

5-28-2020

## Studies on gelatinization properties of extruded rice with coarse grains

LI Zhao-zhao

*Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China*

WU Wei-guo

*Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China ; Hunan Provincial Research Center of Engineering and Technology for Fermented Food, Changsha, Hunan 410128, China*

LIAO Ru-yan

*Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China ; Hunan Provincial Research Center of Engineering and Technology for Fermented Food, Changsha, Hunan 410128, China*

*See next page for additional authors*

Follow this and additional works at: <https://www.ifoodmm.cn/journal>



Part of the [Food Science Commons](#)

---

### Recommended Citation

Zhao-zhao, LI; Wei-guo, WU; Ru-yan, LIAO; and Biao, HE (2020) "Studies on gelatinization properties of extruded rice with coarse grains," *Food and Machinery*. Vol. 36: Iss. 5, Article 10.

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.05.010

Available at: <https://www.ifoodmm.cn/journal/vol36/iss5/10>

This Fundamental Research is brought to you for free and open access by Food and Machinery. It has been accepted for inclusion in Food and Machinery by an authorized editor of Food and Machinery.

---

## Studies on gelatinization properties of extruded rice with coarse grains

### Authors

LI Zhao-zhao, WU Wei-guo, LIAO Ru-yan, and HE Biao

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2020.05.010

# 挤压杂粮重组米糊化特性研究

## Studies on gelatinization properties of extruded rice with coarse grains

李兆钊<sup>1</sup> 吴卫国<sup>1,2</sup> 廖卢艳<sup>1,2</sup> 何彪<sup>1</sup>LI Zhao-zhao<sup>1</sup> WU Wei-guo<sup>1,2</sup> LIAO Ru-yan<sup>1,2</sup> HE Biao<sup>1</sup>

(1. 湖南农业大学, 湖南长沙 410128; 2. 湖南省发酵食品工程技术研究中心, 湖南长沙 410128)

(1. Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Hunan Provincial Research Center of Engineering and Technology for Fermented Food, Changsha, Hunan 410128, China)

**摘要:**以陈化早籼米粉为主要原料,荞麦、青稞、藜麦、鹰嘴豆、燕麦麸皮等杂粮为辅料制备挤压重组米,以RVA快速黏度分析仪为研究手段,探究不同杂粮添加物以及不同的添加量(0%,5%,10%,15%,20%,25%)对重组米糊化特性的影响。结果表明:当燕麦麸皮添加量>15%时,其与藜麦、青稞均能显著增加重组米的峰值黏度( $P<0.05$ ),小添加量的燕麦麸皮和荞麦、鹰嘴豆均会显著降低重组米峰值黏度( $P<0.05$ );添加藜麦、荞麦和青稞均会使重组米的谷值黏度显著增加( $P<0.05$ ),添加燕麦麸皮和鹰嘴豆会显著降低重组米的谷值黏度( $P<0.05$ );荞麦、青稞、藜麦及添加量>20%燕麦麸皮均能显著增加重组米的最终黏度( $P<0.05$ ),小添加量的燕麦麸皮和鹰嘴豆均能显著降低重组米的最终黏度( $P<0.05$ );燕麦麸皮、添加量>20%青稞、添加量>15%藜麦均能显著增加重组米的衰减值( $P<0.05$ ),鹰嘴豆、荞麦与小添加量的青稞和藜麦均能显著降低重组米的衰减值( $P<0.05$ )。5种杂粮均使重组米的回生值显著增加( $P<0.05$ )。

**关键词:**荞麦;青稞;藜麦;鹰嘴豆;燕麦麸皮;杂粮;挤压重组米;糊化特性

**Abstract:** In this study, extruded reconstituted rice was prepared by using extrusion processing technology, using aging early indica rice flour as the main raw material, with coarse grains such as buckwheat, barley, quinoa, chickpea, oat bran. The RVA rapid viscosity analyzer was used as the research Means to explore the effects of different coarse grains, and their different additions (0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%) on the gelatinization characteristics of recombinant rice. The results showed that when the

