

# 板栗全粉-小麦混合粉面团的流变特性

施建斌, 隋勇, 蔡沙, 何建军, 熊添, 范传会, 陈学玲, 家志文, 王少华, 蔡芳, 梅新\*

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

**摘要:** 以板栗加工残次品为原料通过不同干燥方式制备板栗全粉, 对板栗全粉物化特性、板栗全粉-小麦粉面团流变特性进行了研究。结果表明, 通过自然干燥的板栗全粉(ZR)糊化度超过50%, 熟化处理后的板栗全粉SH-20糊化度高达70.69%, 而板栗生全粉糊化度仅为3.28%; 随板栗生全粉添加量的增加, 面团吸水率和回生值下降、弱化度增加, 在添加量30%时分别为50%、0.65 N·m和0.81 N·m, 而形成时间、稳定时间、糊化特性和糊化稳定性呈先减小后增加的趋势; 随着糊化板栗全粉添加量的增加面团的吸水率增加, 而稳定时间、糊化特性、糊化稳定性、弱化度和回生值降低; 添加ZR和SH-20面团的形成时间呈小幅上升趋势, 而添加其他几种糊化板栗面团形成时间呈先小幅增加后大幅下降的趋势。面团的剖面分析表明添加板栗生全粉主要降低了吸水率、混合和面筋指数; 而添加糊化板栗全粉提高吸水率和面筋指数。总之, 生板栗全粉和糊化板栗全粉对面团的特性影响不同, 这将为板栗残次品的加工和综合利用提供重要理论依据。

**关键词:** 板栗全粉; 糊化度; 面团; 流变特性

文章篇号: 1673-9078(2021)09-162-168

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.9.0015

## Rheological Properties of Whole Chestnut Powder-Wheat Flour Doughs

SHI Jian-bin, SUI Yong, CAI Sha, HE Jian-jun, XIONG Tian, FAN Chuan-hui, CHEN Xue-ling, JIA Zhi-wen, WANG Shao-hua, CAI Fang, MEI Xin\*

(Institute of Agro-Product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** The whole chestnut powder was produced by different drying methods using defective and secondary products of chestnut processing as the raw materials. The physicochemical properties of the whole chestnut powder and rheological properties of the whole chestnut powder-wheat flour dough were investigated. The results showed that the degree of gelatinization of the obtained whole chestnut powder is over 50%, and the degree of gelatinization of the cooked chestnut powder was as high as 70.69%, whilst the degree of gelatinization of raw chestnut powder was only 3.28%. With an increase in the addition amount of the raw chestnut powder, the water absorption rate and setback value decreased, and the degree of softening increased, which were 50%, 0.65 N·m and 0.81 N·m, respectively when the addition amount was 30%. However, the development time, stabilization time, pasting properties, paste stability decrease first and then increased. The water absorption rate increased, but the stabilization time, pasting properties, paste stability, degree of softening, and setback value decreased as the addition amount of cooked chestnut powder increased. The development time showed a slight upward trend with the addition of ZR and SH-20, whilst development time of dough with other gelatinized chestnut powders showed a small increase and then a sharp decrease. Cross-section analysis of doughs indicated that the addition of raw chestnut powder mainly reduced water absorption rate and mixing and gluten indices. The water absorption rate and gluten index were increased after the addition of gelatinized chestnut powder. In short, raw whole chestnut powder and gelatinized whole chestnut powder had different effects on the characteristics of resulting doughs, which will provide a vital theoretical basis for the processing and comprehensive utilization of defective and secondary chestnut products.

引文格式:

施建斌,隋勇,蔡沙,等.板栗全粉-小麦混合粉面团的流变特性[J].现代食品科技,2021,37(9):162-168,+312

SHI Jian-bin, SUI Yong, CAI Sha, et al. Rheological properties of whole chestnut powder-wheat flour doughs [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(9): 162-168, +312

收稿日期: 2021-01-06

基金项目: 湖北省重点研发计划项目(2020BBB064)

作者简介: 施建斌(1984-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 粮食加工及副产物加工利用, E-mail: shijianbin1022@126.com

通讯作者: 梅新(1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 粮食加工及副产物加工利用, E-mail: 112076404@qq.com

