	1.85±0.07 <sup>fg</sup>	66.36±1.15 <sup>bcd</sup>	4.94±0.01 <sup>de</sup>
费乌瑞它	6.22±0.17 <sup>c</sup>	7.93±0.05 <sup>h</sup>	2.86±0.01 <sup>a</sup>	2.90±0.14 <sup>d</sup>	68.70±2.03 <sup>abcd</sup>	5.50±0.22 <sup>b</sup>
青薯6号	4.09±0.10 <sup>k</sup>	6.78±0.04 <sup>j</sup>	1.90±0.16 <sup>de</sup>	1.55±0.07 <sup>gh</sup>	72.40±0.68 <sup>a</sup>	5.56±0.07 <sup>b</sup>
青薯9号	6.03±0.03 <sup>cde</sup>	7.31±0.03 <sup>i</sup>	2.84±0.06 <sup>a</sup>	1.55±0.21 <sup>gh</sup>	70.10±1.09 <sup>ab</sup>	5.21±0.01 <sup>c</sup>
大西洋	6.94±0.13 <sup>a</sup>	7.14±0.09 <sup>i</sup>	1.31±0.11 <sup>i</sup>	2.10±0.28 <sup>ef</sup>	69.09±1.53 <sup>abc</sup>	4.68±0.19 <sup>efg</sup>
黑金刚	5.93±0.02 <sup>de</sup>	9.67±0.02 <sup>f</sup>	1.82±0.03 <sup>ef</sup>	1.50±0.00 <sup>gh</sup>	58.35±3.15 <sup>hi</sup>	4.85±0.21 <sup>ef</sup>
陇薯3号	2.54±0.04 <sup>l</sup>	10.62±0.21 <sup>de</sup>	1.91±0.01 <sup>de</sup>	4.26±0.12 <sup>b</sup>	64.81±3.15 <sup>def</sup>	3.88±0.02 <sup>m</sup>
陇薯6号	4.05±0.03 <sup>k</sup>	11.02±0.02 <sup>c</sup>	1.89±0.01 <sup>de</sup>	4.70±0.14 <sup>a</sup>	58.91±2.93 <sup>hi</sup>	4.49±0.23 <sup>ghi</sup>
陇薯7号	4.38±0.02 <sup>ji</sup>	8.09±0.01 <sup>h</sup>	1.76±0.12 <sup>efg</sup>	4.70±0.14 <sup>a</sup>	63.70±1.80 <sup>efg</sup>	4.09±0.01 <sup>klm</sup>
中薯2号	4.89±0.07 <sup>g</sup>	11.08±0.13 <sup>c</sup>	2.19±0.07 <sup>bc</sup>	3.20±0.42 <sup>cd</sup>	65.10±1.79 <sup>cdef</sup>	4.64±0.03 <sup>fg</sup>
中薯3号	6.48±0.10 <sup>b</sup>	9.01±0.17 <sup>g</sup>	2.18±0.02 <sup>bc</sup>	2.35±0.21 <sup>e</sup>	63.37±1.65 <sup>fg</sup>	4.58±0.05 <sup>fgh</sup>
中薯5号	4.96±0.04 <sup>g</sup>	8.20±0.07 <sup>h</sup>	2.05±0.16 <sup>cd</sup>	3.15±0.07 <sup>cd</sup>	57.41±1.39 <sup>i</sup>	4.27±0.32 <sup>ijkl</sup>
中薯7号	4.85±0.16 <sup>g</sup>	10.42±0.28 <sup>c</sup>	1.77±0.01 <sup>ef</sup>	3.45±0.21 <sup>c</sup>	62.44±1.51 <sup>fgh</sup>	4.01±0.01 <sup>m</sup>
中薯9号	6.49±0.18 <sup>b</sup>	9.54±0.26 <sup>f</sup>	1.69±0.05 <sup>fg</sup>	3.05±0.07 <sup>cd</sup>	68.49±1.43 <sup>abcd</sup>	3.48±0.01 <sup>n</sup>
中薯10号	4.40±0.09 <sup>ji</sup>	9.03±0.11 <sup>g</sup>	1.48±0.09 <sup>hi</sup>	3.05±0.35 <sup>cd</sup>	65.29±1.329 <sup>cdef</sup>	3.98±0.03 <sup>m</sup>
中薯11号	4.77±0.04 <sup>gh</sup>	8.91±0.03 <sup>g</sup>	1.71±0.14 <sup>fg</sup>	1.45±0.07 <sup>gh</sup>	66.16±2.44 <sup>bcd</sup>	4.13±0.05 <sup>klm</sup>
中薯13号	4.32±0.08 <sup>i</sup>	10.94±0.35 <sup>c</sup>	1.82±0.08 <sup>ef</sup>	1.50±0.00 <sup>gh</sup>	62.38±3.01 <sup>fgh</sup>	4.01±0.01 <sup>m</sup>
中薯16号	5.50±0.24 <sup>f</sup>	10.86±0.04 <sup>cd</sup>	1.58±0.04 <sup>gh</sup>	1.35±0.07 <sup>h</sup>	67.76±2.64 <sup>bcde</sup>	4.94±0.01 <sup>cd</sup>
克新一号	5.84±0.07 <sup>e</sup>	12.40±0.07 <sup>b</sup>	1.84±0.20 <sup>ef</sup>	0.55±0.21 <sup>i</sup>	63.89±1.20 <sup>efg</sup>	4.36±0.12 <sup>hij</sup>
红美	6.47±0.08 <sup>b</sup>	12.84±0.13 <sup>a</sup>	1.59±0.04 <sup>gh</sup>	0.15±0.07 <sup>i</sup>	51.70±1.19 <sup>j</sup>	4.30±0.06 <sup>ijk</sup>
平均值	5.30±1.09	9.40±1.70	1.96±0.42	2.33±1.22	64.15±4.65	4.60±0.63
中筋小麦	11.98±0.02	11.39±0.01	0.64±0.00	6.75±0.20	60.96±1.22	0.48±0.01