amount of oat bran added was greater than 15%, the oat bran and quinoa and barley could significantly increase the peak viscosity of the reconstituted rice ( $P<0.05$ ). The small amount of oat bran and buckwheat and chickpeas can significantly reduce. Peak viscosity of recombinant rice ( $P<0.05$ ); The addition of quinoa, buckwheat, and barley increased the valley viscosity of the reconstituted rice significantly ( $P<0.05$ ), and the addition of oat bran and chickpeas significantly reduced the valley viscosity of the reconstituted rice ( $P<0.05$ ); Buckwheat, barley, quinoa, and oat bran added more than 20% can significantly increase the final viscosity of the reconstituted rice ( $P<0.05$ ), and the small additions of oat bran and chickpea can significantly reduce the recombination. The final viscosity of the rice ( $P<0.05$ ); Oat bran, added more than 20% barley, added more than 15% quinoa can significantly increase the attenuation value of recombinant rice ( $P<0.05$ ). Chickpeas, buckwheat and small amounts of barley and quinoa wheat could significantly reduce the attenuation value of recombinant rice ( $P<0.05$ ). The addition of five kinds of coarse grains all significantly increased the regeneration value of recombinant rice ( $P<0.05$ ).

**Keywords:** buckwheat; highland barley; quinoa; chickpeas; oat bran; coarse grains; extruded recombinant rice; gelatinization characteristics

杂粮主要指除稻米和小麦之外的谷物、大豆和薯类的总称<sup>[1]</sup>。杂粮作为一类重要的食品原料不仅具有丰富的营养价值,同时还具有许多生理功能,经常食用杂粮可以预防热性疾病和心脑血管疾病,还有调节血糖等作用。但由于杂粮口感粗糙,适口性较差,导致人们对其接受程度不高。同时由于国家粮食储备的需要以及市场需求的不断调整,每年都会产生大量储藏时间过长、食用品质下降的陈化大米,造成资源的浪费。而现在通过有效的加工技术如挤压加工技术,可以以陈化大米粉为主料,杂粮(荞麦、燕麦麸皮、藜麦、鹰嘴豆、青稞)为辅料,进行混合复配,通过挤压成型、切割造粒得到杂粮挤压重组米,

基金项目:湖南省重点领域研发计划(编号:2019NK2131)

作者简介:李兆钊,男,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:吴卫国(1968—),男,湖南农业大学教授,博士。

E-mail: 1061051403@qq.com

收稿日期:2020-01-19

既可以改善杂粮适口性差的问题,同时可以提高低值大米如陈米、碎米的营养价值和食用价值,提高杂粮和低值大米资源的有效利用率,实现物尽其用。

近年来,挤压重组米加工技术在国内外的研究越来越多,王娴等<sup>[2]</sup>研究了菊粉、大豆多糖与燕麦麸皮等辅料添加对挤压重组米的食用品质及其消化性质的影响;祁湛瑶等<sup>[3]</sup>以大米、玉米以及常见的食用菌为原料通过挤压加工技术制备了高膳食纤维挤压重组米;田飒飒<sup>[4]</sup>进行了青稞挤压重组复配米的理化特性研究,得到了与粳米蒸煮品质相近,接近籼米质构品质的复配米;Kim等<sup>[5]</sup>通过挤压加工技术,以大米粉、玉米粉、马铃薯粉等为主要原料,制备得到营养丰富的功能性重组米;吴伟等<sup>[6]</sup>以大豆膳食纤维和碎米粉为原料,研究了大豆膳食纤维对挤压重组米的食用品质与蒸煮特性的影响;张彦军等<sup>[7]</sup>通过响应面方法分析优化了米糠重组米的挤压工艺参数,得到了营养物质丰富,质构特性与天然精白米接近的米糠重组米。目前挤压重组米领域的研究<sup>[8-9]</sup>主要集中在加工工艺、品质改良剂等对挤压重组米的品质的影响等方面,关于不同杂粮品质特性对挤压重组米的影响研究尚不多,而大米制品中的淀粉特性会很大程度影响到其加工特性与品质特性,有研究<sup>[10-11]</sup>表明不同谷物杂粮添加物如麦麸、马铃薯全粉、米糠等对大米粉的糊化特性有显著性影响,而就不同杂粮辅料添加对重组米粉的糊化特性的影响鲜有报道。

试验拟以陈化籼米粉为主要原料,荞麦、青稞、藜麦、鹰嘴豆、燕麦麸皮为辅料,经过挤压加工技术制备为挤压重组米,研究不同杂粮添加物及其添加量对挤压杂粮重组米粉糊化特性的影响规律,旨在为研发加工特性和食用品质俱佳的挤压杂粮重组米提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

