

## 稻米粉-马铃薯全粉混合粉的颗粒结构和理化性质

徐 忠, 闫宇航, 陈凤莲, 张 娜\*  
(哈尔滨商业大学食品工程学院 哈尔滨 150076)

**摘要** 为提高米制主食的营养价值,将稻米粉与马铃薯雪花全粉按照不同比例混匀,利用扫描电镜、红外光谱仪、X-射线衍射仪、粒度分析仪、黏度仪、差热分析仪、流变仪和质构仪等对混粉微观形貌、化学结构、结晶结构、粒度、糊化性质、热稳定性和流变性质进行分析和研究。结果表明,从稻米粉和马铃薯雪花全粉的微观形貌可以看出,稻米粉的表面相较马铃薯全粉光滑,马铃薯全粉在生产过程中表面遭到破坏使其表面形状不规则且粗糙,不同比例混粉的红外光谱图峰位置基本一致,官能团结构无明显变化。稻米粉和马铃薯全粉结晶结构都属于 A 型结晶,随着马铃薯全粉占比增大,混粉的结晶性增强。稻米粉的平均粒径为 82.35  $\mu\text{m}$ ,马铃薯全粉的平均粒径为 280.8  $\mu\text{m}$ ,随着马铃薯全粉占比增大,混粉的平均粒径增加。随着马铃薯全粉占比增大,糊化温度和糊化焓提高,储能模量和耗能模量增加,溶解度和溶胀度提高,回复性、内聚性、黏度、衰减值和回生值降低,硬度、弹性和咀嚼性降低,冻融稳定性下降。稻米粉和马铃薯粉的混合比例对混粉的颗粒结构与理化性质有较显著的影响,为混粉米制主食的开发提供了参考数据。

**关键词** 理化性质;混合粉;稻米粉;马铃薯全粉

**文章编号** 1009-7848(2023)07-0110-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.07.012

我国是世界稻米主产区之一,稻米年产量已达到 2.1 亿  $\text{t}^{[1-2]}$ 。随着稻米加工技术和人们消费水平的不断提升,对稻米食品种类和营养品质的需求也日益增加<sup>[3-4]</sup>。稻米粉是稻米主食和休闲食品加工的主要原料,稻米食品的开发主要是将稻米粉和其它主粮配合使用。马铃薯具有粮食和蔬菜的双重属性,马铃薯全粉作为马铃薯深加工产品,有效保留了其营养物质,可以作为马铃薯类食品的原料<sup>[5-7]</sup>。

目前关于稻米粉和马铃薯全粉混合粉的结构和理化性质的研究报道较少,研究内容也不够深入<sup>[8]</sup>。本文以稻米粉和马铃薯全粉为原料,分析不同质量比的稻米-马铃薯混合粉的理化性质,为稻米食品的开发提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料与试剂

稻米粉,黑龙江北大荒米业集团有限公司;马铃薯雪花全粉(简称“马铃薯全粉”),黑龙江北大

荒全粉有限公司。

#### 1.2 仪器与设备

TA new pluse 质构仪、TA new pluse 旋转流变仪,上海瑞芬国际贸易有限公司;Frontier 型红外光谱测量仪、DSC4000 差式扫描热量仪,珀金埃尔默仪器公司;X'PertPro 射线衍射光谱仪,荷兰帕纳客公司;SU8010 扫描电镜,日本日立公司;Super3 快速黏度分析仪,澳大利亚新港科技公司;S3500 激光衍射式粒度分析仪,美国麦奇克公司。

#### 1.3 试验方法

**1.3.1 混粉的营养成分测定** 混粉中的水分(GB 5009.3-2016)、蛋白质(GB 5009.5-2016)、脂肪(GB 5009.6-2016)、纤维素(GB 5009.10-2003)、灰分(GB 5009.4-2016)、淀粉(GB 5009.9-2016)和维生素 C(GB 5009.86-2016)含量均按照国标方法测定。

