

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.06.011

5 种杂粮粉的粉质特性研究

Study on the farinograph properties of five kinds of coarse cereals

闫美姣^{1,2,3} 李云龙^{1,2} 何永吉^{1,2}

YAN Mei-jiao^{1,2,3} LI Yun-long^{1,2} HE Yong-ji^{1,2}

仪鑫^{1,2} 孙元琳⁴ 赵琳^{1,2}

YI Xin^{1,2} SUN Yuan-lin⁴ ZHAO Lin^{1,2}

(1. 山西省农业科学院农产品加工研究所, 山西 太原 030031; 2. 特色农产品加工山西省重点实验室, 山西 太原 030031; 3. 山西大学生命科学学院, 山西 太原 030006; 4. 运城学院生命科学系, 山西 运城 044000)

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan, Shanxi 030031, China; 2. Shanxi Key Laboratory of Characteristic Agro-Products Processing, Taiyuan, Shanxi 030031, China; 3. College of Life Sciences, Shanxi University, Taiyuan, Shanxi 030006, China; 4. College of Life Science, Yuncheng University, Yuncheng, Shanxi 044000, China)

摘要:对燕麦、青稞、苦荞、甜荞和藜麦的粉质特性进行了分析,包括破损淀粉及直链淀粉含量、粒径分布、面团流变学特性和水合特性。结果表明,苦荞粉的直链淀粉含量最高,为23.46%;燕麦和藜麦的破损淀粉含量均在20%以上;青稞的膳食纤维含量最高,为20.94%,且青稞粉的粒径最大($D_{50} = 41.12 \mu\text{m}$)。青稞和燕麦的吸水率较高,回生值低,面团韧性强,糊化时间短,易蒸煮;苦荞的吸水率较小,面团形成时间和稳定时间较长,面团结合力强,糊化时间短,淀粉糊化特性和热稳定性较好,面团黏度较高;甜荞的糊化特性和糊化热稳定性较好,但吸水能力较差,回生值高。藜麦的吸水率较低,蛋白弱化程度大,糊化时间较长,面团流变学特性较差,不适于制作面条。燕麦的持水力和溶胀性最弱,但水溶性最低,说明其制品蒸煮损失最少;苦荞的持水力和溶胀性最佳,青稞和藜麦的次之;当温度为25, 100℃时,甜荞的水溶性为5种杂粮中的最大值,预示其面制品的蒸煮损失最高。

关键词:杂粮;面条;粉质特性

Abstract: The flour properties of oats, barley, tartary buckwheat, sweet buckwheat and quinoa were analyzed, including the content of broken starch and amylose, particle size

distribution, dough rheological properties and hydration properties. The results showed that the tartary buckwheat flour had the highest amylose content of 23.46%; the broken starch content of oats and quinoa was more than 20%; the barley meal had the highest dietary fiber content of 20.94%, and the barley meal had the largest particle size ($D_{50} = 41.12 \mu\text{m}$). Highland barley and oats had higher water absorption rate, lower regeneration value, stronger dough toughness, shorter gelatinization time, and showed easier to cook; tartary buckwheat has lower water absorption rate, longer dough formation time, stronger dough binding force, shorter gelatinization, and starch had better gelatinization characteristics and thermal stability, with higher viscosity of the dough; sweet buckwheat had better gelatinization characteristics and thermal stability, while water absorption capacity was poor with high regenerative value. Quinoa had a low water absorption rate, a large degree of protein weakening, a long gelatinization time, and poor dough rheological properties, making it unsuitable for making noodles. Oat had the weakest capacities of water-holding and swelling, with the lowest water solubility, indicating that its products have the least cooking loss; tartary buckwheat has the best capacities of water-holding capacity and swelling, followed by highland barley and quinoa; when the temperature is 25 and 100℃, the water solubility of sweet buckwheat was the largest of the five kinds of miscellaneous grains, indicating that its cooking loss of noodle products was the highest.