注:字母不同表示品种间有显著性差异( $p<0.05$ );#:水分含量单位为g/100g马铃薯全粉;\*:粗脂肪含量单位为g/kg DW。

马铃薯全粉的粗脂肪含量与马铃薯-小麦复合馒头的高径比呈正相关( $r=0.25493$ ,  $p=0.2522$ ),增加马铃薯全粉的粗脂肪含量可以增加馒头的高径比。这一结论与 Pollard 等人<sup>[21]</sup>提出的假设相一致:增加澳洲甜羽扇豆粉的脂肪含量对面包的形成产生了有利的影响。马铃薯全粉中的脂类,可能与小麦粉中的脂类一样,通过在气体单元的气体/液体中间形成脂质,增加面团气体的保留<sup>[22]</sup>,并有助于稳定气室<sup>[23]</sup>,从而产生一个更加开放的泡孔结构,因此可对馒头的高径比产生积极的影响。

马铃薯全粉的粗蛋白含量与马铃薯-小麦复合馒头的比体积呈负相关( $r=-0.29297$ ,  $p=0.1858$ ),与马铃薯-小麦复合馒头的高径比呈正相关( $r=0.32910$ ,  $p=0.1348$ )。王春香等人研究发现,马铃薯全粉中的蛋

白不具有形成面筋的能力,当添加马铃薯全粉后,小麦面筋蛋白含量相对下降,面筋筋力减弱,导致面团稳定性发生变化<sup>[24]</sup>。

马铃薯全粉的粗纤维含量与马铃薯-小麦复合馒头的比体积呈正相关( $r=0.48917$ ,  $p=0.0209$ ),这可能是由于纤维的吸水性导致面团吸水能力的变化,吸水性高于小麦粉的马铃薯全粉降低了面团粘度,并且所生产的面团硬,从而致使馒头密度发生变化<sup>[25]</sup>。

### 2.3 气孔结构分析

表4表示用 Image J 软件分析得出的马铃薯-小麦复合馒头的气孔结构。图2列出了馒头内部结构的图片。在所有马铃薯-小麦复合馒头中,青薯9号气孔表面积分率最高;大西洋气孔密度最大,但显著低于纯

