

# 燕麦粉添加量对马铃薯—燕麦复合面团特性的影响

Effects of oat flour content on properties of potato and oat composite dough

张 禧<sup>1</sup> 卫新雨<sup>1</sup> 张 睿<sup>2</sup> 任广跃<sup>1</sup>

ZHANG Xi<sup>1</sup> WEI Xin-yu<sup>1</sup> ZHANG Rui<sup>2</sup> REN Guang-yue<sup>1</sup>

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471000;

2. 河南科技大学园艺与植物保护学院, 河南 洛阳 471000)

(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China; 2. College of Horticulture and Plant Protection, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471000, China)

**摘要:**目的:研究添加燕麦粉对马铃薯—燕麦复合面团特性的影响,确定适宜的燕麦粉和马铃薯配比。方法:选取了 5 种不同比例的燕麦粉(15%, 20%, 25%, 30%, 35%),对燕麦—马铃薯复合面团的色差、微观结构、质构特性、流变特性、糊化特性进行测定,并进行感官评价。结果:随着燕麦粉添加量的增加,复合面团的颜色逐渐变红变暗;复合面团内部微观结构越来越紧密;硬度逐渐增加;动态频率扫描过程中不同添加量复合面团弹性模量、黏性模量先上升、后下降、再上升,损耗因子先上升后下降。复合面团的起始糊化温度、峰值糊化温度、终止糊化温度先减小再增大。感官评定显示:燕麦粉添加量在 20%~25% 范围内,总体得分均比对其他添加量的复合面团要高,更易被消费者接受。结论:制备马铃薯—燕麦复合面团时,燕麦粉适宜添加量为 20%~25%。

**关键词:**马铃薯;燕麦粉;面团特性;微观特性

**Abstract:** Objective: This study aimed to investigate the effect of adding oat flour on the characteristics of potato-oat compound dough and determine the appropriate ratio of oat flour and potato.

**Methods:** Five different ratios of oat flour (15%, 20%, 25%, 30% and 35%) were selected and the color difference, microstructure, textural properties, rheological properties and pasting properties of the oat-potato composite dough were measured and sensory evaluation was carried out. **Results:** With

**基金项目:**国家自然科学基金项目(编号:32172352);国家自然科学基金项目(编号:31972207);河南省重大专项(编号:221100110800)

**作者简介:**张禧,女,河南科技大学在读硕士研究生。

**通信作者:**任广跃(1971—),男,河南科技大学教授,博士。

E-mail: guangyueyao@163.com

**收稿日期:**2022-10-17 **改回日期:**2022-12-25

the increase of oat flour, the color of compound dough gradually changed to red and dark. The internal microstructure of the composite dough was getting closer and closer, and hardness increased gradually; in the dynamic frequency scanning process, the elastic modulus and viscosity modulus of the compound dough with different addition amounts first increased, then decreased and then increased, and the loss factor first increased and then decreased. The initial gelatinization temperature, peak gelatinization temperature and end gelatinization temperature of compound dough decreased first and then increased. The sensory evaluation showed that the overall score of oat flour was higher than that of composite dough with other added amounts in the range of 20%~25%, and it was more acceptable to consumers. **Conclusion:** The appropriate amount of oat flour to be added was between 20% and 25%.

**Keywords:** potato; oat powder; dough characteristics; micro characteristics

燕麦,又称莠麦、野麦,有皮燕麦和裸燕麦两大类<sup>[1]</sup>,皮燕麦一般分布在欧美国家,多数用于饲用,少数用于食用。中国是裸燕麦的主要生产国,多数用于食用,少量用于饲用<sup>[2]</sup>。马铃薯又称土豆、洋芋,为茄科茄属一年生草本植物<sup>[3]</sup>。马铃薯富含淀粉,且蛋白质中的赖氨酸、苏氨酸和色氨酸的含量高,正好能弥补米饭、面条、馒头氨基酸构成的缺陷。

目前,马铃薯—燕麦复合面团及其应用已多有研究。刘波等<sup>[4]</sup>将马铃薯泥、燕麦粉和小麦粉混合做成复合面团,制成饼干;董小涵等<sup>[5]</sup>研究得出,燕麦粉与土豆淀粉比例为 9:1 时,复合面团口感最佳。将燕麦和马铃薯混合食用中国西北地区早已有之,燕麦鱼(由燕麦和马铃薯