Keywords: coarse cereal; noodle; farinograph properties

基金项目:山西省重点研发计划项目(编号:201803D221013-2); 国家现代农业产业体系建设专项(编号:CARS-07-E-2);山西省农业科学院农业科技创新研究专项(编号:YCX2019T06)

作者简介:闫美姣,女,硕士。

通信作者:李云龙(1979—),男,山西省农业科学院农产品加工研究所副研究员,硕士。E-mail:liyulong125@126.com

收稿日期:2020-04-09

中国杂粮品种丰富且是主要生产国^[1]。杂粮含有丰

富的微量元素、维生素、膳食纤维以及生物活性成分,对糖尿病、高血压、高血脂等代谢异常类慢性病有良好的预防和控制作用^[2]。青稞和燕麦的膳食纤维丰富,富含 β -葡聚糖^[3-5];燕麦和藜麦的氨基酸组成合理^[6-8];甜荞和苦荞同属蓼科荞麦属,富含黄酮类物质^[9-10],都是重要的杂粮品种。随着消费观的改变以及食品加工行业的发展,将杂粮主食化一直是人们面临的问题^[11]。面条是亚洲国家常见的传统主食,制作简单,食用方法多样,深受人们喜爱^[12]。在小麦粉中加入适量杂粮,不仅可以增加面条的营养价值,还能使面条具有独特的风味和口感。

粉质特性是谷物粉的重要加工特性之一,决定着面条的复水性、硬度、弹性、蒸煮损失以及其他特性,显著影响面条的质地和口感。研究^[13]表明,超微粉碎会产生较多的破损淀粉,膨胀度大,常温下持水力高。轻度损伤的淀粉颗粒可以改善面条质构,损伤过度则会使面条品质下降^[14]。彭国泰^[15]研究发现干法制粉得到的糙米粉具有更高的吸水指数、水溶性和膨胀势,半干法和湿法磨粉获得的糙米粉的黏度糊化温度高于干法磨粉的。半干法磨制小米粉的吸水能力好,具有较高的溶胀能力,淀粉损伤程度小,小米面条富有弹性、蒸煮损失小^[16]。

试验拟通过对5种杂粮(燕麦、青稞、苦荞、甜荞、藜麦)的基本成分、破损淀粉和直链淀粉含量、粒径分布状态、面团流变学特性和水合特性进行测定,深入了解不同杂粮粉的粉质特性,研究5种杂粮粉的面条加工适应性,为杂粮面条的发展提供依据。

1 试剂与仪器

1.1 材料与试剂

苦荞(晋荞麦5号)、甜荞(晋荞麦3号)、燕麦(白燕2号)、青稞(藏青2000)、藜麦(冀藜1号):山西省农业科学院农产品加工研究所;

膳食纤维试剂盒、 α -淀粉酶(真菌酶, ≥ 10 U/mg)、马铃薯直链淀粉、马铃薯支链淀粉:美国Sigma公司;

D-无水葡萄糖、可溶性淀粉、2-(N-吗啉代)乙烷磺酸、重铬酸钾等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

五谷杂粮磨粉机:HK-860型,广州市旭朗机械设备有限公司;

离心机:TGL20C型,湖南湘立科学仪器有限公司;
紫外分光光度计:A380型,翱艺仪器(上海)有限公司;
数显恒温振荡器:SHA-CA型,常州朗越制造有限公司;
混合实验仪:MIXOLAB2型,法国肖邦公司;
激光粒度分析仪:BT-2001型,丹东百特仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 杂粮粉的制备 将5种杂粮籽粒除杂后清洗晾干。利用脱壳机脱去苦荞和甜荞籽粒外的黑色硬壳,保

留麸皮,利用筛谷机去除藜麦表皮。将处理后的5种杂粮用五谷杂粮磨粉机磨粉后全部过80目筛,于 -4 ℃密封保存。

1.3.2 基本成分测定

- (1) 水分:按GB 5009.3—2016执行。
- (2) 总灰分:按GB 5009.4—2016执行。
- (3) 蛋白质:按GB 5009.5—2016执行。
- (4) 脂肪:按GB 5009.6—2016执行。
- (5) 淀粉:按GB 5009.9—2016执行。
- (6) 总膳食纤维:按GB 5009.88—2014执行。
- (7) 破损淀粉:按GB/T 9826.88—2008执行。
- (8) 直链淀粉:按GB/T 15683—2008执行。

