

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2022.90138

精白米与糙米对比对复配糙米粉品质的影响

Effects of the ratio of refined white rice and brown rice
on the quality of compounded rice flour

刘颖 徐晨冉 张楚佳 张娜 窦博鑫

LIU Ying XU Chen-ran ZHANG Chu-jia ZHANG Na DOU Bo-xin

(哈尔滨商业大学食品工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150028)

(College of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin, Heilongjiang 150028, China)

摘要:目的:优化复配糙米粉的复配比例。方法:按精白米:糙米($m_{\text{精白米}}:m_{\text{糙米}}$ 分别为 10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8, 0:10)混合,以冲调性、糊化特性、流变学特性、热特性和体外消化性为指标,分析不同对比对复配糙米粉品质的影响,得出最佳配比。结果:随着糙米含量的增加,复配糙米粉的峰值黏度、谷值黏度和最终黏度呈逐渐下降的趋势,起始糊化温度、峰值温度、终止糊化温度均减小,米粉的水溶性、溶解度降低,消化性提高。结论:复配糙米粉配比 $m_{\text{精白米}}:m_{\text{糙米}}$ 为 2:8 时复配糙米粉品质最佳。

关键词:复配糙米粉;流变学特性;复配比例;品质特性

Abstract: Objective: This study aimed to optimize the compounding ratio of compounded brown rice flour. **Methods:** The effects of different ratios on the quality of compounded brown rice flour were analyzed by mixing refined white rice and brown rice (10:0, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8, 0:10), and the optimal ratios were obtained by using the flushing properties, gelatinization characteristics, rheological properties, thermal properties, and in vitro digestibility as indicators. **Results:** With the increase of brown rice content, the peak viscosity, valley viscosity and final viscosity of compounded brown rice flour gradually decreased, and the initial gelatinization temperature, peak temperature and end gelatinization temperature all reduced, while the water solubility and solubility of rice flour decreased and the digestibility improved. **Conclusion:** The best quality of compounded brown

rice flour was obtained when the mass ratio of compounded refined white rice and brown rice flour was 2:8.

Keywords: compounded brown rice flour; rheological properties; compounding ratio; quality characteristics

糙米是将稻谷脱壳后不加工或少加工所获得的全谷粒米^[1]。将糙米进行深加工,使皮层和胚逐渐脱落,可得精白米^[2]。近年来,营养健康的饮食习惯和粗细搭配的饮食结构逐渐被人们所重视,糙米等全谷物食品也越来越受青睐^[3]。

糙米中含有许多有益的功能因子,由于糙米中的粗纤维等物质导致其口感粗糙、不易消化而不易被消费者接受。将糙米粉和精白米粉进行复配后,可有效改善糙米粉的口感和品质^[4],且经过焙炒处理后其结构和功能性质有所改变,风味及口感也有所提高^[5]。李康等^[6]将玉米粉和粳米粉进行复配研究其对无麸质面食用品质的影响,张弛等^[7]通过模糊综合评分确定了多谷物麦胚粉的配方。但目前关于精白米与糙米复配比例的研究较少。研究拟将精白米与糙米按不同比例进行混合,再通过焙炒的形式将复配糙米粉进行预糊化处理,考察不同对比对复配糙米粉品质的影响,旨在确定复配糙米粉的最佳配比并为复配糙米粉的应用提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

糙米、精白米:黑龙江省五常金禾米业有限责任公司;

乙醚、石油醚:分析纯,天津市大茂化学试剂厂;

乙醇:分析纯,德州安捷高科消毒制品有限公司;

盐酸:分析纯,天津市天力化学试剂有限公司;

考马斯亮蓝:分析纯,天津市瑞金特化学品有限公司。

基金项目:黑龙江省“百千万”工程科技重大专项(编号:2019ZX08B02);哈尔滨商业大学青年后备项目(编号:2019CX32);黑龙江省国家级大学生创新训练计划项目(编号:202010240008)