早籼陈米:余亦,湖南金健米制食品有限公司;  
荞麦:黑龙江省五常市杨粉房制米厂;  
燕麦麸皮:张家口桥西区杨氏兄弟粮油加工厂;  
藜麦:晋北农家特产店;  
青稞:青海鑫宁生物科技有限公司;  
鹰嘴豆:乌鲁木齐西域之尚电子商务有限公司。

### 1.2 主要仪器设备

电子天平:AEY-200型,湘仪天平仪器设备有限公司;

快速黏度分析仪:RVA-3D型,澳大利亚Newport科学仪器公司;

双螺杆挤压膨化机:GTS75型,湖南富马科食品工程技术有限公司;

苏泊尔电饭煲:CFXB16YA3-30型,杭州苏泊尔电器

有限公司;

电热鼓风干燥箱:101-2AB型,天津市泰斯特仪器有限公司;

质构仪:TA-XT2i Plus型,英国Stable Micro Systems公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 配料设计

(1) 对照组:早籼陈米粉(过60目筛)。

(2) 试验组:在对照组的基础上,分别添加占进料干基比重为5%,10%,15%,20%,25%的荞麦粉、燕麦麸皮粉、藜麦粉、青稞粉、鹰嘴豆粉(过60目筛)。

#### 1.3.2 杂粮重组米挤压制备

原料挑选→粉碎过筛→按比例混合→喂料→挤压熟化→切割造粒→气流干燥→冷却→成品

(1) 原料预处理:原料粉碎后要求过60目筛。

(2) 原料配制与混匀:以早籼陈米粉为基础,将占进料干基不同比重的荞麦粉、燕麦麸皮粉、藜麦粉、青稞粉、鹰嘴豆粉分别添加进去进行配粉并混匀,备用。

(3) 挤压与成型:混粉在双螺杆挤压机中挤压熟化后,通过特定的模具进行切割造粒,得到具有米粒大小和形状的重组米。双螺杆挤压参数设置:喂料速率250 g/min,物料加水量26%,螺杆转速150 r/min,挤压腔体温度从进料端到出料端的各区(T2~T6)温度依次为60,140,150,70,60℃。

(4) 干燥:制备的挤压重组米刚开始在温度为45℃的流化床中初步干燥10 min,再置于烘箱中40℃烘干至重组米水分含量低于12%,取出备用。

#### 1.3.3 原料大米和杂粮的成分分析

(1) 总淀粉含量的测定:按GB 5009.9—2016中酶水解法执行。

(2) 蛋白质含量的测定:按GB 5009.5—2016中凯氏定氮法执行。

(3) 膳食纤维含量的测定:按GB 5009.88—2014执行。

1.3.4 糊化特性测定 根据文献<sup>[12]</sup>,用快速黏度仪RVA对淀粉糊化参数进行测定。各重组米粉过60目筛,测定含水率,根据样品的含水率得到样品的干基重量,固定加水量为25 mL,将样品加入RVA专用铝盒内,用搅拌器将样品搅拌均匀(淀粉悬浮液放置不能超过1 min),然后放入仪器中进行测定。采用升温/降温循环,糊化程序:50℃保持1 min,4 min内加热至95℃保温5.5 min,4 min内冷却至50℃并在50℃保持4 min。另外旋转浆在起始10 s内旋转速度为960 r/min,以后保持160 r/min至结束。

1.3.5 数据处理 采用Excel软件和SPSS 17.0统计软件进行数据处理分析,用Origin软件绘图,所有数据均为

3 次平行试验的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 杂粮成分组成

原料大米及杂粮的基本成分含量见表 1。

表 1 原料中基本组分物质含量

Table 1 Contents of basic components in of raw materials

	g/100 g		
样品	总淀粉	蛋白质	膳食纤维
原大米	76.73±0.78	8.20±0.32	1.82±0.23
燕麦麸皮	37.11±0.67	14.86±0.45	21.60±0.33
荞麦	65.49±1.43	13.57±0.76	4.38±0.98
藜麦	56.86±0.63	15.16±0.98	10.16±1.04
青稞	58.25±1.12	12.94±1.11	12.94±1.21
鹰嘴豆	39.61±0.38	26.48±1.09	16.72±0.99