**Key words:** whole chestnut powder, degree of gelatinization, dough, rheological properties

板栗在中国已经有三千年的种植历史,在我国大部分的省市都有种植,具有很高的经济价值,是很多地方实现脱贫致富有力推手<sup>[1]</sup>。根据世界粮农组织的数据,2019年中国板栗种植面积约为 $3.3 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,产量约为 $1.85 \times 10^6 \text{ t}$ ,种植面积和产量分别占到全球的55.9%和80.1%。我国板栗品种有300个以上,可分为两大区域,一种为长江流域的菜食板栗,其果形较大,含糖量少;另一种为北方板栗,果形相对较小,含糖量高,是糖炒板栗的主要原料。在漫长的栽培过程中形成的板栗优良品种有:迁西明栗、山东红栗、郟城大油栗、河南确山红油栗、信田香板栗、陕西长安明拣栗、镇安大板栗等<sup>[2]</sup>。也形成了具有地方特色的地理标志产品,如集安板栗、罗田板栗、邳州板栗、确山板栗、神农架板栗等。鲜板栗一般含水量为30~70 g/100 g(湿基),板栗仁中约含有淀粉50~70 g/100 g(干基,下同),其中支链淀粉51~71 g/100 g,直链淀粉2.5~19 g/100 g,有研究发现板栗中抗性淀粉占总淀粉近70%,因此其在预防结肠癌、控制体重、调节血糖平衡、促进矿物质吸收、降低胆固醇等方面与膳食纤维具有相同功效<sup>[3]</sup>。此外板栗还含有5~12 g/100 g蛋白质、2~4 g/100 g脂肪、5~30 g/100 g还原糖、4~10 g/100 g膳食纤维,热值约为400 kcal/100 g<sup>[4,5]</sup>。除了这些主要的成分外,板栗还含有胡萝卜素、维生素A、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、C及钙、磷、钾等矿物质<sup>[6]</sup>。

我国板栗以鲜食为主,加工转化率为20%~30%,精深加工比例较少。板栗作为一种季节性作物,成熟时间相对集中,通过鲜食很难及时消化集中上市的新鲜板栗。现阶段板栗的加工主要为初级加工为主,板栗通过脱壳、热水漂烫、包装等工艺实现长时间的保存。在加工过程中,果粒不完整、通过剔除虫眼的板栗仁成为残次品,不能用于销售,长期积压库房,造成资源闲置和生产成本的提高。而通过干燥将板栗残次品制备成为板栗全粉可实现长时间保存和同时降低成本。板栗全粉可用于主食、烘焙食品的制备,弥补传统产品营养单一的缺点,现阶段通过板栗全粉制备的产品主要有板栗油饮料、膨化板栗饼、板栗面包、意大利面、板栗复合脆片等<sup>[6-11]</sup>。

现阶段对于板栗全粉-小麦粉混合体系特性研究相对较少。惠更平<sup>[2]</sup>研究发现板栗全粉在添加量大于8%后,面团的流变特性开始劣变,面团的吸水率、弱化度呈上升趋势;形成时间和稳定时间明显下降。李勇等<sup>[12]</sup>发现板栗生全粉添加使面团筋力减弱、淀粉糊化被抑制、面团的黏弹性降低。Moreira等<sup>[13]</sup>研究了

食盐、蔗糖和板栗淀粉对板栗全粉面团流变特性的影响,结果表明这些添加能够改善板栗全粉较弱面团形成特性,板栗全粉适于糕点制备。然而对于加工过程中部分糊化的板栗全粉的特性及其对于面团特性的影响还不明确。因此本文将板栗残次品通过不同的处理方法制备成板栗全粉,并研究其添加对板栗全粉-小麦混合面团吸水率、形成时间、稳定时间、糊化度、糊化稳定性、弱化度和回生值等指标的影响,为板栗残次品食品化利用提供参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

板栗原料由湖北罗田板栗加工企业提供,包括加工过程中的残次品和未脱壳的生板栗;五得利小麦粉。

### 1.2 主要设备

Mixolab2 混合试验仪,法国肖邦技术公司;UV-2800 紫外分光光度计,尤尼柯(上海)仪器有限公司;FW-100 万能粉碎机,天津泰斯特仪器有限公司;其他实验室常规仪器。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 板栗处理

板栗残次品通过热风干燥(50℃)、真空冷冻干燥、自然晾干、熟化处理(沸水中漂烫5 min,20 min)后热风干燥(50℃);未脱壳的板栗通过人工去皮后自然晾干。干燥后的板栗粉碎后过80目筛网得板栗全粉,分别记为RF、ZK、ZR、SH-5、SH-20和SF。将板栗全粉添加到小麦粉中配成含有5%、10%、15%、20%、25%、30%板栗全粉的混合粉。

#### 1.3.2 板栗全粉糊化度测定

糊化度的测定参照熊易强的方法并做少许改动<sup>[14]</sup>。糊化度计算公式如下:

$$\text{糊化度}(\%) = \frac{\text{测定样品吸光度} - \text{空白吸光度}}{\text{全糊化样品吸光度} - \text{空白吸光度}} \times 100\%$$