复合面团制成)就是一道当地传统面食小吃。研究拟将马铃薯泥与燕麦粉混合制成面团,对其质构、糊化、流变性质等特征进行综合研究探讨,并研究燕麦粉掺入影响复合面团质量的主要作用机制,确定马铃薯—燕麦复合面团最佳配比,为马铃薯、燕麦粉在面团的制作、应用及其制品的品质改良、生产、推广与应用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与仪器

#### 1.1.1 试验材料

燕麦粉:产自河北省张家口市;

中薯 2 号马铃薯:产自河南省洛阳市。

#### 1.1.2 仪器与设备

差示扫描量热仪:DSC823e 型,梅特勒—托利多仪器上海有限公司;

日立台式电镜:TM3000 型,日立高新技术公司;

真空冷冻干燥机:LGJ-10D 型,北京四环科学仪器厂有限公司;

质构仪:TA.XT express 型,英国 SMS 公司;

电子天平:JA-B/N 型,上海雅程仪器设备有限公司;

色差仪:Color i5 型,美国 X Rite 公司;

流变仪:DHR2 流变仪,美国 TA 仪器有限公司。

### 1.2 试验方法

1.2.1 马铃薯—燕麦复合面团的制作 马铃薯经清洗,去皮,切片,水开后放入蒸锅,蒸制 8 min,取出后捣成泥状,保温备用。分别将占复合面团总质量 15%,20%,25%,30%,35%的燕麦粉,加入上述熟土豆泥中,混合均匀后醒面 10 min。

1.2.2 马铃薯—燕麦复合面团色差的测定 参照刘波等<sup>[4]</sup>的方法,取适量 1.2.1 制备得到的复合面团,横断切开,采用色差仪观测其横断面处,每组试验重复 3 次,取平均值。

1.2.3 马铃薯—燕麦复合面团微观结构的测定 取适量 1.2.1 制备得到的面团,根据李嘉仪等<sup>[6]</sup>的方法稍作改动,经真空冷冻干燥后(湿基含水率 10%以下)。取面团中间表面平滑的小面块,利用扫描电镜进行观测。

1.2.4 马铃薯—燕麦复合面团质构特性的测定 取适量 1.2.1 制备的面团,采用 TPA 模式,选取 P36R 探头进行质构测定。测试参数根据卫萍等<sup>[7]</sup>的方法稍作改动。测前、测中、测后速度均为 1.00 mm/s,压缩率 50%,两次压缩时间间隔 5.0 s。从 TPA 试验曲线上可获取硬度、黏性、弹性、内聚性、咀嚼性 5 个参数值。

1.2.5 马铃薯—燕麦复合面团动态流变特性的测定 对各试样进行动态频率扫描,以计算试样的频率参数储能弹性模量( $G'$ )与损耗模量( $G''$ ),并计算损耗因子( $\tan\delta = G''/G'$ ),测试参数根据 Li 等<sup>[8]</sup>的方法稍作改动。扫描频率区间 0.1~10.0 Hz,平板直径 40 mm,平行板间距

1 mm,温度 25 ℃,应变 0.5%。

### 1.2.6 马铃薯—燕麦复合面团糊化特性的测定

1.2.1 制备的面团内部取样,准确称取 5 mg 的面团置于常压坩埚中,将坩埚密封,均衡后进行 DSC 测试。参数参照刁子蔚等<sup>[9]</sup>的方法稍作改动。在 100 mL/min 的氮气流量条件下,测试的温度范围从 30 ℃ 上升至 150 ℃,升温速率为 10 ℃/min。自动计算起始糊化温度( $T_0$ )、峰值糊化温度( $T_P$ )、终止糊化温度( $T_C$ )和热焓值( $\Delta H$ )。

1.2.7 马铃薯—燕麦复合面团的感官测定 马铃薯—燕麦复合面团的感官评价方法依照董小涵等<sup>[5]</sup>的方法,略加改动,主要从色泽、光滑度、气味、弹性、硬度、咀嚼性(见表 1)进行评定。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring standard