作者简介:刘颖,女,哈尔滨商业大学教授,博士。

通信作者:张娜(1979—),女,哈尔滨商业大学教授,博士。

E-mail: foodzhangna@vip.163.com

窦博鑫(1987—),女,哈尔滨商业大学讲师,博士。

E-mail: 394831971@qq.com

收稿日期:2022-02-21

1.1.2 主要仪器设备

快速黏度分析仪: Rapid-20 型, 瑞典 Perten 仪器公司;

流变仪: H-PID200 型, 美国 TA 仪器公司;

差示扫描量热仪: DSC4000 型, 美国 Perkin Elmer 公司。

1.2 方法

1.2.1 复配糙米粉样品的制备 根据前期预试验, 将精白米与糙米按不同配比 ($m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 10 : 0, 8 : 2, 6 : 4, 4 : 6, 2 : 8, 0 : 10) 进行混合, 于 $(200 \pm 5)^\circ\text{C}$ 下焙炒 18 min, 冷却, 粉碎过 50 目筛备用。

1.2.2 冲调性测定

(1) 溶解度: 参照 Yu 等^[8]的方法并稍作修改。将样品与蒸馏水混合, 90°C 水浴 30 min, 冷却, 3 000 r/min 离心 15 min。将上清液倒入烧杯中, 105°C 干燥至恒重。

(2) 结块率: 参照胡毓元等^[9]的方法。

1.2.3 糊化特性测定 参照文献^[10]。根据黏度变化曲线记录峰值黏度(PV)、谷值黏度(TV)、最终黏度(FV)、回生值和衰减值。

1.2.4 流变学特性测定 根据 Wang 等^[11]的方法并稍作修改。将快速黏度分析仪测试中获得的淀粉糊放置于流变仪平板上, 在 0.1~10.0 Hz 的频率范围内以恒定应变(1%)进行动态振荡流变特性测定, 并记录动态流变数据, 包括储能模量(G')、损耗模量(G'')和损耗角正切值($\tan \delta$)。

1.2.5 热特性测定 参照 Siaw 等^[12]的方法并稍作修改。载体为氮气, 升温速度 $10^\circ\text{C}/\text{min}$, 测试温度 $25\sim 120^\circ\text{C}$ 。

1.2.6 体外消化性测定 参照 Englyst 等^[13]的方法并稍作修改。样品消化 0, 20, 120 min 时, 取 1.0 mL 样品并放入装有 4.0 mL 无水乙醇的离心管中。振摇混匀, 4 000 r/min 离心 20 min, 测定上清液中葡萄糖含量。并分别按式(1)~式(3)计算快消化淀粉(RDS)、慢消化淀粉(SDS)和抗性淀粉(RS)含量。

$$R_{\text{DS}} = \frac{(G_{20} - G_0) \times 0.9}{T_s} \times 100\%, \quad (1)$$

$$S_{\text{DS}} = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0.9}{T_s} \times 100\%, \quad (2)$$

$$R_s = \frac{T_s - (R_{\text{DS}} + S_{\text{DS}})}{T_s} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

R_{DS} ——快消化淀粉含量, %;

S_{DS} ——慢消化淀粉含量, %;

R_s ——抗性淀粉含量, %;

G_0 ——酶解前淀粉悬浮液中的游离葡萄糖含量, mg;

G_{20} ——淀粉水解 20 min 后酶解液中的葡萄糖含量, mg;

G_{120} ——淀粉水解 120 min 后酶解液中的葡萄糖含

量, mg;

0.9——葡萄糖转化系数;

T_s ——样品总淀粉含量, mg。

1.2.7 数据统计与分析 所有试验至少重复 3 次, 结果表示为平均值±标准偏差。使用 SPSS 软件进行方差分析, Origin 2021 和 Excel 软件制图。