#### 1.3.3 板栗全粉持水性

取一定量样品(g),记为W<sub>1</sub>,按1:10(W/V)比例加入蒸馏水,室温下搅拌混匀30 min,2500 r/min离心20 min,弃上清液,沉淀称重记为W<sub>2</sub>(g),持水性(water holding capacity, WHC)计算公式如下:

$$\text{WHC}(\text{g/g}) = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

### 1.3.4 板栗全粉吸水膨胀性

取一定量样品  $W$  (g) 于带刻度试管中, 记录体积为  $V_1$ , 后按 1:10 ( $W/V$ ) 比例加入蒸馏水, 充分混匀后于室温下放置 24 h, 记录体积为  $V_2$ , 吸水膨胀性 (swelling capacity, SWC) 计算公式如下:

$$SWC(\text{mL/g}) = \frac{V_2 - V_1}{W}$$

### 1.3.5 板栗全粉吸油能力

取一定量样品 (g), 记为  $W_1$ , 按 1:10 ( $W/V$ ) 比例加入食用油, 充分混匀, 室温下放置 1 h, 1500 r/min 离心 20 min, 弃上层油, 沉淀用滤纸吸去游离食用油, 残渣称重记为  $W_2$ , 吸油能力 (oil absorption capacity, OAC) 计算公式如下:

$$OAC(\text{g/g}) = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

### 1.3.6 板栗全粉-小麦混合粉的混合试验仪测定方法

试验协议为 Chopin<sup>+</sup>, 搅拌机转速为 80 r/min, 面团质量为 75 g, 水箱温度为 30 °C, 目标扭矩为 1.1±0.05 N·m。运行过程中温度设置分为三个阶段, 第一阶段 (恒温阶段), 30 °C 保持 8 min; 第二阶段 (升温阶段), 以 4 °C/min 升温到 90 °C, 并在此温度下保持 10 min; 第三阶段 (降温阶段), 以 4 °C/min 从 90 °C 降温到 50 °C, 并在此温度下保持 5 min。

### 1.3.7 数据处理

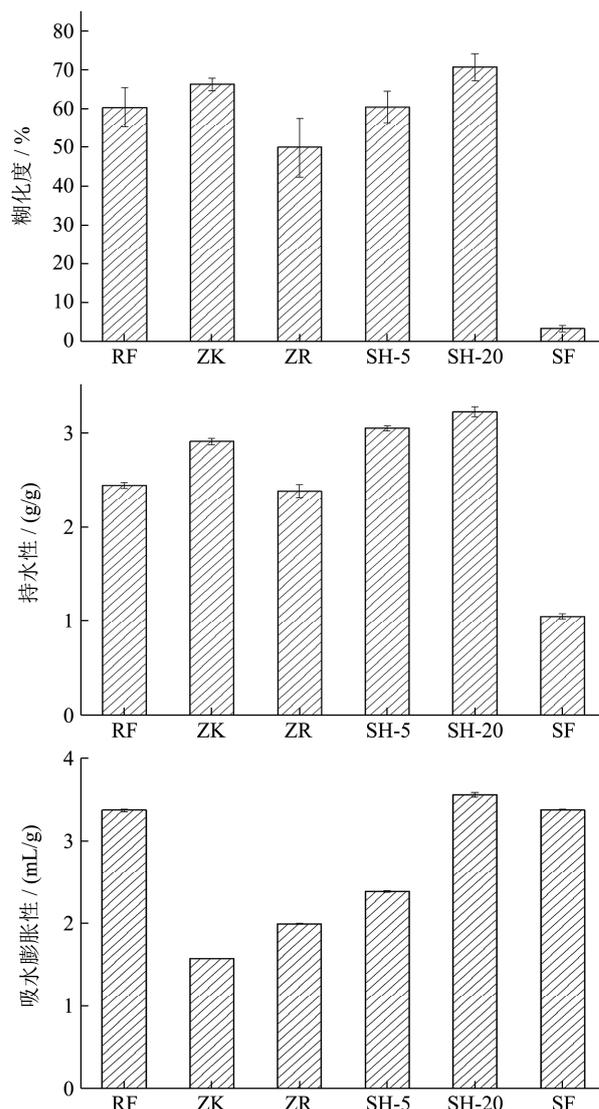
所有试验重复 3 次, 结果用  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用 Origin 2018 对所得数据进行作图处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同板栗全粉的物化特性

不同处理下板栗全粉的糊化度、持水性、吸水膨胀性和吸油能力见图 1。从图 1 中能看出来, 直接通过自然干燥的生板栗糊化度最低, 仅为 3.28%, 表明淀粉未发生糊化。而其他几个样品的糊化度超过 50%, 这说明这些板栗残次品在加工过程中就已经被糊化, 之后不论热风干燥、真空冷冻干燥还是后续漂烫处理中板栗淀粉糊化度进一步升高, 漂烫 20 min 处理后糊化度达到 70.69%。在板栗加工当中, 通过漂烫灭酶使产品能够长时间的保持较好的色泽, 有利产品的保存; 但是漂烫导致的糊化也使全粉加工特性发生了改变, 这种改变对其综合利用有重要的影响。板栗全粉的持水性变化规律与糊化度的变化规律相似, 糊化度较高的板栗全粉具有高的持水性, SH-20 的持水性最高为 3.21 g/g, SF 的持水性最低为 1.05 g/g。板栗加工过程