小麦馒头；而气孔平均大小不存在显著性差异。气孔密度和气孔表面积分率都较高的品种是：一点红、青薯9号、大西洋。

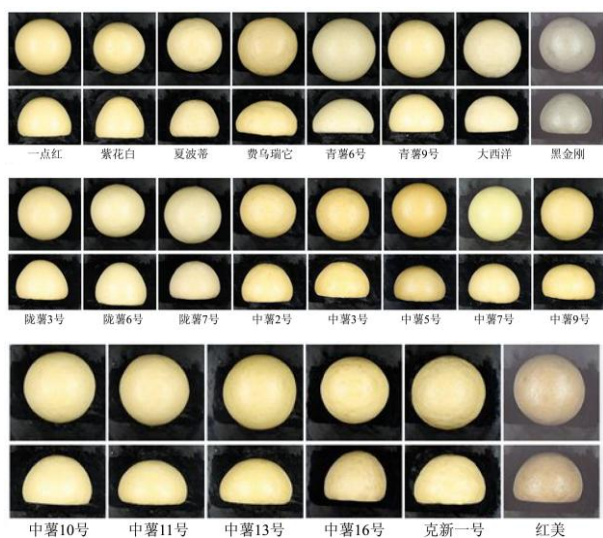


图1 22个品种马铃薯-小麦复合馒头的照片

Fig.1 Images of potato-wheat composite steamed bread from 22 potato cultivars

马铃薯全粉的淀粉含量与马铃薯-小麦复合馒头气孔密度呈正相关 ( $r=0.42101, p=0.0510$ )，在小麦粉中添加马铃薯全粉后，由于马铃薯淀粉结合水的能力远高于小麦淀粉，面团的吸水率会发生改变，导致面团结构发生一些变化<sup>[24]</sup>。面筋是面团发酵的骨架，使面团保持一定形状，而馒头在蒸制过程中，面筋网络中淀粉的糊化作用直接影响馒头的体积，实际上是由淀粉在维持馒头的组织结构<sup>[20]</sup>，因此淀粉对馒头的气孔密度也有一定的影响。

马铃薯全粉的粗蛋白含量与马铃薯-小麦复合馒头气孔密度 ( $r=-0.31087, p=0.1591$ ) 及气孔表面积分率 ( $r=-0.20049, p=0.3710$ ) 呈负相关，马铃薯全粉的粗纤维含量与马铃薯-小麦复合馒头的气孔密度 ( $r=0.20501, p=0.3601$ ) 及气孔表面积分率 ( $r=0.50821, p=0.0157$ ) 呈正相关，这可能是由于面筋基质被非弹性蛋白及高吸水性的纤维影响，从而致使馒头的密度发生变化<sup>[25-26]</sup>。

马铃薯全粉的粗纤维含量与马铃薯-小麦复合馒头的气孔表面积分率呈正相关 ( $r=0.50821, p=0.1269$ )，这可能是由于纤维的吸水性导致面团吸水能力的变化，吸水性高于小麦粉的马铃薯全粉降低了面团粘度，从而致使馒头密度发生变化<sup>[25]</sup>。

马铃薯-小麦复合馒头的比体积与气孔密度 ( $r=0.55519, p=0.0073$ ) 及气孔表面积分率 ( $r=0.90402, p<0.0001$ ) 呈正相关，表明比体积较大的馒头气孔结构也比较好。

表3 22个品种马铃薯-小麦复合馒头高径比和比体积

Table 3 Aspect ratio and specific volume of potato-wheat composite steamed bread from 22 potato cultivars