2 结果与分析

2.1 对比对复配糙米粉冲调性的影响

米粉在焙炒过程中会使物料脱水、蛋白质变性、蛋白质疏水作用增加, 从而减少了蛋白质的溶解性, 米粉的水溶性降低, 导致溶解度降低^[14]。复配糙米粉由于焙炒使得淀粉糊化, 发生少量降解, 部分亲水基团暴露在水中, 米粉结构疏松^[15], 从而使得米粉的水溶性变好, 其结块率逐渐降低。由表 1 可知, 随着糙米含量的增加, 复配糙米粉中蛋白质含量逐渐增加, 其溶解度不断降低, 当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 2 : 8 时, 复配糙米粉溶解度较低, 水溶性较好, 结块率较低, 而当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 0 : 10 时, 由于糙米中糠层含有口感较粗的物质, 其颗粒感较明显, 溶解度差、结块率低, 口感不佳。综上, $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 2 : 8 的复配糙米粉溶解度、结块率较低, 冲调性较好。

2.2 对比对复配糙米粉糊化特性的影响

淀粉的糊化特性是反映淀粉品质的一项重要指标, 与糙米食味具有相关性^[16]。峰值黏度反映了淀粉的膨胀趋势, 糙米比例增加, 峰值黏度上升, 则颗粒间具有较强的黏接力, 不易溶胀、崩裂^[17]; 衰减反映了淀粉的稳定性, 衰减越高, 其稳定性越差, 耐热、抗剪切能力降低, 热糊稳定性也减弱^[18]。回生值反映了淀粉的老化程度, 随着糙米比例的增加, 回生值逐渐降低, 说明加入糙米后更不易老化^[19]。回生值与直链淀粉含量有关, 直链淀粉含量越低, 回生值越低, 与 Varavinit 等^[20]的结果一致。根据表 2 可知, 复配糙米粉的峰值黏度、谷值黏度和最终黏度均随糙米比例的增加呈逐渐下降的趋势。这可能是由于焙炒过程中, 糙米的分子结构被破坏, 增加了淀粉颗粒与水的结合。当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 2 : 8 时, 复配糙米粉

表 1 对比对复配糙米粉冲调性的影响[†]

Table 1 Effects of different ratios on the reconstituability of compounded brown rice flour

$m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$	溶解度/%	结块率/%
10 : 0	48.62±0.52 ^a	0.41±0.03 ^a
8 : 2	46.38±0.43 ^b	0.34±0.06 ^b
6 : 4	45.74±0.50 ^c	0.25±0.03 ^c
4 : 6	43.58±0.53 ^d	0.21±0.02 ^d
2 : 8	42.91±0.48 ^e	0.18±0.03 ^e
0 : 10	37.38±0.45 ^f	0.13±0.02 ^f

[†] 同列字母不同表示组间差异显著($P < 0.05$)。

表 2 配比对复配糙米粉糊化特性的影响[†]

Table 2 Effects of different ratios on the gelatinization characteristics of compounded brown rice flour

$m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$	峰值黏度/(Pa·s)	谷值黏度/(Pa·s)	衰减值/(Pa·s)	最终黏度/(Pa·s)	回生值/(Pa·s)
10 : 0	541.21±1.61 ^a	485.56±1.43 ^a	49.86±0.63 ^f	938.23±3.65 ^a	356.14±1.23 ^b
8 : 2	414.15±1.54 ^b	364.13±1.38 ^b	51.46±0.72 ^c	719.12±2.99 ^b	398.01±1.12 ^c
6 : 4	403.21±1.59 ^c	343.22±1.15 ^d	53.13±0.54 ^e	665.32±2.25 ^c	454.77±1.31 ^a
4 : 6	394.92±1.23 ^d	348.44±1.33 ^c	57.51±0.69 ^b	656.12±2.75 ^d	306.63±1.12 ^d
2 : 8	389.33±1.22 ^e	339.13±1.21 ^e	51.16±0.62 ^d	644.56±2.83 ^e	295.64±1.21 ^f
0 : 10	374.88±1.17 ^f	313.45±1.14 ^f	62.01±0.61 ^a	610.12±2.74 ^f	309.27±1.09 ^c

[†] 同列字母不同表示组间差异显著($P < 0.05$)。

的衰减值和回生值较低,与 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 0 : 10 的复配糙米粉相比,该复配糙米粉更稳定且不易老化。