中淀粉发生了糊化, 淀粉微晶束解体, 分子内氢键断裂, 结构变的疏松, 更容易与水结合, 因此全粉吸水能力大大提高, 这预示其在加工当中对水分的吸附能力较强<sup>[15]</sup>, 而过高的吸水率可能会对产品的成型和口感造成不良的影响。吸水膨胀性是反映颗粒的吸水膨胀能力, RF、SH-20 和 SF 的吸水膨胀性为 3.38~3.56 mL/g, ZK 吸水膨胀性最小为 1.58 mL/g。通过真空冷冻干燥得到的板栗全粉吸油能力最强, 为 1.70 g/g; 未糊化的板栗全粉吸油能力次之, 为 1.36 g/g; 糊化度最高的 SH-20 吸油能力最小, 为 0.90 g/g。真空冷冻干燥制备的板栗全粉具有更大的微孔, 从而能吸附更多的油<sup>[16]</sup>; 此外, 糊化使得淀粉颗粒结构更加紧密, 也使蛋白质结构发生变性, 不利于油的浸入; 而未糊化的板栗全粉, 其淀粉和蛋白质都未发生糊化和变性, 有利于油脂的侵入<sup>[2]</sup>。周葵等<sup>[17]</sup>在研究蒸煮、微波、烘烤下板栗全粉持水性和吸油能力中也发现随着熟化时间的增加持水性显著增加, 而吸油能加显著降低。



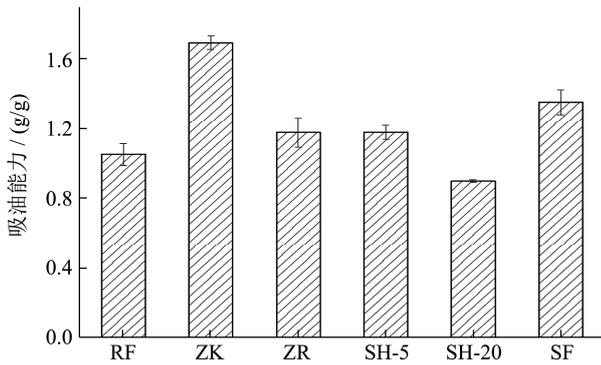


图1 不同板栗全粉糊化度、吸水性、吸水膨胀性和吸油能力  
Fig.1 Gelatinization degree, WHC, SWC and OAC of chestnut powders

### 2.2 添加不同比例板栗全粉面团的吸水率

不同比例板栗全粉对板栗全粉-小麦混合粉面团的吸水率的影响见图2。从图2中能看出来,随着SF添加量的增加混合粉面团的吸水率逐渐下降,从未添加时57.8%减低到添加量为30%时的50%。而随着糊化板栗全粉添加量的增加,面团吸水率逐步增加,在添加量为30%时最高为83.0%,这表明了板栗生全粉和熟全粉对面团吸水率的影响不同。添加糊化板栗全粉导致面团吸水率增加是因为糊化后的板栗粉具有更高的吸水能力,这与板栗持水性结果一致。惠更平在研究生、熟板栗全粉面团粉质特性中发现,在面包粉中添加1%~8%生、熟板栗全粉,随着添加量的增加吸水率都呈增加的趋势<sup>[2]</sup>。而李勇<sup>[12]</sup>研究发现,随着板栗生全粉的添加面团的吸水率先稍增加,之后在添加量为10%后开始下降。这种差异性主要由于板栗粉的组成和特性造成的,如板栗全粉中膳食纤维、多糖和蛋白质的含量,淀粉的糊化程度等<sup>[18,19]</sup>。

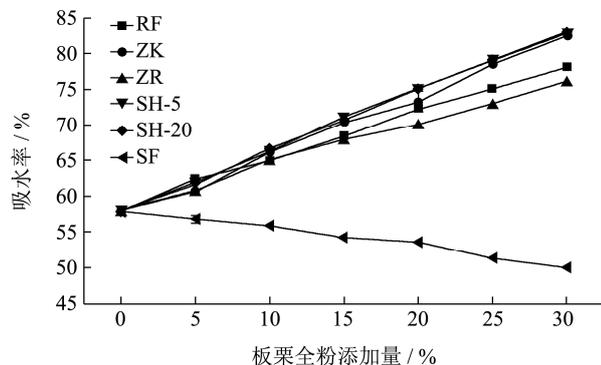


图2 添加不同比例板栗全粉面团的吸水率

Fig.2 Water absorption of wheat dough with different chestnut powder addition

### 2.3 添加不同比例板栗全粉面团的形成时间

### 和稳定时间

面团的形成时间是指面团在形成过程中达到目标扭矩最大值所需时间,形成时间越长表示面粉筋力越强;面团的稳定时间表示蛋白网络结构在机械力和热的作用下自身能维持一定强度的时间,稳定时间越长表示面团耐揉性越强。不同比例板栗全粉对板栗全粉-小麦混合粉面团形成时间和稳定时间的影响见图3。