### 2.2 杂粮添加量对挤压杂粮重组米峰值黏度的影响

单因素方差分析结果表明,不同的杂粮添加物的添加量对重组米的峰值黏度均具有显著性影响( $P < 0.05$ )。由图 1 可知,随着藜麦、青稞添加量的增加,重组米的峰值黏度逐渐升高;当添加量为 25% 时,藜麦重组米的峰值黏度由 718 Pa·s 增加至 883 Pa·s (增加率 23%),青稞重组米的峰值黏度由 718 Pa·s 增加至 868 Pa·s (增加率 20.9%)。添加鹰嘴豆和荞麦可以显著降低重组米峰值黏度( $P < 0.05$ );当添加量为 25% 时,鹰嘴豆重组米的峰值黏度由 718 Pa·s 降低至 440 Pa·s (降低率 38.7%),荞麦重组米的峰值黏度由 718 Pa·s 降低至 675 Pa·s (降低率 6%)。而随着燕麦麸皮添加量的增加,重组米的峰值黏度先降低后升高,当添加量为 10% 时,燕麦麸皮重组米的峰值黏度由 718 Pa·s 降低为 532 Pa·s (降低率 25.9%);当添加量为 25% 时,燕麦麸皮重组米的峰值黏度增加至 1 238 Pa·s (增加率 132.7%),较对照组的增加了 72.4%。说明添加藜麦、青稞能促进淀粉的膨胀,提高淀粉糊的黏性,提高重组米的峰值黏度,其提高程度与添加量呈正比。而添加鹰嘴豆和荞麦对淀粉的膨胀具有抑制作用,能降低淀粉糊的黏性,可能与鹰嘴豆中较高的蛋白质含量有关,蛋白质在淀粉糊化过程中能与淀粉相互作用形成复杂的网络结构,从而保护淀粉颗粒,抑制淀粉吸水膨胀,降低峰值黏度<sup>[13-14]</sup>。而小添加量的燕麦麸皮可以抑制淀粉的膨胀,降低峰值黏度,当添加量 > 15% 时将促进淀粉的膨胀,提高峰值黏度,可能是由于燕麦麸皮含有丰富的膳食纤维,少量的膳食纤维会阻碍水分子进入淀粉颗粒的无定形区域,从而抑制淀粉的膨胀,而大量的膳食纤维在挤压加工过程中能对淀粉结构起到保护作用,增加未糊化淀粉浓度,提高重组米峰值黏度。

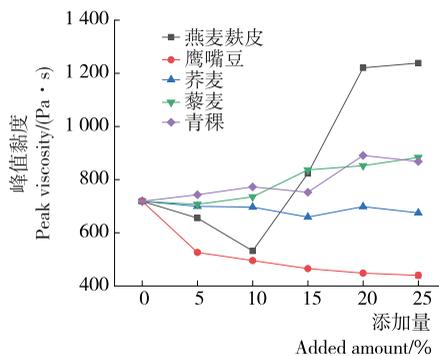


图 1 杂粮添加量对重组米峰值黏度的影响

Figure 1 Effects of different additions of coarse grains on peak viscosity of reconstituted rice

### 2.3 杂粮添加量对重组米谷值黏度的影响

由单因素方差分析结果可以发现,不同的杂粮添加物的添加量对谷值黏度的影响均具有显著差异性( $P < 0.05$ )。由图 2 可知,添加荞麦、青稞可以显著提高重组米谷值黏度( $P < 0.05$ ),且随着添加量的增加而提高;当添加量为 25% 时,荞麦重组米的谷值黏度由 243 Pa·s 增加至 268 Pa·s (增加率 10.3%),青稞重组米的谷值黏度由 243 Pa·s 增加至 301 Pa·s (增加率 23.9%)。添加鹰嘴豆可以显著降低重组米谷值黏度( $P < 0.05$ ),且与添加量呈依赖关系;当添加量为 25% 时,鹰嘴豆重组米的谷值黏度由 243 Pa·s 降低至 57 Pa·s (降低率 76.54%)。随着燕麦麸皮添加量的增加,重组米的谷值黏度呈先降低后升高的趋势;当燕麦麸皮添加量为 10% 时,重组米谷值黏度由 243 Pa·s 降低至 104 Pa·s (降低率 57.2%);当添加量为 25% 时,燕麦麸皮重组米的谷值黏度增加至 197 Pa·s (增加率 89.4%),较对照组的降低了 18.9%。随着藜麦添加量的增加,重组米的谷值黏度先升高后降低,当添加量为 5% 时,藜麦重组米的谷值黏度由 243 Pa·s 增加至 294 Pa·s (增加率 21%);当添加量为 25% 时,藜麦重组米的谷值黏度降低至 257 Pa·s (降低率 12.6%),较对照组的增加了 5.8%。说明添加荞麦、青稞会提高重组米粉的谷值黏度,提高其高温耐剪切能力,其提高程度随添加量的增大而增加。添加鹰嘴豆和燕麦麸皮均会降低重组米粉的谷值黏度,使重组米的高温耐剪切力下降,其中燕麦麸皮在添加量为 10% 时重组米粉的谷值黏度最低,当添加量 > 10% 时,开始随着添加量的增加不断增大,当添加量为 25% 时,其谷值黏度仍然显著低于对照组。藜麦添加量在 5% 时,重组米粉的高温耐剪切性最强,当添加量 > 5% 后开始随着添加量的增加而逐渐降低,添加量为 25% 时其谷值黏度依然显著高于对照组。