2.3 配比对复配糙米粉流变学特性的影响

由图 1 可知,整个频率范围(0~10 Hz)内,所有样品均表现出典型的弱凝胶体系特征($G' \gg G''$, $\tan \delta < 1$),表明弹性发挥了主导作用^[21]。 G' 和 G'' 均具有频率依赖性,并且随着频率的增加呈上升趋势^[22]。当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 0 : 10, 4 : 6, 2 : 8 时,其对 G' 和 G'' 影响较显著,可能是由于米粉在焙炒过程中,直链淀粉溶出较慢,同时小分子支链淀粉的溶出导致凝胶弹性的增加^[23]。直链淀粉含量是影响淀粉流变性能的重要因素,但影响淀粉流变特性的因素还有支链长度分布、淀粉品种等^[24]。无序的多尺度结构(例如淀粉的螺旋结构和晶体结构的破坏)也可能促进淀粉分子链的缠结和相互作用,从而形成强大的凝胶网络结构^[25]。损耗因子($\tan \delta$)是损耗模量(G'')与储能模量(G')的比值,决定了样品的黏弹性,与 G' 和 G'' 相比,损耗因子对松弛变化的反应要大得多^[26]。各样品的损耗因子均 < 1 ,说明弹性是样品糊的主要特征,且随着频率的上升不断增大,表明样品损耗模量随频率的变化快于储能模量,样品逐渐接近类液体趋势。

2.4 配比对复配糙米粉热特性的影响

由图 2 可知,当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 0 : 10 时,米粉的起始糊化温度、峰值温度、终止糊化温度均最低;当 $m_{\text{精白米}} :$

$m_{\text{糙米}}$ 为 8 : 2 时,米粉的峰值温度、终止糊化温度最高,起始糊化温度相对较高。差示扫描量热仪(DSC)可以测定米粉糊化过程中晶体熔融时吸收热量的情况^[27]。起始温度表示米粉开始糊化的温度,峰值温度表示凝胶形成的温度,反映了米粉晶体的完整程度,终止温度表示的是米粉糊化完成时的温度,反映了所测样品的热力学性质^[28]。在焙炒程度相同的条件下,复配米中精白米含量增加,起始糊化温度、峰值温度、终止糊化温度均增大,糊化温度范围减小。焓变是每糊化 1 g 淀粉所吸收的热量,样品热焓值越小,糊化过程所需的热量越少,更容易消化^[29]。米粉中精白米含量增加,焓值也随之增大,这可能与淀粉含量有关,淀粉含量越高,糊化所需能量越多,焓变越大,糊化越难;还可能与分子晶体结构有关,晶体有序化程度越高,结晶程度越高,焓变越高,糊化程度越难^[30]。当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 2 : 8 时,米粉的热焓值较小,糊化所需能量少,更易被人体消化。

2.5 配比对复配糙米粉体外消化性的影响

由表 3 可知,随着糙米添加比例的增加,复配糙米粉中的 RDS 含量呈下降的趋势,SDS 和 RS 含量均呈上升的趋势。当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 0 : 10, 2 : 8 时,其 SDS、RS 含量差异不显著,RS 和 SDS 在整体复配比例中含量较高。当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 0 : 10 时,复配糙米粉口感不佳,故选择 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 2 : 8 的复配糙米粉。

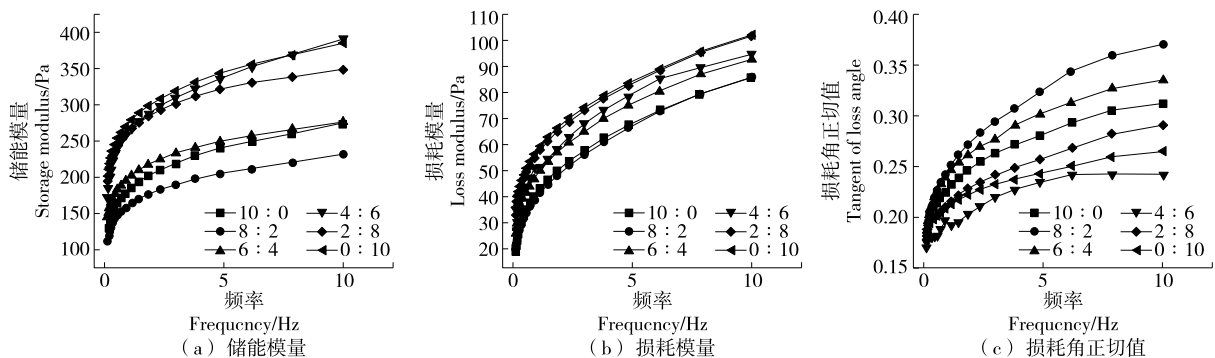


图 1 配比对复配糙米粉流变学特性的影响

Figure 1 Effects of different ratios on the rheological properties of compounded brown rice flour