品种	高径比	比体积/(mL/g)
一点红	0.67±0.00 <sup>g</sup>	2.36±0.03 <sup>b</sup>
紫花白	0.75±0.00 <sup>b</sup>	2.11±0.10 <sup>cd</sup>
夏波蒂	0.73±0.00 <sup>c</sup>	1.99±0.01 <sup>ef</sup>
费乌瑞它	0.53±0.00 <sup>k</sup>	2.02±0.05 <sup>def</sup>
青薯6号	0.53±0.00 <sup>k</sup>	2.13±0.04 <sup>cd</sup>
青薯9号	0.66±0.00 <sup>b</sup>	2.39±0.02 <sup>b</sup>
大西洋	0.68±0.00 <sup>f</sup>	2.16±0.03 <sup>c</sup>
黑金刚	0.70±0.01 <sup>e</sup>	2.08±0.04 <sup>cde</sup>
陇薯3号	0.70±0.00 <sup>e</sup>	1.99±0.12 <sup>ef</sup>
陇薯6号	0.80±0.00 <sup>a</sup>	2.17±0.07 <sup>c</sup>
陇薯7号	0.76±0.00 <sup>b</sup>	2.11±0.09 <sup>cd</sup>
中薯2号	0.72±0.00 <sup>cd</sup>	1.99±0.01 <sup>ef</sup>
中薯3号	0.63±0.00 <sup>j</sup>	1.92±0.05 <sup>fg</sup>
中薯5号	0.63±0.00 <sup>j</sup>	1.99±0.00 <sup>ef</sup>
中薯7号	0.70±0.01 <sup>e</sup>	2.11±0.04 <sup>cd</sup>
中薯9号	0.63±0.00 <sup>j</sup>	1.82±0.03 <sup>g</sup>
中薯10号	0.69±0.00 <sup>f</sup>	1.94±0.04 <sup>f</sup>
中薯11号	0.64±0.00 <sup>ij</sup>	1.98±0.04 <sup>ef</sup>
中薯13号	0.65±0.01 <sup>i</sup>	2.07±0.01 <sup>cde</sup>
中薯16号	0.72±0.01 <sup>d</sup>	1.56±0.07 <sup>h</sup>
克新一号	0.69±0.00 <sup>f</sup>	2.02±0.07 <sup>def</sup>
红美	0.70±0.01 <sup>e</sup>	2.06±0.10 <sup>cde</sup>
中筋小麦	0.64±0.06 <sup>ij</sup>	2.95±0.18 <sup>a</sup>

注：字母不同表示品种间有显著性差异 ( $p<0.05$ )。

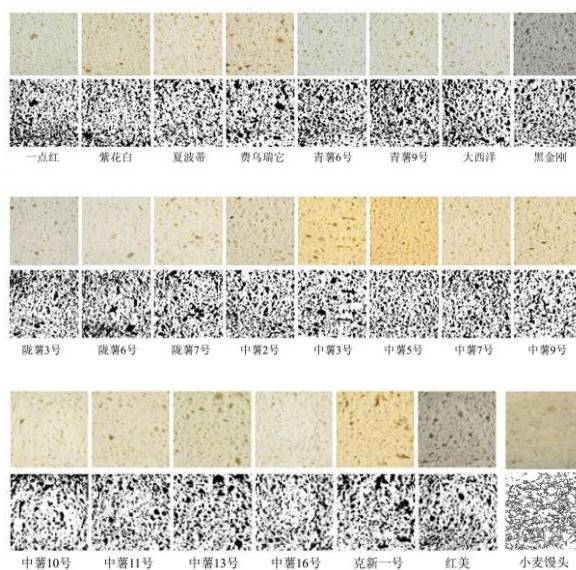


图2 22个品种马铃薯-小麦复合馒头的内部孔洞

Fig.2 Pore cell of potato-wheat composite steamed bread from 22 potato cultivars

表 4 22 个品种马铃薯-小麦复合馒头气孔分析

Table 4 Pore characteristics of potato-wheat composite steamed bread from 22 potato cultivars

品种	气孔密度 (Cells/cm <sup>2</sup> )	气孔表面 积分率/%	气孔平均 大小/mm <sup>2</sup>
一点红	29.65±0.11 <sup>d</sup>	38.10±0.11 <sup>b</sup>	2.54
紫花白	26.34±0.07 <sup>gh</sup>	33.60±0.06 <sup>f</sup>	2.54
夏波蒂	24.02±0.08 <sup>k</sup>	30.50±0.03 <sup>l</sup>	2.54
费乌瑞它	26.46±0.07 <sup>g</sup>	32.00±0.06 <sup>j</sup>	2.54
青薯 6 号	26.26±0.10 <sup>h</sup>	35.00±0.14 <sup>d</sup>	2.54
青薯 9 号	33.43±0.11 <sup>b</sup>	39.00±0.07 <sup>a</sup>	2.54
大西洋	33.51±0.08 <sup>b</sup>	34.50±0.13 <sup>e</sup>	2.54
黑金刚	20.52±0.16 <sup>s</sup>	32.70±0.16 <sup>g</sup>	2.54
陇薯 3 号	21.20±0.14 <sup>q</sup>	32.20±0.04 <sup>ij</sup>	2.54
陇薯 6 号	23.81±0.06 <sup>l</sup>	36.10±0.13 <sup>c</sup>	2.54
陇薯 7 号	25.94±0.07 <sup>i</sup>	32.30±0.10 <sup>hi</sup>	2.54
中薯 2 号	25.89±0.06 <sup>i</sup>	32.00±0.03 <sup>j</sup>	2.54
中薯 3 号	23.62±0.11 <sup>m</sup>	28.90±0.16 <sup>no</sup>	2.54
中薯 5 号	21.45±0.06 <sup>p</sup>	29.30±0.10 <sup>m</sup>	2.54
中薯 7 号	26.25±0.08 <sup>h</sup>	32.50±0.08 <sup>gh</sup>	2.54
中薯 9 号	24.59±0.08 <sup>j</sup>	27.10±0.06 <sup>q</sup>	2.54
中薯 10 号	31.19±0.11 <sup>c</sup>	29.10±0.10 <sup>mm</sup>	2.54
中薯 11 号	22.55±0.07 <sup>o</sup>	28.80±0.16 <sup>o</sup>	2.54
中薯 13 号	27.53±0.10 <sup>f</sup>	31.70±0.11 <sup>k</sup>	2.54
中薯 16 号	21.01±0.08 <sup>r</sup>	27.40±0.10 <sup>p</sup>	2.54
克新一号	29.15±0.10 <sup>e</sup>	32.40±0.11 <sup>hi</sup>	2.54
红美	23.34±0.07 <sup>n</sup>	32.20±0.13 <sup>ij</sup>	2.54
中筋小麦	44.12±0.12 <sup>a</sup>	32.40±0.29 <sup>hi</sup>	2.51