指标	总分	评分标准
色泽	15	浅褐色,颜色均匀(12~15 分);颜色较深但可接受(6~11 分);深褐色或有暗斑(0~5 分)
光滑度	10	表面光滑细腻无褶皱或凹凸点(8~10 分);表面较光滑,光泽度较低(4~7 分);表面凹凸不平,光泽度差(0~3 分)
气味	15	清香宜人无异味(12~15 分);气味不易被察觉(5~11 分);无香味或有异味(0~5 分)
弹性	20	按压后复原快,无变形(16~20 分);复原较快,变形小(12~15 分);复原性差(0~11 分)
硬度	20	软硬适中(16~20 分);稍微偏硬或偏软(12~15 分);瘫软或难以咀嚼(0~11 分)
咀嚼性	20	嚼碎时间与正常咀嚼时间接近(16~20 分);比较易嚼碎或较耐咀嚼(12~15 分);无咀嚼性或咀嚼时间过长(0~11 分)

### 1.3 数据处理

利用 Origin 2017 和 SPSS 19.0 统计软件进行数据分析,所有试样均重复 3 次,试验结果用平均值±标准偏差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同比例复合面团的色差

由表 2 可以看出,随着燕麦粉添加量的逐渐增加,复合面团的  $L^*$  值逐渐下降,即面团的颜色越来越暗;而关于  $a^*$  值,复合面团随着燕麦粉添加量的增加, $a^*$  值越来越大,且不同添加量色泽差异显著( $P < 0.05$ ),与 Krochmal-Marczak 等<sup>[10]</sup>的研究结果一致。这与燕麦粉本身的色泽和添加比例均有关系,燕麦呈褐色,加入土豆泥中,改变了复合面团的颜色。另一方面,燕麦粉在加入土豆泥的过程中发生了熟化,使得复合面团的颜色更深。

### 2.2 不同比例复合面团的微观结构

由图 1 可知,添加燕麦粉较少时,面筋网络结构疏

表 2 燕麦粉添加量对马铃薯—燕麦复合面团色差的影响<sup>†</sup>

Table 2 Effects of oat powder content on color difference of potato-oat composite dough

燕麦粉添加量/%	<i>L</i> <sup>*</sup>	<i>a</i> <sup>*</sup>	<i>b</i> <sup>*</sup>
15	71.86±0.31 <sup>a</sup>	-0.39±0.32 <sup>c</sup>	22.27±1.14
20	71.95±2.28 <sup>a</sup>	-0.46±0.23 <sup>c</sup>	21.55±1.29
25	71.20±0.86 <sup>ab</sup>	0.62±0.17 <sup>b</sup>	23.63±2.04
30	70.04±0.66 <sup>ab</sup>	2.60±0.23 <sup>a</sup>	25.08±1.96
35	68.40±0.08 <sup>b</sup>	2.88±0.15 <sup>a</sup>	25.85±1.43

<sup>†</sup> 同列字母不同表示存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

松。燕麦粉添加量为 25% 和 30% 时,复合面团的结构呈现紧密状态;燕麦粉添加量为 35% 时,面团的结构最致密,与 Gore 等<sup>[11]</sup>的研究结果一致。这可能是因为高温处理使燕麦熟化,使得燕麦膳食纤维组织结构变疏松、孔隙变大,更利于蛋白质、燕麦淀粉、土豆淀粉等颗粒进入膳食纤维的空间结构,且易被紧密包裹<sup>[12]</sup>,同时,燕麦中的淀粉颗粒和马铃薯的淀粉颗粒吸水性和膨胀性增加,高膨胀性的淀粉颗粒的体积较大,淀粉颗粒之间相互紧靠,交联性增强,致使复合面团微观结构愈发致密。

### 2.3 不同比例复合面团的质构特性

由表 3 可知,燕麦粉添加量对复合面团的硬度、弹性和内聚性有显著影响( $P < 0.05$ ),对复合面团的黏性和咀嚼性影响不显著( $P > 0.05$ )。随着燕麦粉添加量的增加,复合面团的硬度逐渐增加,这是因为面团中的水分越来越少,面团中的淀粉颗粒之间相互紧靠。在燕麦粉占比为 15% 时,复合面团的内聚性最高,添加量在 20%~35%