### 2.4 杂粮添加量对重组米最终黏度的影响

单因素方差分析结果表明,不同的杂粮添加物的添

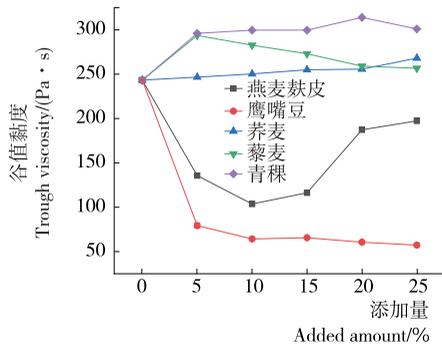


图2 杂粮添加量对重组米谷值黏度的影响

Figure 2 Effects of different additions of coarse grains on the trough viscosity of reconstituted rice

加量对最终黏度的影响均具有显著差异性 ( $P < 0.05$ )。由图3可知,添加荞麦、青稞、藜麦可以显著增加重组米最终黏度 ( $P < 0.05$ );当添加量为25%时,荞麦重组米的最终黏度由  $339 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  增加至  $416 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (增加率22.7%),青稞重组米的最终黏度由  $339 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  增加至  $437 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (增加率28.9%),藜麦重组米的最终黏度增加至  $468 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (增加率38.1%)。添加鹰嘴豆可以显著降低重组米最终黏度 ( $P < 0.05$ );当添加量为25%时,鹰嘴豆重组米的最终黏度由  $339 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  降低至  $212 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (降低率37.5%)。随着燕麦麸皮添加量的增加,重组米的最终黏度先降低后增加,当添加量为10%时,燕麦麸皮重组米的最终黏度由  $339 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  降低至  $297 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (降低率12.4%);当添加量为25%时,燕麦麸皮重组米的最终黏度增加至  $508 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (增加率71%),较对照组的增加49.9%。说明添加荞麦、青稞、藜麦会使重组米的最终黏度增加,提高淀粉糊的硬度,且随添加量的增加而不断提高,可能与直链淀粉含量有关,这是因为直链淀粉含量在冷却过程中容易发生重排,直链淀粉含量越高,淀粉糊冷却凝胶强度越大,最终黏度越大<sup>[15]</sup>。添加少量的燕麦麸皮会使重组米糊的硬度下降,降低重组米的最终黏度,当添加量 $>20\%$ 时,燕麦麸皮重组米糊的硬度明显提高,其最终黏度大于对照组。随着鹰嘴豆添加量的增加,重组米糊的硬度不断降低,可能是由于鹰嘴豆中较高的蛋白质含量导致<sup>[16]</sup>。

### 2.5 杂粮添加量对重组米衰减值的影响

由单因素方差分析结果可知,不同的杂粮添加物的添加量对衰减值的影响均具有显著差异性 ( $P < 0.05$ )。图4表明,添加荞麦和鹰嘴豆可以显著降低重组米衰减值 ( $P < 0.05$ );当添加量为25%时,荞麦重组米的衰减值由  $475 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  降低至  $407 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (降低率14.3%),鹰嘴豆重组米的衰减值由  $475 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  降低至  $383 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (降低率19.4%)。添加燕麦麸皮、藜麦在添加量较小时衰减值会随添加量的增加而降低,当添加量较大时衰减值随添加