**1.3.2 混粉的制备** 稻米粉与马铃薯全粉按 10:0,9:1,8:2,7:3,6:4,5:5,4:6,3:7,2:8,1:9,0:10 的质量比充分混匀后,过 100 目筛,备用。

**1.3.3 电镜扫描分析** 参考孙京田等<sup>[9]</sup>的方法,取适量混粉进行扫描电镜分析,样品干燥后备用,将样品少量铺平在导电胶双面胶上,在红外灯下喷金。用电子显微镜扫描后,选取不同放大倍数的视野进行拍摄。

收稿日期: 2022-07-07

基金项目: 黑龙江省“百千万”工程科技重大专项  
(2020ZX08B02)

第一作者: 徐忠,男,博士,教授

通信作者: 张娜 E-mail: foodzhangna@vip.163.com

1.3.4 红外光谱分析 按照 1:3 的质量比将待测样品与 KBr 充分混合研磨,烘干备用,于磨具中用压片机进行压片,置于 FT-IR 红外光谱仪中测量并绘制红外光谱图<sup>[10]</sup>。

1.3.5 热特性分析 按照 Gomanda 等<sup>[11]</sup>的方法,用差示扫描量热仪测定。记录 DSC 的曲线走势。每个样本做 3 次试验取平均值,相变起始温度为  $T_0$ ,峰值温度为  $T_p$ ,终止温度为  $T_c$ ,焓变为  $\Delta H$ 。

1.3.6 X-衍射分析 根据赵凯等<sup>[12]</sup>的方法,采用片状样品衍射法:在步长为  $0.05^\circ$ ,扫描速率为  $14.28 \text{ s/步}$ ,管压为  $40 \text{ kV}$ ,管流为  $30 \text{ mA}$  的条件下进行压片扫描,使用 X-射线衍射光谱仪进行测定。

1.3.7 粒径分析 参考眭红卫等<sup>[13]</sup>的方法,使用激光衍射式粒度分析仪前需提前预热  $30 \text{ min}$ ,空白对照采用蒸馏水,待对照组测定完毕后,将样品放入仪器中进行测定,结果与图谱自动进行分析。

1.3.8 质构特性测定 参考郎凯红<sup>[14]</sup>的方法配制 20% 的混合粉悬浮液置于  $100 \text{ mL}$  的烧杯中,玻璃棒搅拌均匀,待悬浮液静止后,蒸制  $20 \text{ min}$ ,取出后冷却至室温,于冰箱中恒温 ( $4^\circ\text{C}$ ) 冷藏保存  $24 \text{ h}$ ,取出后切成  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  的正方体备用。

1.3.9 流变特性测定 参考张煜等<sup>[15]</sup>的方法并稍作改动。分别称取混合粉  $150 \text{ g}$ ,加入适量蒸馏水均匀搅拌,直至轻微变成絮状,然后用手掌将其揉搓成面团,直至无颗粒状且面团表面光滑,无起皮现象后,用保鲜膜保存好备用,以免操作等待过程中面团干燥。

1.3.10 糊化特性测定 参考 Sun 等<sup>[16]</sup>的方法并适当修改,称取  $3 \text{ g}$  混粉样品,加水  $25 \text{ mL}$ ,在 ST-DI 模式下测定,并记录。

1.3.11 溶解度和膨胀度测定 参考井月欣等<sup>[17]</sup>的方法,称取混粉  $1 \text{ g}$  (精确至  $0.01$ ) 放入带盖离心管中,加入蒸馏水并用玻璃棒搅拌,待水位至  $50 \text{ mL}$  刻度线处,在恒温振荡水浴锅中,分别在  $50, 60, 70, 80, 90^\circ\text{C}$  下振荡加热糊化  $30 \text{ min}$  后,用离心机 ( $3000 \text{ r/min}$ ,  $25 \text{ min}$ ) 离心完毕后,取上清液置于蒸发皿中,于恒温干燥箱中烘干至恒重,称量计数,计算溶解度,见式(1)。

$$\text{溶解度}(\%) = \frac{\text{水溶淀粉质量}}{\text{淀粉样品质量(干基)}} \times 100 \quad (1)$$