注: 字母不同表示品种间有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

## 2.4 质构分析

硬度和咀嚼性是评价馒头品质的重要指标,通常,硬度和咀嚼性越小,面团越柔软。本研究中,不同品

种马铃薯-小麦复合馒头的硬度及咀嚼性差异较大(表 5), 马铃薯-小麦复合馒头的硬度范围为 31.58 (费乌瑞它)-69.67 (紫花白), 显著高于纯小麦馒头; 咀嚼性范围为 16.32 (费乌瑞它)-37.03 (紫花白), 同样显著高于纯小麦馒头。硬度和咀嚼性都较好的品种是一点红、费乌瑞它、青薯 6 号、青薯 9 号、大西洋。

马铃薯-小麦复合馒头的硬度与弹性 ( $r=0.52185, p=0.0127$ )、粘性 ( $r=0.96338, p < 0.0001$ )、咀嚼性 ( $r=0.96382, p < 0.0001$ )、回复性 ( $r=0.32130, p=0.0127$ ) 和高径比 ( $r=0.55624, p=0.0072$ ) 呈正相关, 但与比体积 ( $r=-0.34694, p=0.1137$ )、气孔密度 ( $r=-0.52304, p=0.0125$ ) 和气孔表面积分率 ( $r=-0.34572, p=0.1150$ ) 呈负相关, 这与 Doo-Jee 等人的研究结果一致: 面包的硬度与比体积呈反比<sup>[10]</sup>。马铃薯-小麦复合馒头的咀嚼性与弹性 ( $r=0.53788, p=0.0098$ )、粘性 ( $r=0.99965, p < 0.0001$ )、回复性 ( $r=0.42350, p=0.0495$ ) 和高径比 ( $r=0.43702, p=0.0420$ ) 呈正相关, 但与比体积 ( $r=-0.37660, p=0.0841$ )、气孔密度 ( $r=-0.44192, p=0.0395$ ) 和气孔表面积分率 ( $r=-0.41897, p=0.0532$ ) 呈负相关。这些结果意味着, 比体积较高的马铃薯-小麦复合馒头更软、更易咀嚼。本文中这些馒头品质特性(如硬度、弹性、比体积等)之间的关系与 Scanlon 等人 2001 所报道的面包品质特性之间的关系基本一致<sup>[27]</sup>。

马铃薯-小麦复合馒头的硬度与粗蛋白( $r=0.15601, p=0.4881$ ) 含量呈正相关, 与淀粉 ( $r=-0.44870, p=0.0362$ ) 和粗纤维 ( $r=-0.23155, p=0.2998$ ) 含量呈负相关, 与粗脂肪 ( $r=0.07006, p=0.7567$ ) 和水分 ( $r=-0.01157, p=0.9592$ ) 的相关性很小。马铃薯-小麦复合馒头的硬度较大是由多种原因引起的, 如面筋网状结构的稀释、谷胱蛋白二硫键的变化及纤维吸水性导致面团吸水能力的变化<sup>[28-29]</sup>。