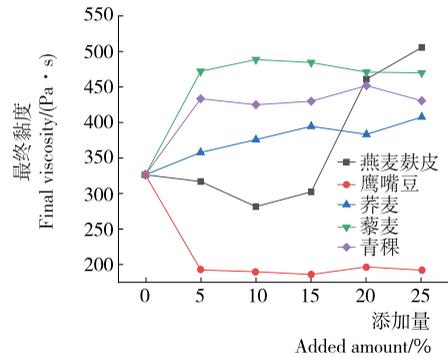


图3 杂粮添加量对重组米最终黏度的影响

Figure 3 Effects of different additions of coarse grains on the final viscosity of reconstituted rice

量的增加而增加;当燕麦麸皮添加量为10%时,燕麦麸皮重组米的衰减值由  $475 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  降低至  $428 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (降低率9.9%),当燕麦麸皮添加量为25%时,重组米衰减值增加至  $1040 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (增加率143%),较对照组重组米的衰减值增加了118.9%。当添加量为5%时,藜麦重组米的衰减值由  $475 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  降低至  $413 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (降低率13.1%);当添加量为25%时,藜麦重组米的衰减值增加至  $626 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (增加率51.6%),较对照组重组米的衰减值增加了31.8%。添加青稞会使重组米的衰减值随添加量的增加而增加;当添加量为25%时,青稞重组米的衰减值由  $475 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  增加至  $567 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  (增加率19.4%)。表明添加荞麦和鹰嘴豆以及少量的燕麦麸皮、藜麦、青稞能降低重组米的衰减值,提高重组米淀粉糊的耐热稳定性,可能与其淀粉含量或者颗粒特性有关<sup>[17]</sup>。当燕麦麸皮和藜麦添加量 $>15\%$ 时,重组米的衰减值明显高于对照组。当青稞添加量 $>20\%$ 时,重组米糊的热稳定性显著高于对照组,可能是由于青稞淀粉易吸水膨胀,膨胀后淀粉强度低且易破裂,从而降低了重组米糊的热稳定<sup>[18]</sup>。

### 2.6 杂粮添加量对重组米回生值的影响

由图5可知,不同的杂粮添加物对回生值的影响均具

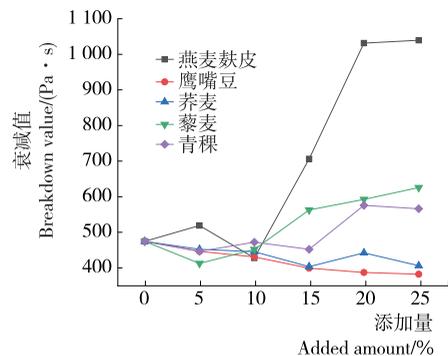


图4 杂粮添加量对重组米衰减值的影响

Figure 4 Effects of different additions of coarse grains on the breakdown value of reconstituted rice

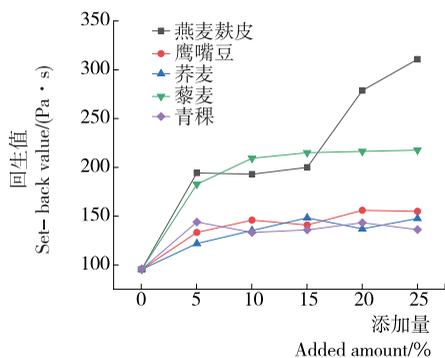


图 5 杂粮添加量对重组米回生值的影响

Figure 5 Effects of different additions of coarse grains on the set-back value of reconstituted rice

有显著差异性( $P < 0.05$ )。添加荞麦、青稞、藜麦、燕麦麸皮、鹰嘴豆均会显著增加重组米的回生值( $P < 0.05$ )；当添加量为 25% 时，荞麦重组米的回生值由 95.7 Pa·s 增加至 148.0 Pa·s (增加率 56.4%)，青稞重组米的回生值由 95.7 Pa·s 增加至 136.0 Pa·s (增加率 42.1%)，藜麦重组米的回生值由 95.7 Pa·s 增加至 211.0 Pa·s (增加率 120.5%)，燕麦麸皮重组米的回生值由 95.7 Pa·s 增加至 310.7 Pa·s (增加率 224.7%)，鹰嘴豆重组米的回生值由 95.7 Pa·s 增加至 155.0 Pa·s (增加率 62%)。结果表明，添加杂粮会加速重组米的回生现象，其中燕麦麸皮对重组米回生现象的影响程度最大，燕麦麸皮重组米更易回生，可能与杂粮辅料中的淀粉含量、直支比，蛋白质、膳食纤维以及脂肪含量等影响因素有关<sup>[19]</sup>。