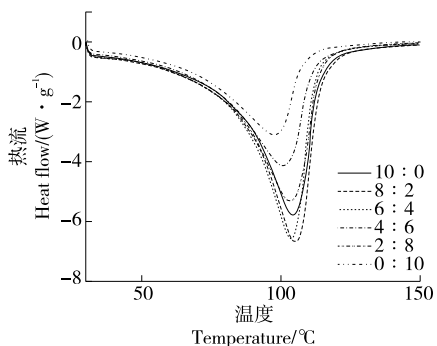


图2 对比对复配糙米粉热特性的影响

Figure 2 Effects of different ratios on the thermal properties of compounded brown rice flour

表3 对比对复配糙米粉体外消化性的影响[†]

Table 3 Effects of different proportions on external digestibility of complex brown rice powder

$m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$	RDS/%	SDS/%	RS/%
10 : 0	64.22±0.61 ^a	28.43±0.31 ^e	7.35±0.22 ^e
8 : 2	62.07±0.69 ^b	29.09±0.28 ^d	8.84±0.36 ^d
6 : 4	60.19±0.53 ^c	30.45±0.28 ^c	9.36±0.38 ^c
4 : 6	59.83±0.48 ^d	30.58±0.23 ^b	9.59±0.13 ^b
2 : 8	58.48±0.55 ^e	31.22±0.33 ^a	10.30±0.19 ^a
0 : 10	58.43±0.55 ^e	31.26±0.25 ^a	10.31±0.22 ^a

[†] 同列字母不同表示组间差异显著($P < 0.05$)。

3 结论

研究了精白米和糙米的复配比例对复配糙米粉的冲调性、糊化特性、流变学特性、热特性和体外消化性的影响。结果表明,随着糙米含量的增加,复配糙米粉中直链淀粉、支链淀粉含量减少,水溶性和吸水性降低,溶解度降低,颗粒间具有较强的黏接力,稳定性、黏弹性有所提高,糊化所需能量减小。当 $m_{\text{精白米}} : m_{\text{糙米}}$ 为 2 : 8 时,复配糙米粉的品质最佳。复配糙米粉的功能性质及其结构的研究还较少,后续可对复配糙米粉的构效和量效关系进行深入研究。

参考文献

[1] 赵爽. 发芽糙米营养价值及生理功能[J]. 现代化农业, 2018(5): 36-37.
ZHAO Shuang. Nutritional value and physiological functions of sprouted brown rice[J]. Modern Agriculture, 2018(5): 36-37.

[2] 张文昊, 邓媛元, 魏振承. 几种糙米的营养成分及抗氧化活性对比[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 119-122.
ZHANG Wen-hao, DENG Yuan-yuan, WEI Zhen-cheng. Comparison of the nutritional composition and antioxidant activity of several types of brown rice[J]. Modern Food Technology, 2013, 29(5): 119-122.

[3] BURLANDO B, CORNARA L. Therapeutic properties of rice constituents and derivatives (*Oryza sativa* L.): A review update[J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 40(1): 82-98.

[4] SAIF S M H, LAN Y, SWEAT V E. Gelatinization properties of rice flour[J]. International Journal of Food Properties, 2003, 6(3): 531-542.

[5] 刘颖, 徐晨冉, 高嫚, 等. 不同焙炒程度对复配糙米粉的品质影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(7): 2144-2150.
LIU Ying, XU Chen-ran, GAO Man, et al. Effect of different roasting levels on the quality of blended brown rice flour[J]. Journal of Food Safety, Quality and Inspection, 2022, 13(7): 2144-2150.