表 5 22 个品种马铃薯-小麦复合馒头的质构分析

Table 5 Texture profile of potato-wheat composite steamed bread from 22 potato cultivars

品种	硬度	弹性	粘结性	粘性	咀嚼性	回复性
一点红	42.14±0.24 <sup>mm</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.49±0.01 <sup>g</sup>	20.83±0.15 <sup>de</sup>	20.83±0.15 <sup>m</sup>	0.39±0.00 <sup>h</sup>
紫花白	69.67±0.14 <sup>a</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.53±0.00 <sup>abcde</sup>	37.03±0.14 <sup>b</sup>	37.03±0.14 <sup>a</sup>	0.46±0.00 <sup>bcd</sup>
夏波蒂	58.55±0.14 <sup>c</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.52±0.01 <sup>bcd</sup>	30.54±0.14 <sup>bc</sup>	30.54±0.14 <sup>c</sup>	0.46±0.02 <sup>bcd</sup>
费乌瑞它	31.58±0.30 <sup>o</sup>	0.96±0.06 <sup>b</sup>	0.52±0.01 <sup>defg</sup>	16.32±0.12 <sup>e</sup>	15.68±1.02 <sup>n</sup>	0.42±0.00 <sup>g</sup>
青薯 6 号	42.30±0.40 <sup>mm</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.54±0.02 <sup>abcd</sup>	22.72±0.54 <sup>cde</sup>	22.72±0.54 <sup>k</sup>	0.41±0.01 <sup>g</sup>
青薯 9 号	41.59±0.42 <sup>n</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.52±0.02 <sup>cdef</sup>	21.66±0.42 <sup>de</sup>	21.66±0.42 <sup>l</sup>	0.42±0.01 <sup>fg</sup>
大西洋	41.88±0.28 <sup>mm</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.55±0.03 <sup>a</sup>	22.91±0.42 <sup>cde</sup>	22.91±0.42 <sup>jk</sup>	0.47±0.03 <sup>bc</sup>
黑金刚	55.84±0.04 <sup>e</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.51±0.00 <sup>efg</sup>	28.46±0.21 <sup>bcd</sup>	28.46±0.21 <sup>de</sup>	0.45±0.01 <sup>bcd</sup>

转下页



接上页

陇薯 3 号	56.21±0.14 <sup>e</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.50±0.00 <sup>g</sup>	27.91±0.14 <sup>cd</sup>	27.91±0.14 <sup>ef</sup>	0.41±0.00 <sup>gh</sup>
陇薯 6 号	56.59±0.42 <sup>i</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.51±0.00 <sup>efg</sup>	25.17±0.06 <sup>cd</sup>	25.17±0.06 <sup>i</sup>	0.44±0.00 <sup>ef</sup>
陇薯 7 号	49.39±0.51 <sup>i</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.51±0.00 <sup>efg</sup>	25.18±0.03 <sup>cd</sup>	25.18±0.03 <sup>i</sup>	0.45±0.01 <sup>de</sup>
中薯 2 号	56.54±0.03 <sup>e</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.50±0.01 <sup>g</sup>	28.09±0.33 <sup>cd</sup>	28.09±0.33 <sup>def</sup>	0.40±0.01 <sup>gh</sup>
中薯 3 号	57.74±0.15 <sup>d</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.54±0.00 <sup>abcd</sup>	31.53±0.38 <sup>bc</sup>	31.53±0.38 <sup>b</sup>	0.48±0.00 <sup>ab</sup>
中薯 5 号	60.66±0.42 <sup>b</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.52±0.00 <sup>bcd</sup>	31.48±0.36 <sup>bc</sup>	31.48±0.36 <sup>b</sup>	0.45±0.00 <sup>cde</sup>
中薯 7 号	45.60±0.51 <sup>l</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.52±0.00 <sup>defg</sup>	23.56±0.08 <sup>cde</sup>	23.56±0.08 <sup>j</sup>	0.40±0.01 <sup>gh</sup>
中薯 9 号	52.46±0.31 <sup>g</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.54±0.00 <sup>ab</sup>	27.39±0.15 <sup>cd</sup>	27.39±0.15 <sup>fg</sup>	0.50±0.00 <sup>a</sup>
中薯 10 号	46.80±0.27 <sup>k</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.54±0.00 <sup>abc</sup>	25.07±0.20 <sup>cde</sup>	25.07±0.20 <sup>i</sup>	0.45±0.00 <sup>cde</sup>
中薯 11 号	49.13±0.25 <sup>i</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.52±0.00 <sup>bcd</sup>	25.97±0.23 <sup>cd</sup>	25.97±0.23 <sup>h</sup>	0.45±0.00 <sup>bcd</sup>
中薯 13 号	54.21±0.28 <sup>f</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.51±0.00 <sup>efg</sup>	27.35±0.46 <sup>cd</sup>	27.35±0.46 <sup>fg</sup>	0.45±0.00 <sup>cde</sup>
中薯 16 号	56.52±0.59 <sup>e</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.50±0.00 <sup>fg</sup>	28.74±0.17 <sup>bcd</sup>	28.74±0.17 <sup>d</sup>	0.41±0.00 <sup>gh</sup>
克新一号	51.35±0.43 <sup>h</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.53±0.00 <sup>abcde</sup>	27.16±0.22 <sup>cd</sup>	27.16±0.22 <sup>g</sup>	0.47±0.00 <sup>ab</sup>
红美	47.62±0.37 <sup>j</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.52±0.00 <sup>bcd</sup>	24.59±0.51 <sup>cde</sup>	24.59±0.51 <sup>i</sup>	0.45±0.01 <sup>bcd</sup>
中筋小麦	17.43±1.70 <sup>p</sup>	1.00±0.00 <sup>a</sup>	0.56±0.02 <sup>a</sup>	230.90±25.72 <sup>a</sup>	9.96±0.57 <sup>o</sup>	0.53±0.04 <sup>a</sup>