### 3 结论

荞麦、青稞、藜麦、鹰嘴豆和燕麦麸皮 5 种杂粮的添加均能显著影响重组米的糊化特性，且随着添加量的变化，重组米的糊化特性也随之发生改变。5 种杂粮添加物对重组米黏度和衰减值有着不同的影响，添加鹰嘴豆会显著降低重组米的黏度和衰减值；添加荞麦、藜麦均会降低重组米的峰值黏度，增加重组米的谷值黏度和最终黏度；添加荞麦和少量的藜麦会降低衰减值，而藜麦添加量 > 15% 时会显著增加重组米的衰减值；添加青稞会显著增加重组米的黏度和衰减值；添加燕麦麸皮会显著降低谷值黏度，少量燕麦麸皮添加会降低重组米的峰值黏度、最终黏度和衰减值。5 种杂粮添加物均会显著提高重组米的回生值，降低重组米的口感，因此如何降低杂粮重组米的回生值，抑制杂粮重组米的老化回生，提升杂粮重组米的品质是后续杂粮重组米的一个重要研究方向。

由于不同杂粮的主要理化成分和分子结构存在较大差异，而且在挤压加工过程中不同杂粮的加工特性也存在差异，所以不同杂粮对重组米的糊化特性的影响存在较大差异，后续可以对挤压杂粮重组米的微观结构和淀

粉晶体结构进行研究，进一步探索不同杂粮对重组米糊化特性的影响规律和相关机理。

### 参考文献

- [1] 汤兆铮. 杂粮主食及其加工新技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 19.
- [2] 王娴, 周显青, 胡宏海, 等. 辅料添加对挤压复配米外观结构、蒸煮食用品质及体外血糖生成指数的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 60-68.
- [3] 祁湛瑶, 管立军, 高扬, 等. 高膳食纤维食用菌营养工程米的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(6): 216-222, 229.
- [4] 田飒飒. 基于青稞的杂粮复配米理化特性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015: 20-55.
- [5] KIM Sung Soo, HAN Chan Kyu, CHOL Sang Yoon. Functional reformed rice and process for preparing the same: Korea Unite, 20100069855(A)[P]. 2010-06-25.
- [6] 吴伟, 刘成梅, 李俊, 等. 高膳食纤维营养强化大米的制备研究[J]. 食品科学, 2009(20): 76-80.
- [7] 张彦军, 刘成梅, 刘伟, 等. 热压凝胶法制备营养质构米及其营养性质研究[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 282-287.
- [8] 庄海宁, 冯涛, 金征宇, 等. 挤压加工参数对重组米生产过程及产品膨胀度的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 349-356.
- [9] 吴伟, 吴晓娟, 从竞远, 等. 发芽糙米重组米制备方便米饭的研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(9): 1-7.
- [10] 方冲. 不同添加物对挤压重组米血糖生成指数及性质的影响[D]. 南昌: 南昌大学, 2018: 27-29.
- [11] 周艳青, 杨英, 周娇娇, 等. 米糠膳食纤维对大米粉糊化特性的影响[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(12): 64-67.
- [12] 廖卢艳, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 332-338.
- [13] 张敏, 徐燕, 周裔彬, 等. 大米蛋白对小麦淀粉理化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(12): 101-104, 111.
- [14] BOLIGON A A, PEREIRA R P, FELTRIN A C, et al. Antioxidant activities of flavonol derivatives from the leaves and stem bark of *Scutia buxifolia* Reiss [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(24): 6 592-6 598.
- [15] 孟祥艳. 淀粉老化机理及影响因素的研究[J]. 食品工程, 2007(2): 60-63.
- [16] 高文明. 糯米蛋白质对其糊化特性的影响[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2015: 26.
- [17] YUAN Mei-lan, LU Zhan-hui, CHENG Yong-qiang, et al. Effect of spontaneous fermentation on the physical properties of corn starch and rheological characteristics of corn starch noodle[J]. Food Science, 2008, 85(1): 12-17.
- [18] 白婷, 靳玉龙, 朱明霞, 等. 青稞淀粉研究现状[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(4): 141-146.
- [19] 缪铭, 江波, 张涛. 淀粉的消化性能与 RVA 曲线特征值的相关性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(5): 16-19.