1.3.3 粒径分布 取少量杂粮粉样品,使用激光粒度分析仪进行测定。

1.3.4 面团流变学特性 利用肖邦混合实验仪对5种杂粮全粉进行面团流变学特性的测定。采用Chopin+80 g程序,试验过程中观察目标扭矩C1值是否在 (1.10 ± 0.05) N·m范围内,若C1值不在,则调整预估吸水率来调节杂粮粉和水的量直至符合扭矩范围^[17]。

1.3.5 水合特性 称取0.1 g样品,加入20 mL蒸馏水,轻轻震荡至混匀,分别于25, 100℃振荡30 min, 6 000 r/min离心15 min,将上清液烘至恒重记为P,湿沉淀物质称重记为S^[18],分别按式(1)~(3)计算持水力、水溶性及溶胀性。

$$WAI = \frac{S}{D}, \quad (1)$$

$$WS = \frac{P}{D} \times 100\%, \quad (2)$$

$$SP = \frac{100 \times S}{D \times (100 - WS)}, \quad (3)$$

式中:

WAI——持水力;

S——湿沉淀物质质量,g;

D——样品干重,g;

WS——水溶性指数,%;

P——上清液干重,g;

SP——溶胀性。

1.3.6 数据处理 试验所得数据均为3次重复的平均值,结果以 $(x \pm s)$ 表示,采用IBM SPSS Statistics 24软件进行数据分析,通过Duncan多重检验进行数据间的显著性差异分析,采用Origin 9.0软件作图分析。

2 结果与分析

2.1 基本成分

由表1可知,5种杂粮粉的灰分、脂肪、膳食纤维含量均具有显著性差异($P < 0.05$),其中甜荞的灰分含量最高,为2.58%,说明甜荞的矿物质含量较高;燕麦和藜麦

表 1 不同杂粮粉营养成分[†]

Table 1 Nutrient content of different coarse cereals

| 种类 | 灰分 | 脂肪 | 蛋白质 | 淀粉 | 膳食纤维 | 破损淀粉 | 直链淀粉 |
|----|------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 燕麦 | 1.60±0.03 ^e | 9.48±0.04 ^a | 14.87±0.18 ^b | 61.17±1.46 ^c | 11.42±0.35 ^b | 24.68±0.22 ^a | 13.11±0.91 ^c |
| 青稞 | 1.96±0.02 ^c | 2.28±0.09 ^e | 12.58±0.13 ^d | 69.40±1.38 ^a | 20.94±0.79 ^a | 17.94±1.27 ^b | 11.12±0.15 ^c |
| 苦荞 | 1.75±0.01 ^d | 3.42±0.18 ^d | 12.80±0.07 ^{cd} | 70.77±0.48 ^a | 6.90±0.01 ^d | 9.12±0.73 ^d | 23.46±1.21 ^a |
| 甜荞 | 2.58±0.02 ^a | 4.48±0.08 ^c | 18.13±0.03 ^a | 64.22±1.91 ^b | 4.90±0.02 ^e | 14.35±0.35 ^c | 20.45±0.90 ^b |
| 藜麦 | 2.08±0.01 ^b | 9.38±0.06 ^b | 13.05±0.09 ^c | 63.41±0.68 ^{bc} | 8.48±0.47 ^c | 23.62±0.62 ^a | 7.62±0.68 ^d |

[†] 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

的脂肪含量显著高于其他 3 种杂粮全粉,含量分别为 9.48%,9.38%;甜荞的膳食纤维含量最低(4.90%),青稞的最高(20.94%),是甜荞的 4.3 倍。甜荞的蛋白质含量最高,为 18.13%,青稞的最低,苦荞的蛋白质含量与青稞和藜麦的差异不显著(P>0.05);5 种杂粮粉的淀粉含量为 60%~75%,其中苦荞的最高,为 70.77%。

破损淀粉是在磨粉过程中受到损伤的淀粉^[19]。当破损淀粉含量较高时,制作的面条偏软,品质较差。5 种杂粮粉中,燕麦的破损淀粉含量最高,为 24.68%,淀粉损伤严重;苦荞的破损淀粉含量最少,显著低于其他 4 种杂粮粉(P<0.05)。苦荞的直链淀粉含量显著高于其他 4 种杂粮粉(P<0.05),为 23.46%,说明苦荞的面制品比较容易老化^[20],藜麦的直链淀粉含量最少,为 7.62%,燕麦与青稞的直链淀粉含量并无显著性差异(P>0.05)。