注: 字母不同表示品种间有显著性差异 ( $p < 0.05$ )。

### 3 结论

马铃薯品种对马铃薯-小麦复合馒头的一些品质特性影响显著。高径比和比体积均较高的品种是紫花白、夏波蒂、陇薯 6 号、陇薯 7 号、中薯 2 号; 气孔密度和气孔表面积分率都较高的品种是: 一点红、青薯 9 号、大西洋; 硬度和咀嚼性都较好的品种是一点红、费乌瑞它、青薯 6 号、青薯 9 号、大西洋。综合考虑馒头的感官和物理特性, 一点红、青薯 9 号和大西洋 3 个品种比较适合替代小麦粉, 制得比体积和高径比较为理想、硬度较低、气孔结构较好的馒头。

### 参考文献

- [1] 孙拥军, 彭辉, 安薪憬. 添加玉米粉对馒头品质的影响[J]. 中国农学通报, 2012, 28(3): 295-299  
SUN Yong-jun, PENG Hui, AN Xing-jing. The effect of the addition of corn flour on the quality of steamed bread [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 28(3): 295-299
- [2] 汪磊, 李飞, 朱波, 等. 莜麦馒头配方研究[J]. 中国粮油学报, 2010, 28(1): 27-30  
WANG Lei, LI Fei, ZHU Bo, et al. The study on the formula of naked oat steamed bread [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oil Association, 2010, 28(1): 27-30
- [3] 吕巨智, 染和, 姜建初. 马铃薯的营养成分及保健价值[J]. 中国食物与营养, 2009, 3: 51-52  
LV Ju-zhi, RAN He, JIANG Jian-chu. Nutrition and health value of potatoes [J]. Food and Nutrition in China, 2009, 3: 51-52
- [4] 屈冬玉, 谢开云, 金黎平, 等. 中国马铃薯产业发展与食品安全[J]. 中国农业科学, 2005, 38(2): 358-632  
QU Dong-yu, XIE Kai-yun, JIN Li-ping, et al. Development of potato industry and food security in china [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(2): 358-632
- [5] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2012, 97(1): 1-4  
XIE Cong-hua. Potato industry: status and development [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition). 2012, 97(1): 1-4
- [6] 丛小甫. 中国马铃薯全粉加工业现状[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 348-352  
CONG Xiao-fu. Current situation of potato flour processing industry in China [J]. Food Science, 2002, 23(8): 348-352
- [7] 李富利. 浅议马铃薯全粉[J]. 内蒙古农业科技, 2012, 1: 133-134  
LI Fu-li. Brief discussion on potato flour [J]. Inner Mongolia Agricultural Science And Technology, 2012, 1: 133-134
- [8] 郭心义. 马铃薯全粉生产状况及前景展望[J]. 粮油加工与食品机械, 2003, 10: 8-12  
GUO Xin-yi. Production status and prospects of potato flour [J]. Machinery For Cereals Oil And Food Processing, 2003, 10: 8-12
- [9] Villarino C B, Jayasena V, Coorey R, et al. The effects of Australian sweet lupin variety on physical properties of flours and breads [J]. Food Science and Technology, 2015, 60: 435-443
- [10] Doo-Jee Shin, Wook Kim, Yookyung Kim. Physicochemical