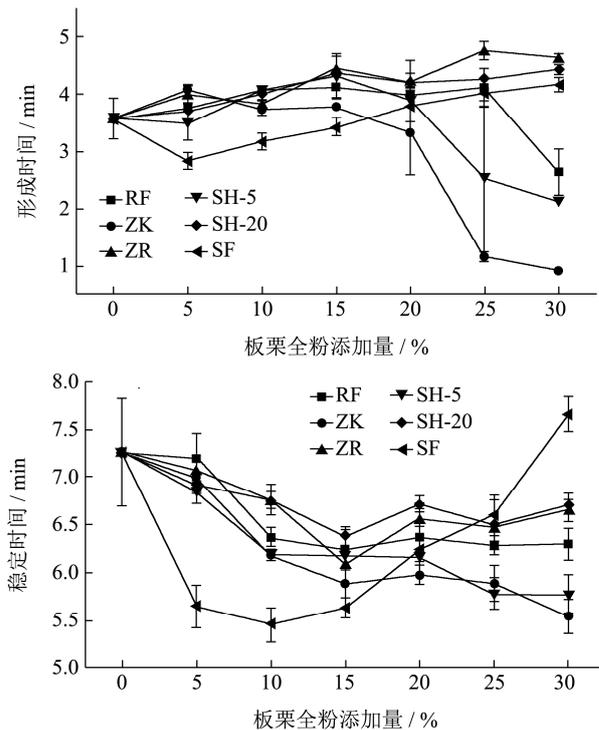


图3 添加不同比例板栗全粉面团的形成时间和稳定时间

Fig.3 Development time and stability time of wheat dough with different chestnut powder addition

从图3中能看出来,添加板栗生全粉面团的形成时间和稳定时间都随添加量的增加先减小后增加,在添加量为5%形成时间最短为2.82 min,在添加量为10%时稳定时间最短为5.45 min,之后在添加量为30%时形成时间和稳定时间达到最高,分别为4.16 min和7.65 min。在添加ZR和SH-20的面团中,随着添加量的增加形成时间缓慢增加;而在其余几种板栗全粉的面团中,形成时间随着板栗全粉添加量的增加先小幅增加之后快速下降,添加30% ZK的混合粉的形成时间最低仅为0.91 min。添加糊化板栗全粉面团的稳定时间总体呈下降趋势,添加30% ZK的混合粉的形成时间最低,仅为5.5 min。糊化后的板栗全粉具有很高的吸水性,能够快速地从混合粉体系中吸去水分,导致面粉颗粒不能够完全润湿,面筋蛋白不能形成连续网络结构,面团形成时间增加;但是同时板栗全粉的

添加降低了混合粉中面筋蛋白的含量, 面筋蛋白被大量稀释, 面筋网络结构被破坏, 使面团在机械力和热作用下强度变差, 稳定时间降低<sup>[18,20]</sup>。板栗生全粉相对小麦粉具有更低的吸水率<sup>[12]</sup>, 少量的板栗生全粉与小麦粉相互作用较小, 小麦粉能够从体系中获取更多的水分, 形成时间和稳定时间都相对较短; 但是随着添加量的增加, 面筋蛋白多肽和生板栗中的淀粉和蛋白通过各种化学键或非化学键形成更加稳定的结构, 提高面团的形成时间和稳定时间。

### 2.4 添加不同比例板栗全粉面团的糊化特性和糊化稳定

糊化特性用面团在加热过程中最高扭矩和最低扭矩之差表示, 数值越大表示面团糊化特性越强; 糊化稳定性表示扭矩在加热过程中的衰减值, 数值越小热稳定性越强。不同比例板栗全粉对板栗全粉-小麦混合粉面团的糊化特性和糊化稳定性的影响见图 4。

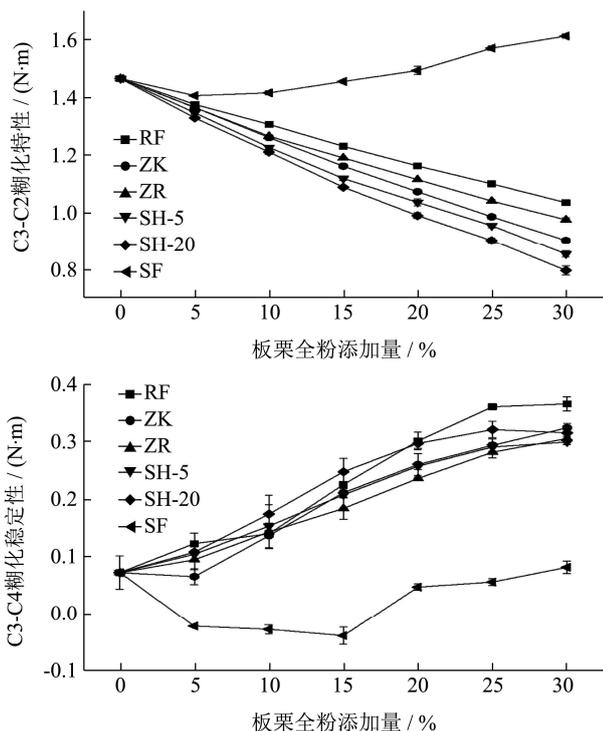


图 4 添加不同比例板栗全粉面团的糊化特性和糊化稳定  
Fig.4 Pasting properties and pasting stability of wheat dough with different chestnut powder addition