离心管中剩余质量计数,为膨胀淀粉质量,计算膨胀度,见式(2)。

$$\text{膨胀度}(\%) = \frac{\text{膨胀淀粉质量}}{\text{淀粉样品质量} \times (1 - \text{溶解度})} \times 100 \quad (2)$$

1.3.12 冻融稳定性测定 参考田建珍等<sup>[18]</sup>的方法,配制混粉淀粉乳(3%干基),于沸水浴中加热至糊化,室温冷却后置于冰箱中,在  $-20^\circ\text{C}$  恒温冷冻  $24 \text{ h}$ ,取出后室温解冻。然后用离心机离心 ( $3000 \text{ r/min}$ ,  $10 \text{ min}$ ) 后,得到沉淀物,称量其质量,计算析水率,见式(3)。

$$\text{析水率}(\%) = \frac{\text{去除水分后淀粉和管的质量} - \text{管的质量} - \text{称取淀粉质量}}{\text{称取样品质量}} \times 100 \quad (3)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 稻米粉和马铃薯全粉的营养成分分析

由表 1 可知,稻米粉与马铃薯全粉的淀粉含量占比最大,混粉的蛋白质、纤维素和维生素 C 的含量均高于纯稻米粉,且纤维素的含量差异较大。其中,混粉的脂肪含量和水分含量均低于纯稻米粉。

### 2.2 稻米粉和马铃薯全粉的微观形貌

马铃薯全粉和稻米粉的微观形貌如图 1 所示,稻米粉的颗粒表面较为光滑,且形状不规则;马铃薯全粉的颗粒表面凹凸不平,且形状不规则,这是由马铃薯全粉的加工工序所致。

### 2.3 混粉的红外光谱

通过红外光谱(图 2)可以看出,随着马铃薯全粉比例的增加,混粉的峰形基本一致,无明显变化,这说明稻米粉与马铃薯全粉混合并未发生官能团的变化<sup>[19]</sup>。光谱  $3443 \text{ cm}^{-1}$  附近出现了较强的宽峰,这是薯类作物特有的吸收峰,反映的是羟基(O-H)的伸缩振动; $1645 \text{ cm}^{-1}$  左右出现 1 个吸收峰,此峰对应的是(C=O)的伸缩运动,可能是马铃薯全粉中果胶中的醛酮类化合物所引起<sup>[20-21]</sup>;在  $570 \text{ cm}^{-1}$  附近的吸收峰是淀粉中吡喃环的骨架模式振动所产生的<sup>[22]</sup>。

### 2.4 混粉的结晶结构

通过 X-射线光谱可以分析出,稻米全粉(比

表1 稻米粉和马铃薯全粉的营养组成

Table 1 Nutritional composition of rice meal and potato whole meal

稻米粉:马铃薯全粉 (质量比)	水/%	脂肪/%	蛋白质/%	淀粉/%	纤维素/%	维生素 C/%	灰分/%
10:0	4.51	1.41	1.11	67.33	0.37	0.033	1.72
9:1	4.44	1.40	1.19	69.48	0.43	0.036	1.80
8:2	4.24	1.36	1.20	70.94	0.69	0.038	1.84
7:3	4.23	1.28	1.28	72.83	0.83	0.041	1.93
6:4	4.19	1.19	1.32	74.01	0.89	0.043	1.98
5:5	4.13	1.15	1.39	75.14	0.93	0.045	2.01
4:6	3.94	1.10	1.43	76.23	1.21	0.047	2.10
3:7	3.89	1.06	1.48	77.34	1.36	0.048	2.19
2:8	3.59	1.04	1.56	78.69	1.48	0.049	2.24
1:9	3.41	1.02	1.61	79.78	1.53	0.050	2.28
0:10	3.34	1.01	1.65	81.65	1.80	0.052	2.31