时,复合面团的内聚性差异不明显。

### 2.4 不同比例复合面团的流变特性

分析图 2 可知,加入不同比例燕麦粉后, $G'$  和  $G''$  呈先上升、后下降、再上升的趋势, $\tan\delta$  呈先上升后下降的趋势。随着频率的增加,复合面团的弹性模量随添加量增加逐渐增大。相同频率下,添加不同比例的燕麦粉均能不同程度地提高燕麦面团的  $G'$  和  $G''$  值,所有复合面团  $G' > G''$ ,表明复合面团为黏弹性固体,其表现出的弹性特性多于黏性特性。这可能是因为燕麦粉蛋白质含量高,随着燕麦粉含量的增加,复合面团中膳食纤维的含量也随之增加,膳食纤维和面筋蛋白会在吸水时产生竞争,膳食纤维作为面团弹性的填充材料,导致面团黏弹性增加<sup>[13]</sup>。另一方面,高温处理破坏了淀粉的天然结构,使淀粉膨胀,淀粉颗粒也随之增大,随即生成黏弹性材料<sup>[14]</sup>。马铃薯和燕麦中均含有  $\beta$ -葡聚糖,并且热烫会使  $\beta$ -葡聚糖含量增高<sup>[15]</sup>,其与淀粉分子缠结,增加了复合面团的网络架构密度,使复合面团的黏性不断增加<sup>[16]</sup>。但并不是燕麦粉添加量越大, $G'$  和  $G''$  值越大。相同频率下,各面团  $G'$  和  $G''$  值的大小顺序为:35% 添加量组  $>$  25% 添加量组  $>$  30% 添加量组  $>$  20% 添加量组  $>$  15% 添加量组。这一结果的出现可能与面团中的脂肪含量有关<sup>[17]</sup>。在所测定的范围内,黏性模量随着频率的增加先减小后增大。 $G' > G''$ ,  $\tan\delta < 1$ 。各添加量复合面团  $\tan\delta$  均在 0.15~0.32,表明复合面团流动性弱,较坚实、稳定。随着燕麦粉添加量的升高, $\tan\delta$  呈先上升后下降的趋势。

### 2.5 不同比例复合面团的糊化特性

在热特性测定过程中,复合面团中的淀粉在水中受

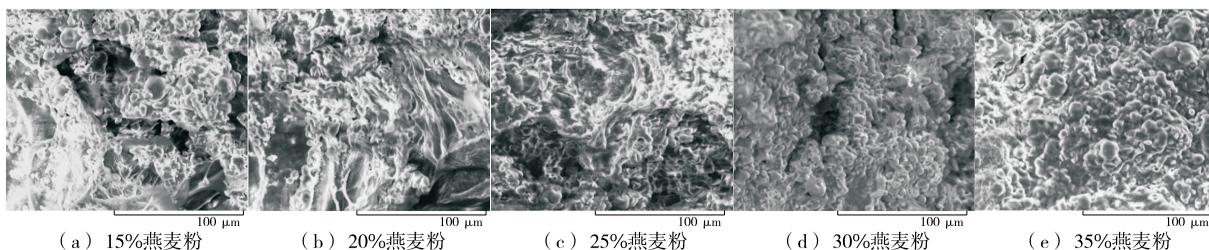


图 1 燕麦粉添加量对马铃薯—燕麦复合面团微观结构的影响

Figure 1 Effects of oat powder addition on microstructure of potato-oat composite dough

表 3 燕麦粉添加量对马铃薯—燕麦复合面团质构特性的影响<sup>†</sup>

Table 3 Effects of oat flour addition on texture characteristics of potato-oat composite dough

燕麦粉添加量/%	硬度/N	黏性	弹性	内聚性	咀嚼性
15	0.92±0.10 <sup>c</sup>	-82.82±28.59	0.35±0.07 <sup>a</sup>	0.36±0.04 <sup>a</sup>	12.00±3.61
20	1.31±0.03 <sup>c</sup>	-118.30±115.50	0.24±0.04 <sup>b</sup>	0.29±0.04 <sup>b</sup>	9.66±2.68
25	2.15±0.05 <sup>b</sup>	-35.10±11.82	0.21±0.02 <sup>b</sup>	0.28±0.02 <sup>b</sup>	13.60±1.85
30	2.29±0.24 <sup>b</sup>	-74.92±42.53	0.24±0.05 <sup>b</sup>	0.29±0.04 <sup>b</sup>	17.00±6.95
35	6.75±0.57 <sup>a</sup>	-150.26±83.70	0.21±0.00 <sup>b</sup>	0.27±0.01 <sup>b</sup>	26.14±22.88