从图 4 可知, 板栗生全粉添加量为 5%时, 糊化特性扭矩为 1.40 N·m, 与未添加的相比有少许降低; 之后随着添加量的增加糊化特性扭矩增加, 在添加量为 30%时达到最大, 为 1.62 N·m; 随着板栗生全粉添加量的增加糊化稳定性扭矩先减小后增加, 在添加量为 15%时最低, 为 0.04 N·m; 之后随着添加量的增加糊化稳定性的

扭矩增加, 添加量为 30%时为 0.08 N·m, 随着板栗生全粉的添加面团糊化稳定性先增加后减小。而添加糊化板栗全粉后, 糊化特性和糊化稳定性都随着添加量的增加而降低, SH-20 添加量为 30%时糊化特性扭矩为 0.80 N·m, 而 FR 添加量为 30%时糊化稳定性扭矩为 0.37 N·m。李勇等<sup>[12]</sup>发现随着生板栗添加峰值黏度、最低黏度、衰减值都呈下降趋势, 主要是由于非淀粉多糖竞争结合水分, 有碍淀粉的吸水膨胀, 降低粘度和稳定性。

### 2.5 添加不同比例板栗全粉面团的弱化度和回生值

弱化度是面筋蛋白网络结构在揉面过程中对其结构破坏程度, 弱化度越大、面筋越差; 而回生值表示淀粉回生老化和凝胶性, 数值越小表示混合粉不容易发生回生。不同比例板栗全粉对板栗全粉-小麦混合粉面团的弱化度和回生值的影响见图 5。

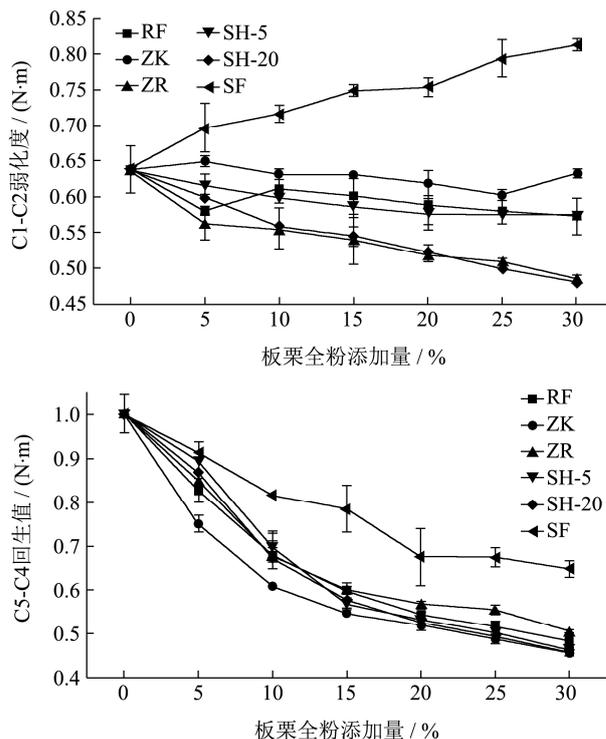


图 5 添加不同比例板栗全粉面团的弱化度和回生值  
Fig.5 Degree of softening and setback of wheat dough with different chestnut powder addition

从图 5 中能看出随着板栗生全粉添加量从 0%增加到 30%, 弱化度扭矩从 0.64 N·m 增加到 0.81 N·m, 面团的弱化度增加, 面筋强度减弱。然而添加糊化板栗全粉后, 面团的弱化度随着添加量的增加呈总体呈下降趋势, 说明糊化后的板栗全粉能够改善面团面筋网络结构。然而, 不同糊化度的板栗全粉对弱化度的影响不同。添加 ZK 的面团在添加量 5%时弱化度扭矩

为 0.65 N·m, 添加量 25% 时弱化度扭矩最小, 为 0.64 N·m; 然而添加 SH-20 的面团在添加量为 30% 时, 弱化度扭矩从未添加时的 0.64 N·m 减低到 0.48 N·m。板栗生全粉的添加降低了面团的吸水率, 面团在机械和加热作用下网络结构更加容易被破坏; 而糊化板栗全粉能够与面粉形成一个更加牢固的面筋的网络, 这与全粉糊化度和组成都有很大相关性。