2.2 粒径分布

粒径分布对杂粮粉的吸水率、破损淀粉含量以及感官品质影响显著,粒径越小,淀粉损伤越大,破损淀粉含量越高,杂粮粉越容易吸水^[21]。由表 2 可知,燕麦粉与藜麦粉的粒径分布无显著性差异(P>0.05),均小于其他 3 种杂粮粉,说明燕麦粉和藜麦粉粉质细腻,但所含破损淀粉含量也相对较高。青稞粉的粒径显著大于其他 4 种杂粮粉(P<0.05),且粒径分布范围较大,表明青稞粉粉质不均匀,比较粗糙。

2.3 面团流变学特性

由图 1 可知,藜麦第一阶段的扭矩明显小于其他 4 种杂粮,说明藜麦和面时的耐揉性较差,搅拌机与面团彼此

表 2 杂粮粉的粒径分布[†]

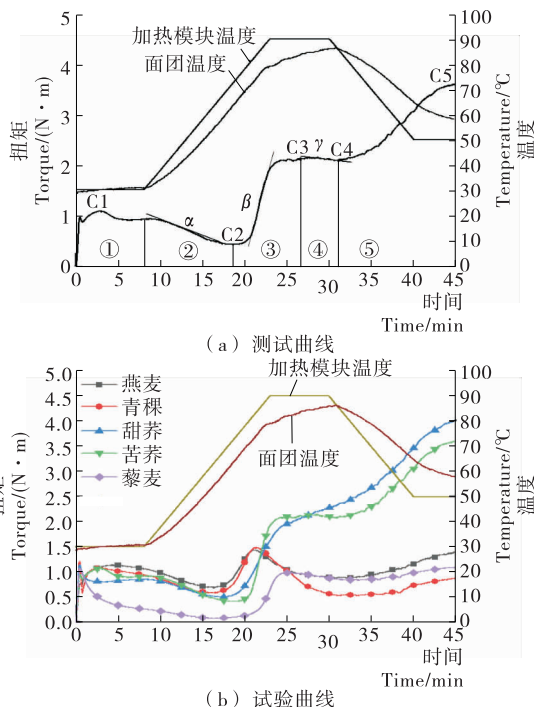
Table 2 Particle size distribution of five kinds of coarse cereals

| 种类 | D ₅₀ | 粒径范围 |
|----|-------------------------|---------------|
| 燕麦 | 15.29±0.07 ^d | 2.527~174.600 |
| 青稞 | 41.12±0.11 ^a | 3.233~265.600 |
| 苦荞 | 28.25±1.63 ^b | 2.088~152.400 |
| 甜荞 | 17.78±0.15 ^c | 2.330~139.900 |
| 藜麦 | 13.98±0.36 ^d | 0.935~187.900 |

[†] 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

之间的剪切力较小,面团容易稀化。燕麦、青稞、苦荞和甜荞的曲线前期较类似,但从 C2 开始,曲线出现差异,燕麦和青稞的糊化温度和糊化时间均小于苦荞和甜荞的,说明燕麦和青稞相对容易糊化,但扭矩值下降较快,表明燕麦和青稞中淀粉酶的活性较强。苦荞和甜荞的面团扭矩持续升高,C3 值明显高于燕麦和青稞的,说明苦荞和甜荞经糊化后面团的硬度和胶黏性较强,但当温度下降后,其终点值较高,说明苦荞和甜荞比较容易回生。

通过测定 5 种杂粮粉中的膳食纤维发现,杂粮粉的吸水率随膳食纤维含量的增加而升高。由表 3 可知,甜荞的吸水率最低,为 51.00%,青稞的最高,达 95.50%,燕



C1. 揉混面团时扭矩最大值,可表示吸水率;C2. 蛋白质的弱化程度;C3. 糊化黏度最大值,可表示淀粉的糊化特性;C4. 淀粉糊化热稳定性;C5. 淀粉的回生特性;α. 加热过程中蛋白的弱化速度;β. 加热过程中淀粉的糊化速度;γ. 加热过程中酶的降解速度