<sup>†</sup> 同列字母不同表示存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

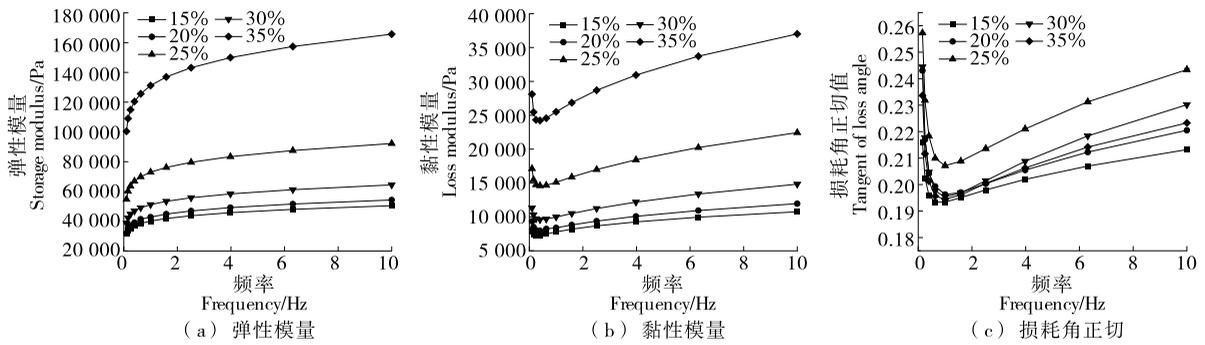


图 2 燕麦粉添加量对马铃薯燕麦复合面团  $G'$ 、 $G''$ 、 $\tan\delta$  的影响

Figure 2 Effects of oat flour addition on  $G'$ ,  $G''$  and  $\tan\delta$  of potato oat composite dough

热膨胀,使其高分子聚合物中的氢键断裂,颗粒破解后扩散,氢键断裂,结晶结构被破坏,可溶性淀粉溶出<sup>[18]</sup>。表 4 总结了通过差示扫描量热法测定的复合面团的糊化特性。由数据可以看出,燕麦粉含量对复合面团的热焓变化影响明显。随着燕麦粉含量的增加,复合面团的起始糊化温度、峰值糊化温度、终止糊化温度先减小再增大,这 3 个指标在复合面团中燕麦粉添加量为 25% 时达到最低,分别为 62.94, 81.83, 91.72 °C。而糊化温度范围和糊化焓在复合面团中燕麦粉添加量为 20% 时达到最高,分别为 34.93 °C, 185.07 J/g。在燕麦粉含量为 25%~35% 时,复合面团起始糊化温度较低,可能是因为加热能破坏氢键和结晶区分子的结构,燕麦粉添加量越多,被破坏的结构越多,导致起始糊化温度降低<sup>[19]</sup>。在添加量为 20% 时,热焓值最大,焓变值越大,表明淀粉糊化时需要吸收的热量越多。添加量为 25% 时,起始糊化温度最小,

研究<sup>[20]</sup>证明,淀粉起始糊化温度越低,食品品质越好。由此可知,为提高复合面团的热稳定性,燕麦粉添加量宜控制在 20%~25%。

### 2.6 马铃薯—燕麦复合面团的感官品质

由表 5 可知,燕麦粉添加量为 20%~25%,马铃薯—燕麦复合面团的色泽、光滑度、气味、弹性、硬度令人满意,其香味突出;在添加量为 20% 时,总分最高,综合评价最好。而燕麦粉的添加量过多或过少会使马铃薯—燕麦复合面团感官评分显著性降低,香味、色泽和咀嚼性欠佳。