此外, 从图 5 中能看出来随着板栗全粉添加面团的回生值都呈下降趋势; 相同添加量下糊化板栗全粉更加能抑制面团的回生, 如添加 30% 时, SF 回生值扭矩为 0.65 N·m, 而 SH-20 回生值扭矩为 0.46 N·m。回生值的下降说明板栗全粉的添加能抑制面团的回生, 提高货架期, 这主要是板栗淀粉相对小麦粉具有更低回生值, 而已糊化的板栗全粉比板栗生全粉更难回生。

### 2.6 添加不同比例板栗全粉面团的指数剖面分析

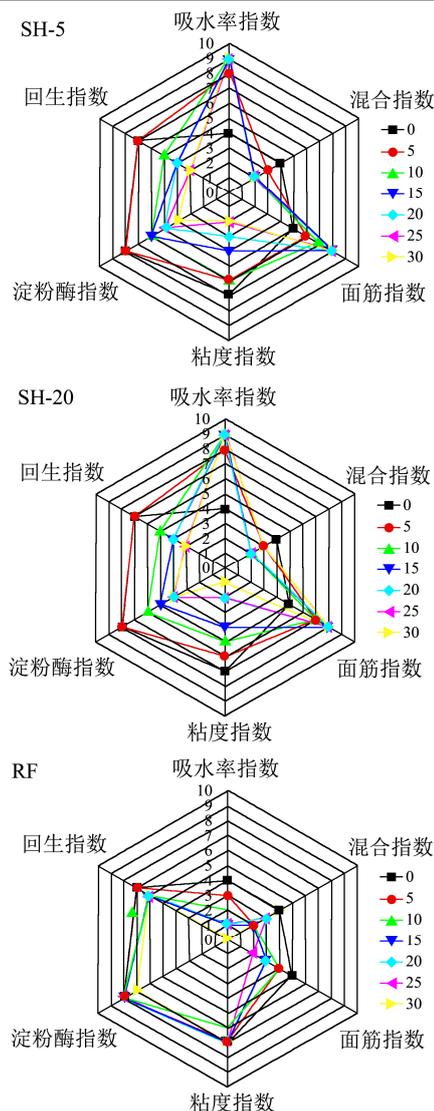
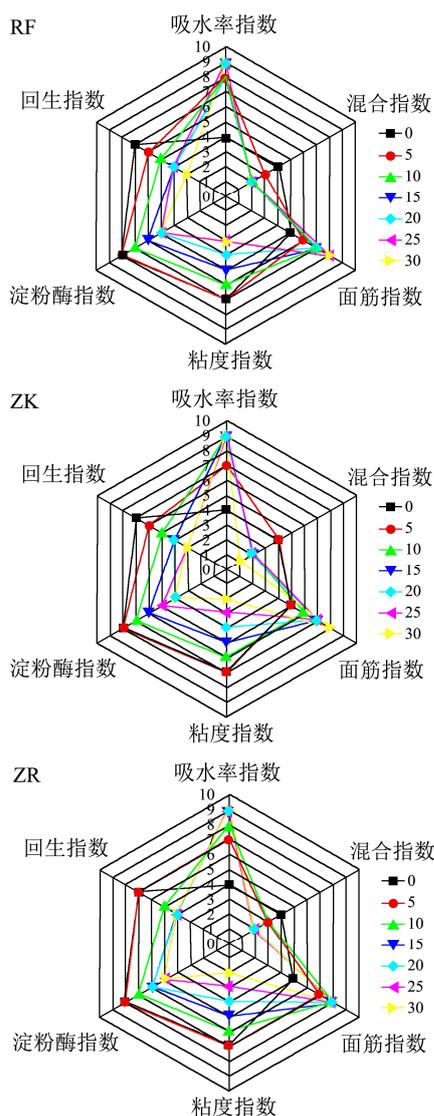


图 6 添加不同比例板栗全粉面团的指数剖面图  
Fig.6 Index profiles of wheat dough with different chestnut powder addition

混合试验仪针对不同用途的谷物通过吸水率、混合、面筋、粘度、淀粉酶和回生指数评价谷物面团的特性, 不同比例板栗全粉-小麦混合粉面团指数剖面图见图 6。从图 6 中能看出来, 糊化板栗全粉的添加增加了混合粉的吸水率指数 (从 4 增加到 9), 使混合粉的吸水性增加; 降低了混合指数 (从 4 减小到 1), 面团的稳定性降低; 提高了面团面筋指数 (从 4 增加到 8), 使得面筋耐热性提高; 而粘度指数、淀粉酶指数和回生指数都下降, 混合粉粘度减小、淀粉酶活性增加、产品不易回生、货架期延长。板栗生全粉添加量从 0% 增加到 30%, 吸水率指数从 4 降低到 0, 面筋指数从 5 降低到 0; 而粘度指数、淀粉酶指数和回生指数降幅仅为 1。在混合试验仪中给出了各种用途小麦粉目标剖面图, 当混合粉的 6 个指数都在目标剖面图中, 说明其可以用于该产品的制备<sup>[21]</sup>。通过比较