[6] 李康, 刘伟, 樊月, 等. 玉米粉-粳米粉复配对无麸质面食品质的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(7): 191-197, 163.
LI Kang, LIU Wei, FAN Yue, et al. Effect of corn flour-japonica rice flour compound on the edible quality of gluten-free pasta[J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(7): 191-197, 163.

[7] 张弛, 谢宇航, 李力, 等. 多谷物麦胚粉的营养复配及其评价[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(8): 65-68.
ZHANG Chi, XIE Yu-hang, LI Li, et al. Nutritional compounding of multigrain wheat germ flour and its evaluation[J]. Grain and Fats, 2017, 30(8): 65-68.

[8] YU S, MA Y, MENAGER L, et al. Physicochemical properties of starch and flour from different rice cultivars [J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(2): 626-637.

[9] 胡毓元, 杜衡, 李婕好, 等. 婴幼儿麦胚米粉配方及其冲调性的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(8): 44-47.
HU Yu-yuan, DU Heng, LI Jie-yu, et al. Study on the formulation of infant wheat germ rice flour and its brewability[J]. Food Industry, 2018, 39(8): 44-47.

[10] KUNYANEE K, LUANGSAKUL N. The impact of heat moisture treatment on the physicochemical properties and in vitro glycemic index of rice flour with different amylose contents and associated effects on rice dumpling quality[J]. LWT- Food Science and Technology, 2021, 154: 112694.

[11] WANG Hong-wei, WANG Yan, WANG Rui, et al. Impact of long-term storage on multi-scale structures and physicochemical properties of starch isolated from rice grains[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 124: 107255.

[12] SIAW M O, WANG Y J, MCCLUNG A M, et al. Effect of protein denaturation and lipid removal on rice physicochemical properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 150: 112015.

[13] ENGLYST H N, KINGMAN S M, CUMMINGS J H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 1992, 46(2): 33-50.

[14] 孟庆虹, 潘国君, 李霞辉, 等. 粳稻品种的粒厚特征及其对食味品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2009, 23(4): 427-432.
MENG Qing-hong, PAN Guo-jun, LI Xia-hui, et al. Grain thickness characteristics of japonica rice varieties and their effects on palatable quality[J]. China Rice Science, 2019, 23(4): 427-432.

[15] 姜雯翔. 萌芽糙米热风微波干燥与焙炒及膨化加工研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014: 40-46.