## 3 结论

随着燕麦粉添加量的增加,复合面团及其产品的颜色逐渐变红变暗;复合面团微观结构也显示面团内部结构越来越紧密;质构测定显示,复合面团硬度逐渐增加;

表 4 燕麦粉添加量对马铃薯—燕麦复合面团糊化特性的影响<sup>†</sup>

Table 4 Effect of oat flour addition on gelatinization characteristics of potato-oat composite dough

燕麦粉添加量/%	起始糊化温度 $T_O/^\circ\text{C}$	峰值糊化温度 $T_P/^\circ\text{C}$	终止糊化温度 $T_C/^\circ\text{C}$	糊化温度范围 $\Delta T (T_C - T_O)/^\circ\text{C}$	热焓值 $\Delta H /(\text{J} \cdot \text{g}^{-1})$
15	78.20±0.16 <sup>a</sup>	99.70±2.93 <sup>a</sup>	110.01±5.42 <sup>a</sup>	31.80±5.25	165.55±52.80
20	72.86±4.73 <sup>ab</sup>	95.97±8.75 <sup>ab</sup>	107.79±8.37 <sup>ab</sup>	34.93±3.63	185.07±5.76
25	62.94±1.35 <sup>b</sup>	81.83±1.97 <sup>b</sup>	91.72±0.36 <sup>c</sup>	28.78±1.71	106.80±24.53
30	63.83±2.69 <sup>b</sup>	83.97±3.01 <sup>b</sup>	95.78±1.95 <sup>bc</sup>	31.95±0.74	114.34±22.95
35	68.92±6.10 <sup>ab</sup>	87.53±6.69 <sup>ab</sup>	100.38±4.14 <sup>abc</sup>	31.46±1.97	103.98±26.58

<sup>†</sup> 同列字母不同表示存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

表 5 马铃薯—燕麦复合面团的感官品质<sup>†</sup>

Table 5 Sensory evaluation of potato-oat composite dough

燕麦粉添加量/%	色泽	光滑度	气味	弹性	硬度	咀嚼性	总分
15	15	9	14	11	15	17	81.00±1.41 <sup>c</sup>
20	15	10	14	19	19	20	97.00±1.41 <sup>a</sup>
25	15	10	14	19	19	19	96.00±1.41 <sup>a</sup>
30	14	9	14	18	17	17	89.00±0.00 <sup>b</sup>
35	13	9	14	15	16	16	83.00±1.41 <sup>c</sup>

<sup>†</sup> 同列字母不同表示存在显著性差异( $P < 0.05$ )。

动态频率扫描显示,添加量越高,复合面团弹性模量、黏性模量呈先上升、后下降、再上升的趋势,损耗因子呈先上升后下降的趋势;复合面团的起始糊化温度、峰值糊化温度、终止糊化温度先减小再增大,糊化温度范围和糊化焓在燕麦粉添加量为 20% 时达到最高;感官评定显示燕麦粉添加量在 20%~25% 时复合面团的总体得分较其他添加量的高,更易被人们接受。综合分析燕麦对复合面团质构特性、流变特性、糊化特性及产品感官评价等的影响结果,燕麦粉适宜添加量为 20%~25%。该试验缺少对面团更深层次研究,例如蛋白质二级结构、分子力等,后续可探索冷冻、添加剂对复合面团品质影响。