当 ZK 和 ZR 添加量为 5% 时可用于面条的制备; 而当 SF 添加量为 5% 时可用于馒头制备。

### 3 结论

通过对不同方式得到的板栗全粉物化特性和流变特性进行了研究。结果表明加工处理后的板栗全粉化度超过 50%, 通过熟化处理后糊化度高达 70.69%, 不同糊化度板栗全粉在持水性、吸水膨胀性和吸油能力方面有差异。随着板栗生全粉添加量的增加, 面团的吸水率和回生值和下降、弱化度增加, 而形成时间、稳定时间、糊化度和糊化稳定呈先减小后增加的趋势; 而通过板栗加工中的残次品制备的具有不同糊化度的板栗全粉添加量的增加面团的吸水率增加, 而稳定时间、糊化特性、糊化稳定性、弱化度和回生值降低; 在添加 ZR 和 SH-20 面团的形成时间呈小幅上升趋势, 而添加其他几种糊化板栗面团中形成时间呈先小幅增加后大幅下降的趋势。糊化板栗全粉的添加增加了混合粉的吸水率, 使混合粉的吸水性增加; 降低了混合指数, 面团的稳定性降低; 提高了面团筋力指数, 使得面筋耐热性提高; 而粘度指数、淀粉酶指数和回生指数都下降, 混合粉粘度减小、淀粉酶活性增加、产品不易回生、货架期延长。而添加板栗生全粉只是降低了吸水率和面筋指数, 而粘度指数、淀粉酶指数和回生指数变化不大。

### 参考文献

- [1] Kan L, Li Q, Xie S, et al. Effect of thermal processing on the physicochemical properties of chestnut starch and textural profile of chestnut kernel [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 151: 614-623
- [2] 惠更平. 板栗粉制备性质及其应用的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2005  
HUI Geng-ping. The study on preparation and properties of chestnut powder and its application [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2005
- [3] 曹小艳, 李志, 张卿, 等. 不同板栗品种(系)抗性淀粉综合评价[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(7): 39-46  
CAO Xiao-yan, LI Zhi, ZHANG Qing, et al. Comprehensive evaluation of resistant starch in different Chinese chestnut varieties (lines) [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(7): 39-46
- [4] Yang F, Liu Q, Pan S, et al. Chemical composition and quality traits of Chinese chestnuts (*Castanea mollissima*) produced in different ecological regions [J]. Food Bioscience, 2015, 11: 33-42
- [5] Zhou D, Li L, Wu Y, et al. Salicylic acid inhibits enzymatic browning of fresh-cut Chinese chestnut (*Castanea mollissima*) by competitively inhibiting polyphenol oxidase [J]. Food Chemistry, 2015, 171: 19-25
- [6] 曾赞. 膨化板栗饼的加工工艺及品质特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011  
ZENG Yun. Study on the processing and quality properties of puffed chestnut cake [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011
- [7] 吴超平. 板栗油汁饮料加工工艺的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015  
WU Chao-ping. Research of chestnut beverage processing technology [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2015
- [8] 孔欣欣, 王莹莹. 再造型板栗复合脆片的研制[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(4): 120-126  
KONG Xin-xin, WANG Ying-ying. Study on reformed Chinese chestnut compound chip [J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2018, 54(4): 120-126
- [9] Paciulli M, Rinaldi M, Cirilini M, et al. Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: a shelf-life study [J]. LWT, 2016, 70: 88-95
- [10] Paciulli M, Rinaldi M, Cavazza A, et al. Effect of chestnut flour supplementation on physico-chemical properties and oxidative stability of gluten-free biscuits during storage [J]. LWT, 2018, 98: 451-457
- [11] Littardi P, Paciulli M, Carini E, et al. Quality evaluation of chestnut flour addition on fresh pasta [J]. LWT, 2020, 126: 109303
- [12] 李勇, 周文化, 李彦, 等. 板栗-小麦混合粉的流变学和热力学特性[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(2): 1-5  
LI Yong, ZHOU Wen-hua, LI Yan, et al. The rheological properties and thermal properties of chestnut-wheat blend [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(2): 1-5
- [13] Moreira R, Chenlo F, Torres M D. Effect of sodium chloride, sucrose and chestnut starch on rheological properties of chestnut flour doughs [J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(5): 1041-1050
- [14] 熊易强. 饲料淀粉糊化度(熟化度)的测定[J]. 饲料工业, 2000, 21(3): 30-31  
XIONG Yi-qiang. Determination of gelatinization degree (ripening degree) of feed starch [J]. Feed Industry, 2000, 21(3): 30-31

(下转第 312 页)