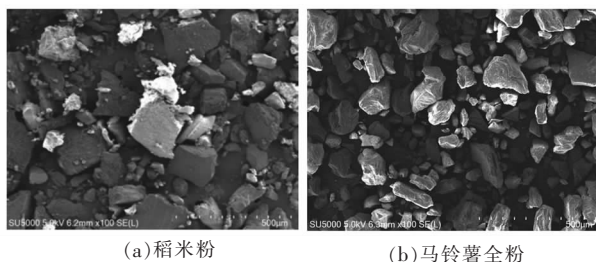


图1 稻米粉(a)和马铃薯全粉(b)的微观形貌(SEM,100×)

Fig.1 The micrograph of wheat flour (a) and potato granules (b) (SEM,100×)

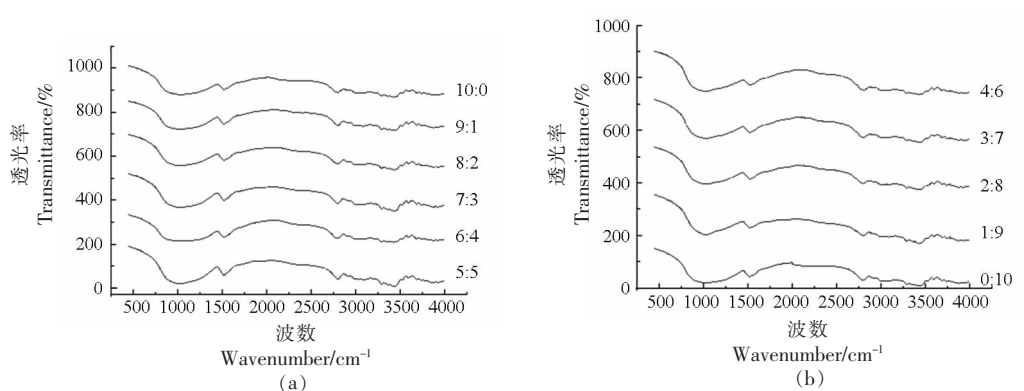


图2 不同比例混粉的红外光谱

Fig.2 Ir spectra of mixed powders in different proportions

例为 10:0) 的衍射曲线不具备特定的结晶结构,然而随着马铃薯全粉占比增加,可以看出部分衍射峰强度增强,说明马铃薯全粉的添加对混粉的结晶性有一定提高。

## 2.5 混粉的热力学特征

由表 2 可知,随着马铃薯全粉比例的增加,

$T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$  和  $\Delta H$  均有所增加,是由于稻米粉颗粒与马铃薯全粉颗粒状态不同,淀粉颗粒无定形区的比例逐渐减小,而结晶区比例逐渐增大,导致糊化温度逐渐升高,因此糊化所需的热量随之变大。