图 1 杂粮粉的 Mixolab 曲线

Figure 1 Mixolab curve of different coarse cereals

麦的吸水率也较高,是因为青稞和燕麦中富含膳食纤维,容易吸水。燕麦的C1时间和稳定时间显著高于其他4种杂粮粉($P<0.05$),分别为4.45,8.20 min,说明燕麦的面团耐揉性最好。甜荞和藜麦的C1时间和稳定时间最短,且均 <2 min,说明甜荞和藜麦所形成的面团耐揉性较差。

C2为蛋白弱化度,C2越小,说明蛋白弱化程度越大。由表3可知,5种杂粮粉的蛋白弱化度差异显著($P<0.05$),但蛋白弱化速度并无显著性差异($P>0.05$),其中藜麦的弱化度最小,仅为 $0.09\text{ N}\cdot\text{m}$,明显低于其他4种杂粮粉,说明藜麦的蛋白弱化程度最大,和成面团后容易产生稀化反应,使面团黏度降低。藜麦的糊化时间最长,明显高于燕麦和青稞,但与苦荞和甜荞的糊化时间无明显差异($P>0.05$),说明藜麦、苦荞、甜荞的蒸煮时间相近,且高于燕麦和青稞。

由表3还可知,苦荞和甜荞的糊化特性明显高于燕麦、青稞和藜麦,其中苦荞的糊化特性最强,且糊化速度最快,说明苦荞面团的黏度最大,组织黏连性最好。5种杂粮粉的糊化热稳定性差异显著($P<0.05$),其中青稞的淀粉热稳定性最低,说明加热时青稞中的淀粉酶还具有较高活性,使淀粉降解,出现扭矩降低的现象。而甜荞的C3-C4出现负值,可能是样品储存时间较长,且糊化温

度较高,淀粉酶失活,无法水解淀粉,出现黏度上升的现象。5种杂粮中,甜荞最容易回生,青稞与燕麦、藜麦的回生特性无显著差异($P>0.05$)。

综上,青稞和燕麦的吸水率较高,面团形成时间和稳定时间长,且糊化时间短,回生值较低,容易蒸煮。苦荞的吸水率适中,面团形成时间和稳定时间较长,面团结合力较强,且糊化时间较短,淀粉糊化特性和淀粉糊化热稳定性最强,不容易崩解。甜荞的吸水率最低,容易回生,但甜荞的淀粉糊化特性和热稳定特性较好。藜麦的面团形成时间和稳定时间较短,糊化时间长,其面团扭矩也明显低于其他4种杂粮粉,说明藜麦的蛋白弱化程度大,面团结合力较弱,和成面团后容易产生稀化反应,不适合制作面条。

2.4 水合特性

由表4可知,燕麦的水溶性、持水力及溶胀性在25,100℃时都低于其他3种杂粮。当温度为100℃时,4种杂粮的持水力和溶胀性均存在显著差异($P<0.05$),苦荞的持水力和溶胀性最高,表明所制作的面条越光滑^[22],口感好,甜荞和藜麦的次之。当温度为25,100℃时,甜荞的水溶性均高于其他杂粮,说明甜荞的加工产品在高温糊化后的混汤现象较严重,预示着由甜荞所制作的面条的蒸煮损失率较高。

表3 不同杂粮粉的蛋白与淀粉特性[†]

Table 3 Protein and starch characteristics of different coarse cereals

| 种类 | 吸水率/% | 稳定时间/min | C1(形成时间)/min | C2/(N·m) | α /(N·m·min ⁻¹) | C3(糊化时间)/min |
|----|-------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 燕麦 | 90.50 | 8.20±0.01 ^a | 4.45±0.39 ^a | 0.71±0.01 ^a | -0.04±0.002 ^a | 21.17±0.14 ^b |
| 青稞 | 95.50 | 7.10±0.25 ^b | 2.56±0.65 ^b | 0.60±0.01 ^b | -0.02±0.001 ^a | 21.27±0.16 ^b |
| 苦荞 | 57.90 | 4.35±0.07 ^c | 2.80±0.11 ^b | 0.42±0.01 ^c | -0.04±0.002 ^a | 24.66±0.11 ^a |
| 甜荞 | 51.00 | 0.35±0.01 ^d | 0.50±0.01 ^c | 0.51±0.01 ^d | -0.01±0.001 ^a | 25.00±0.01 ^a |
| 藜麦 | 70.00 | 0.42±0.07 ^d | 0.42±0.07 ^d | 0.09±0.01 ^e | -0.02±0.001 ^a | 25.26±0.32 ^a |