- and sensory properties of soy bread made with germinated, steamed, and roasted soy flour [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141: 517-523
- [11] AOAC (Association of Analytical Chemists) (2000). Official methods of analysis (17th ed.). Gaithersburg, MD, USA: AOAC International
- [12] ISO (International Standards Organization) (1981). Organization for Standardization. ISO 5498:1981. Determination of crude fibre content, general method. Geneva, Switzerland: ISO
- [13] GB 21118-2007 小麦粉馒头[S].
- [14] Ozkoc S O, Sumnu G, Sahin S. The effects of gums on macro and micro-structure of breads baked in different ovens [J]. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(8): 2182-2189
- [15] Miñarro B, Normahomed I, Guamis B, *et al.* Influence of unicellular protein on gluten-free bread characteristics [J]. *European Food Research and Technology*, 2010, 231(2): 171-179
- [16] Liener I E. Nutritional aspects of soy protein product [J]. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2006, 5: 470-484
- [17] Anderson J W, Baird P, Davis Jr R H, *et al.* Health benefits of dietary fiber [J]. *Nutrition Reviews*, 2009, 67(4): 188-205
- [18] Treadway R H. Composition of flour from the 1948 potato crop [J]. 1950
- [19] Eun-Jung Kim, Hyun-Seok Kim. Influence of pectinase treatment on the physicochemical properties of potato flours [J]. *Food Chemistry*, 2015(167): 425-432
- [20] 冯世德,孙太凡.玉米粉对小麦面团和馒头质构特性的影响 [J]. *食品科学*, 2013, 34(1): 101-104  
FENG Shi-de, SUN Tai-fan. Effect of corn flour on textural properties of wheat dough and Chinese steamed bread [J]. *Food Science*, 2013, 34(1): 101-104
- [21] Pollard N J, Stoddard F L, Popineau Y, *et al.* Lupin flours as additives: dough mixing, breadmaking, emulsifying, and foaming [J]. *Cereal chemistry*, 2002, 79(5): 662-669
- [22] Goesaert H, Brijs K, Veraverbeke W S, *et al.* Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2005, 16(1): 12-30
- [23] Gan Z, Ellis P R, Schofield J D. Gas cell stabilisation and gas retention in wheat bread dough [J]. *Journal of Cereal Science*, 1995, 21(3): 215-230
- [24] 王春香,薛惠岚,张国权.马铃薯全粉—小麦粉混粉流变学特性的试验研究[J].*粮食与饲料工业*, 2004, 10: 34-35  
WANG Chun-xiang, XUE Hui-lan, ZHANG Guo-quan. Experimental study on the rheological properties of the mixed potato and wheat flour [J]. *Cereal & Feed Industry*, 2004, 10: 34-35
- [25] Han H M, Cho J H, Kang H W, *et al.* Rice varieties in relation to rice bread quality [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92(7): 1462-1467
- [26] Turnbull C M, Baxter A L, Johnson S K. Water-binding capacity and viscosity of Australian sweet lupin kernel fibre under in vitro conditions simulating the human upper gastrointestinal tract [J]. *International journal of food sciences and nutrition*, 2005, 56(2): 87-94
- [27] Scanlon M G, Zghal M C. Bread properties and crumb structure [J]. *Food Research International*, 2001, 34(10): 841-864
- [28] Mohamed A A, Rayas-Duarte P, Shogren R L, *et al.* Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality [J]. *Food chemistry*, 2006, 99(4): 686-692
- [29] Nilufer-Erdil D, Serventi L, Boyacioglu D, *et al.* Effect of soy milk powder addition on staling of soy bread [J]. *Food Chemistry*, 2012, 131(4): 1132-1139