### 参考文献

- [1] 刘翠, 巩阿娜, 刘丽, 等. 燕麦营养成分与加工制品现状研究进展[J]. 农产品加工(下), 2015(4): 67-70.  
LIU C, GONG A N, LIU L, et al. Reviewed on the nutrient and processed products of oat[J]. Farm Products Processing, 2015(4): 67-70.
- [2] 任长忠, 闫金婷, 董锐, 等. 燕麦营养成分、功能特性及其产品的研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(12): 438-446.  
REN C Z, YAN J T, DONG R, et al. Research progress on oat nutrients, functional properties and related products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(12): 438-446.
- [3] 徐超, 赵雅琦, 王清, 等. 不同贮藏期马铃薯块茎鲜切后货架品质变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(9): 208-215.  
XU C, ZHAO Y Q, WANG Q, et al. Shelf quality changes of fresh-cut potatoes during storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(9): 208-215.
- [4] 刘波, 袁利鹏, 郭亚林. 马铃薯莜麦面饼干的工艺研究[J]. 现代食品科技, 2010(1): 81-84.  
LIU B, YUAN L P, GUO Y L. Processing technology of a biscuit with potato and naked oat flour[J]. Modern Food Science and Technology, 2010(1): 81-84.
- [5] 董小涵, 周茜, 杜佳峰, 等. 莜麦山药鱼的加工工艺优化与质构分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 244-248, 283.  
DONG X H, ZHOU Q, DU J F, et al. Process technic optimization and quality analysis of naked oats potato fishes[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(19): 244-248, 283.
- [6] 李嘉仪, 谭萱宇, 邹金浩, 等. 百合粉添加量对面团特性及面包品质的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 198-203.  
LI J Y, TAN X Y, ZOU J H, et al. Effect of wheat flour substitution with lily powder on properties of dough and quality of bread[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 198-203.
- [7] 卫萍, 周葵, 王颖, 等. 木薯全粉对木薯-小麦混合粉加工特性及馒头品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 18-24.  
WEI P, ZHOU K, WANG Y, et al. Effect of whole cassava flour on processing properties of cassava-wheat composite flour and quality properties of Chinese steamed bread[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(7): 18-24.
- [8] LI M, YUE Q, LIU C, et al. Comparative study of rheology and steamed bread quality of wheat dough and gluten: Starch doughs[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(2): e15160.
- [9] 刁子蔚, 包海波, 乔翠红. 木糖醇对面团特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 95-99.  
DIAO Z W, BAO H B, QIAO C H. The influence of xylitol on dough properties[J]. Food Research and Development, 2017, 38(6): 95-99.
- [10] KROCHMAL-MARCZAK B, TOBIASZ-SALACH R, KASZUBA J. The effect of adding oat flour on the nutritional and sensory quality of wheat bread[J]. British Food Journal, 2020, 122(7): 2 329-2 339.
- [11] GORE S B, XAVIER K M, NAYAK B B, et al. Technological effect of dietary oat fiber on the quality of minced sausages prepared from Indian major carp (Labeo rohita) [J]. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 2022, 27: 100305.
- [12] 王国宇, 韩坤, 龚佳, 等. 不同熟化工艺对燕麦膳食纤维的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2015, 12(8): 32-35.  
WANG G Y, HAN K, GONG J, et al. Effects of different curing technology on oat dietary fiber[J]. Cereal & Feed Industry, 2015, 12(8): 32-35.
- [13] AHMED J, ALMUSALLAM A, AL-HOOTI S N. Isolation and characterization of insoluble date (Phoenix dactylifera L.) fibers [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50(2): 414-419.
- [14] PARKER R, RING S G. Aspects of the physical chemistry of starch[J]. Journal of Cereal Science, 2001, 34(1): 1-17.
- [15] 张燕, 胡新中, 师俊玲, 等. 熟化工艺对燕麦传统食品营养及加工品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(10): 86-91.  
ZHANG Y, HU X Z, SHI J L, et al. Effect of ripening technology on nutrition and processing quality of traditional oat food [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(10): 86-91.
- [16] MÄKELÄ N, BRINCK O, SONTAG-STROHM T. Viscosity of  $\beta$ -glucan from oat products at the intestinal phase of the gastrointestinal model[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 100: 105422.
- [17] LI Y, OBADI M, SHI J, et al. Rheological and thermal properties of oat flours and starch affected by oat lipids[J]. Journal of Cereal Science, 2021, 102: 103337.
- [18] 李娜. 糊化方式对燕麦粉性质及燕麦面包品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2020: 10-11.  
LI N. Effects of gelatinization on properties of oat flour and quality of oat bread[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2020: 10-11.
- [19] SAKONIDOU E, KARAPANTSIOS T, RAPHAELIDES S. Mass transfer limitations during starch gelatinization[J]. Carbohydrate Polymers, 2003, 53(1): 53-61.
- [20] 魏益民, 任嘉嘉, 张波, 等. 高温处理燕麦籽粒对面粉黏度特性的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(5): 299-302.  
WEI Y M, REN J J, ZHANG B, et al. Effects of high-temperature beat treatment of oat kernel on viscosity properties of oat flour[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(5): 299-302.