| 种类 | C3/(N·m) | C4/(N·m) | C5/(N·m) | C3-C2(淀粉糊化特性)/(N·m) | C3-C4(淀粉糊化热稳定性)/(N·m) | C5-C4(淀粉回生特性)/(N·m) |
|----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 燕麦 | 1.45±0.01 ^d | 0.89±0.04 ^c | 1.40±0.01 ^c | 0.75±0.01 ^d | 0.57±0.04 ^b | 0.51±0.01 ^c |
| 青稞 | 1.50±0.01 ^c | 0.55±0.01 ^d | 0.89±0.02 ^e | 0.90±0.02 ^c | 0.95±0.01 ^a | 0.34±0.02 ^{cd} |
| 苦荞 | 2.12±0.02 ^a | 2.08±0.01 ^b | 3.60±0.16 ^b | 1.70±0.02 ^a | 0.04±0.01 ^d | 1.52±0.14 ^b |
| 甜荞 | 1.98±0.02 ^b | 2.30±0.01 ^a | 4.07±0.10 ^a | 1.47±0.02 ^b | -0.32±0.02 ^e | 1.78±0.10 ^a |
| 藜麦 | 1.00±0.01 ^e | 0.85±0.02 ^c | 1.10±0.01 ^d | 0.91±0.01 ^c | 0.15±0.01 ^c | 0.25±0.01 ^d |

† 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表4 不同杂粮粉的水合特性[†]

Table 4 Hydration characteristics of different coarse cereals

| 种类 | 水溶性 WS/% | | 持水力 WAI | | 溶胀性 SP | |
|----|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| | 25℃ | 100℃ | 25℃ | 100℃ | 25℃ | 100℃ |
| 燕麦 | 9.91±0.70 ^d | 10.54±0.63 ^d | 4.01±0.18 ^a | 6.54±0.31 ^d | 4.45±0.19 ^b | 7.31±0.31 ^e |
| 青稞 | 12.46±0.89 ^c | 18.59±0.50 ^b | 5.21±0.37 ^a | 7.92±0.56 ^c | 5.71±0.67 ^a | 9.73±0.66 ^d |
| 苦荞 | 12.55±0.62 ^c | 17.87±0.36 ^b | 5.07±0.74 ^a | 11.78±0.21 ^a | 5.80±0.88 ^a | 14.35±0.29 ^a |
| 甜荞 | 17.85±0.84 ^a | 24.96±0.62 ^a | 4.32±0.35 ^a | 9.83±0.25 ^b | 5.25±0.45 ^b | 13.10±0.23 ^b |
| 藜麦 | 14.84±0.34 ^b | 15.50±0.65 ^c | 4.40±0.25 ^a | 10.10±0.65 ^b | 5.16±0.29 ^b | 11.96±0.81 ^c |

† 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

3 结论

对燕麦、青稞、苦荞、甜荞、藜麦 5 种杂粮的基本成分、粒径分布、面团流变学特性及水合特性进行了分析。结果表明,5 种杂粮粉具有不同的粉质特性,其中青稞、燕麦和苦荞的吸水率较高,面团流变学特性较好,面团稳定性好,有着良好的持水力和溶胀性,预测比较适合制作杂粮面条。后续可对其杂粮面条的加工适应性进行研究。

参考文献

[1] 贾立东. 杂粮食品的开发应用[J]. 食品安全导刊, 2019(3): 145-146.

[2] 吴朝霞, 丁霞. 杂粮的营养价值与杂粮保健食品的开发和应用[J]. 杂粮作物, 2001, 21(5): 48-50.

[3] 罗静, 李玉锋, 胥霞. 青稞中的活性物质及功能研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(9): 300-304.

[4] KIHARA M, OKADA Y, LIMURE T, et al. Accumulation and degradation of two functional constituents, GABA and β -glucan, and their varietal differences in germinated barley grains[J]. *Breeding Science*, 2007, 57(2): 85-89.