- JIANG Wen-xiang. Research on hot air microwave drying and roasting of sprouted brown rice and puffing processing [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014: 40-46.
- [16] 刘云飞. 改良挤压技术对大米淀粉结构和性质的影响及其在淀粉基食品中的应用[D]. 南昌: 南昌大学, 2019: 30-39.
- LIU Yun-fei. Effect of modified extrusion technology on the structure and properties of rice starch and its application in starch-based foods[D]. Nanchang: Nanchang University, 2019: 30-39.
- [17] JANG E H, LEE S J, HONG J Y, et al. Correlation between physicochemical properties of japonica and indica rice starches [J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 66: 530-537.
- [18] ZHANG X, CHEN D, ZHAO Z, et al. Rheological and textural properties of emulsion-filled gel based on enzymatically hydrolyzed rice starch[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 126: 107463.
- [19] REN Y, JIANG L, WANG W, et al. Effects of Mesona chinensis Benth polysaccharide on physicochemical and rheological properties of sweet potato starch and its interactions [J]. Food Hydrocolloids, 2020, 99: 105371.
- [20] VARAVINIT S, SHOBSNGOB S, VARANYANOND W, et al. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of thai rice[J]. Starch Strke, 2003, 55(9): 410-415.
- [21] LIU Z, YANG J, SHI Z, et al. Effect of stearic acid on the microstructural, rheological and 3D printing characteristics of rice starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 189: 590-596.
- [22] TANGSRIANUGUL N, WONGSAGONSUP R, SUPHANTHARIKA M. Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 137: 666-675.
- [23] WANG Y R, YANG Q, LI-SHA Y J, et al. Effects of thermal aggregation treatment on the structural, gelation properties and microstructure of phosphorylated rice glutelin gel [J]. Journal of Cereal Science, 2021, 100(1): 103252.
- [24] 李莎莎, 吴娜娜, 谭斌, 等. 直链淀粉含量差异对糙米粉质特性影响研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(15): 86-89, 95.
- LI Sha-sha, WU Na-na, TAN Bin, et al. Study on the effect of differences in straight-chain amylose content on the characteristics of brown rice flour[J]. Food Industry Science and Technology, 2016, 37(15): 86-89, 95.
- [25] WANG Shu-jun, LIU Xing-xun, ZHOU Su-mei, et al. Thermal and rheological properties of brown flour from Indica rice[J]. Journal of Cereal Science, 2016, 70: 270-274.
- [26] SRICHAMNONG W, LASUKHANG W. Structural and chemical analysis of resistant starch effected by pre-treatments, cooking methods, reheating and storage condition in parboiled germinated brown rice (*Oryza sativa*) [J/OL]. International Journal of Food Science & Technology. (2021-11-10) [2022-03-02]. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15458>.
- [27] 冷雪, 曹龙奎. 利用差示扫描量热仪研究小米淀粉及小米粉的糊化特性[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 60-66.
- LENG Xue, CAO Long-kui. Study on the pasting properties of millet starch and millet flour using differential scanning calorimetry[J]. Food Science, 2015, 36(19): 60-66.
- [28] 李莎莎, 吴娜娜, 李兴峰, 等. 不同品种糙米粉糊化特性比较研究[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(4): 15-18.
- LI Sha-sha, WU Na-na, LI Xing-feng, et al. Comparative study on the pasting characteristics of different varieties of brown rice flour[J]. Grain, Oil and Food Technology, 2016, 24(4): 15-18.
- [29] 陈子月, 高维, 秦新光. 提取工艺对大米淀粉的理化性质影响[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(11): 63-65.
- CHEN Zi-yue, GAO Wei, QIN Xin-guang. Effect of extraction process on the physicochemical properties of rice starch[J]. Grain and Fats, 2019, 32(11): 63-65.
- [30] PAL P, SINGH N, KAUR P, et al. Comparison of composition, protein, pasting, and phenolic compounds of brown rice and grminated brown rice from different cultivars[J]. Cereal Chemistry, 2016, 93(6): 584-592.

(上接第 51 页)

- [16] 赵秋香, 冯超, 莫书伟, 等. 形态硒的研究过程中硒代胱氨酸的稳定性[J]. 光谱实验室, 2011, 28(4): 2 074-2 078.
- ZHAO Qiu-xiang, FENG Chao, CHEN Fu-qiang, et al. Stability of selenocystine during the research on process of selenium species [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2011, 28(4): 2 074-2 078.
- [17] 陆秋艳, 张文婷, 林秋莲, 等. 高效液相色谱—电感耦合等离子体质谱联用快速同时分析水中 5 种砷和 7 种硒[J]. 环境化学, 2018, 37(7): 1 671-1 674.
- LU Qiu-yan, ZHANG Wen-ting, LIN Qiu-lian, et al. Rapid simultaneous determination of 5 arsenic and 7 selenium in water by high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Environmental Chemistry, 2018, 37(7): 1 671-1 674.
- [18] SCHRAUZER G N. The nutritional significance, metabolism and toxicology of selenomethionine[J]. Advances in Food & Nutrition Research, 2003, 47(3): 73-112.
- [19] LIMA L W, PILON-SMITS E, SCHIAVON M. Mechanisms of selenium hyperaccumulation in plants: A survey of molecular, biochemical and ecological cues[J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects, 2018, 1 862(11): 2 343-2 353.
- [20] 董亚蕾, 刘文婧, 曹进, 等. 超高效液相色谱—串联三重四级杆质谱法测定富硒食品中的硒代氨基酸[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(7): 2 401-2 406.
- DONG Ya-lei, LIU Wen-jing, CAO Jin, et al. Determination of selenoaminoacid in selenium enriched foods by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(7): 2 401-2 406.