[5] 张培培. 燕麦 β -葡聚糖对大鼠肠道微环境和机体能量代谢的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2010: 2-10.

[6] 马超月. 燕麦多肽的制备及其降血脂和降血压效果研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2018: 1-2.

[7] 陈磊. 燕麦的营养功能及综合加工利用[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 236-237.

[8] 魏爱春, 杨修仕, 么杨, 等. 藜麦营养成分及生物活性研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(15): 272-276.

[9] 王世霞, 刘珊, 李笑蕊, 等. 甜荞麦与苦荞麦的营养及功能活性成分对比分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(21): 78-82.

[10] 张英强. 苦荞麦黄酮和蛋白质提取工艺的优化[D]. 西安: 西北大学, 2016: 7-11.

[11] 张成东, 杨立娜, 吴昊桐, 等. 杂粮面条和馒头的研究进

展[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(10): 212-216.

[12] 马先红, 刘景圣, 张文露, 等. 中国杂粮面条主食化的研究[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 181-184.

[13] 何财安, 张珍, 王丽静, 等. 磨粉方式对苦荞粉粉质特性及体外消化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(5): 19-25, 49.

[14] HATCHER D W, ANDERSON M J, DESJARDINS R G, et al. Effects of flour particle size and starch damage on processing and quality of white salted noodles[J]. *Cereal Chemistry*, 2002, 79(1): 64-71.

[15] 彭国泰. 磨粉方式对糙米粉性质及米线品质的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017: 8-19.

[16] 靳志强, 白变霞, 赵晋峰, 等. 半干法磨制对小米粉及面条品质特性的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 132-138.

[17] 胡秋辉, 高永欣, 杨文建, 等. 混合实验仪评价香菇粉对面团流变特性的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(10): 159-167.

[18] HEO S, LEE S M, SHIM J H, et al. Effect of dry-and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 213-217.

[19] BARRERA G N, BUSTOS M C, ITURRIAGA L, et al. Effect of damaged starch on the rheological properties of wheat starch suspensions[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 233-239.

[20] MARTIN, JOHN M, TALBERT, et al. Reduced amylose effects on bread and white salted noodle quality[J]. *Cereal Chemistry*, 2004, 81(2): 188-193.

[21] 王兴, 黄忠明, 王莉, 等. 苦荞蛋白模拟消化产物抗氧化活性及组成研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(6): 10-15.

[22] YU Jing-lin, WANG Shu-jun, WANG Jing-rong, et al. Effect of laboratory milling on properties of starches isolated from different flour millstreams of hard and soft wheat[J]. *Food Chemistry*, 2015, 172(4): 504-514.

(上接第 65 页)

[19] TREVOR A M. Marine OMEGA-3 fatty acids in the prevention of cardiovascular disease [J]. *Fitoterapia*, 2018, 126: 8-15.

[20] GUNVEEN K, DAVID C S, MANOHAR G, et al. Docosapentaenoic acid (22:5n-3): a review of its biological effects[J]. *Progress in Lipid Research*, 2011, 50(1): 28-34.

[21] GUNVEEN K, DENOVAN P B, DANIEL B. Short-term docosapentaenoic acid (22:5n-3) supplementation increases tissue docosapentaenoic acid, DHA and EPA concentrations in rats[J]. *British Journal of Nutrition*, 2010, 103(1): 32-37.

[22] FERREIDON S, PRIYATHARINI A. Novel functional food ingredients from marine sources[J]. *Current Opinion in Food*

Science, 2015, 2(4): 123-129.

[23] HU Hui, WANG Li-li, HUANG Ji-cai, et al. Pilot-plant molecular distillation of seal oil fatty acids[J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 550/551/552/553: 1 703-1 708.

[24] 曹淑兰, 关紫烽, 蔡云萍, 等. 深海鱼油、海豹油脂脂肪酸组份的分析研究[J]. 质谱学报, 1998, 20(1): 70-75.

[25] 庄海旗, 刘江琴, 钟宇, 等. 8 种天竺鲷科鱼肌肉脂肪酸组成分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.022066.

[26] THORSTEINN L, BILJANA I, GUDRUN M A, et al. Fatty acids from marine lipids: Biological activity, formulation and stability[J]. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2016, 34(8): 71-75.