## 2.6 混粉的粒度

由表 3 可知,稻米全粉与马铃薯全粉的 D50

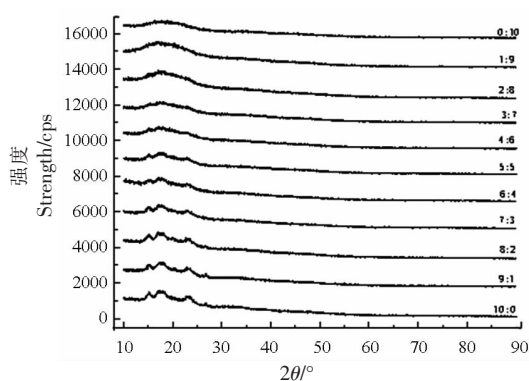


图 3 不同比例混合粉的衍射峰谱

Fig.3 Diffraction peak spectra of different mixing ratios

表 2 稻米-马铃薯混粉热特性比较

Table 2 Comparison of thermal characteristics of rice-potato mixture

稻米粉:马铃薯全粉 (质量比)	$T_g/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$T_c/^\circ\text{C}$	$\Delta H/\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$
10:0	$33.7 \pm 0.13$	$42.1 \pm 0.34$	$73.4 \pm 0.25$	$13.25 \pm 0.24$
9:1	$33.8 \pm 0.25$	$42.3 \pm 0.18$	$73.5 \pm 0.13$	$13.64 \pm 0.21$
8:2	$33.8 \pm 2.35$	$42.7 \pm 0.32$	$73.8 \pm 0.20$	$13.99 \pm 0.09$
7:3	$33.9 \pm 0.08$	$42.8 \pm 0.16$	$74.1 \pm 0.17$	$14.34 \pm 0.19$
6:4	$34.2 \pm 0.15$	$43.0 \pm 0.06$	$74.5 \pm 0.24$	$14.87 \pm 0.23$
5:5	$34.3 \pm 0.20$	$43.2 \pm 0.11$	$74.6 \pm 0.21$	$15.64 \pm 0.15$
4:6	$34.3 \pm 0.14$	$43.5 \pm 0.15$	$74.9 \pm 0.31$	$15.76 \pm 0.13$
3:7	$34.4 \pm 0.09$	$43.6 \pm 0.06$	$75.4 \pm 0.08$	$15.94 \pm 0.26$
2:8	$34.6 \pm 0.23$	$43.9 \pm 0.21$	$75.8 \pm 0.17$	$16.19 \pm 0.31$
1:9	$34.8 \pm 0.16$	$44.1 \pm 0.24$	$76.0 \pm 0.11$	$16.67 \pm 0.21$
0:10	$35.2 \pm 0.10$	$44.3 \pm 0.15$	$76.4 \pm 0.32$	$16.77 \pm 0.22$

表 3 稻米-马铃薯混粉粒度分布比较

Table 3 Grain size of rice-potato mixture powder

稻米粉:马铃薯全粉 (质量比)	D10/ $\mu\text{m}$	D50/ $\mu\text{m}$	D90/ $\mu\text{m}$	平均粒径/ $\mu\text{m}$
10:0	4.285	50.60	193.0	82.35
9:1	4.380	54.02	321.0	94.62
8:2	4.397	57.38	258.1	107.63
7:3	5.645	88.61	315.2	136.62
6:4	5.906	95.53	315.9	140.67
5:5	7.987	136.87	463.56	159.87
4:6	10.94	196.4	523.9	168.54
3:7	11.63	199.7	529.1	175.89
2:8	31.34	237.2	562.8	255.92
1:9	35.14	252.5	583.2	276.63
0:10	36.5	257.8	600.7	280.8

值与平均粒径相差较大,说明随着马铃薯全粉添加量增加,混粉粒径增大幅度增加,由于马铃薯全粉的粒径普遍大于稻米全粉,因此使得混粉颗粒粒径大小不够均匀。

## 2.7 混粉的质构特性

从表4可以看出,混粉复配比例对其回复性、

内聚性都有影响,其中,混粉的硬度、弹性、咀嚼性随着马铃薯全粉在混粉中比例的增大而减小。混粉的凝胶质构特性与稻米粉和马铃薯全粉的直链淀粉和支链淀粉含量有关,直链淀粉含量增加,分子间的作用就会变大<sup>[23]</sup>,而支链淀粉使得分子相互缠绕,凝胶软结构不易被破坏<sup>[24]</sup>。

表4 稻米-马铃薯混粉的质构特性比较

Table 4 Comparison of texture characteristics of rice-potato flour mixture

稻米粉:马铃薯全粉 (质量比)	硬度/gf	回复性/gf·mm	内聚性	弹性	黏性	咀嚼性/gf
10:0	589.08	11.27	0.45	54.01	153.47	72.68
9:1	493.47	11.04	0.43	52.74	126.48	64.32
8:2	443.67	10.84	0.42	51.68	106.49	57.25
7:3	429.84	10.61	0.39	48.72	90.21	51.68
6:4	391.62	10.10	0.36	47.15	84.24	47.56
5:5	334.48	9.78	0.34	46.25	72.61	35.98
4:6	304.01	9.63	0.32	45.68	70.36	33.59
3:7	289.78	9.52	0.30	45.30	66.65	30.48
2:8	274.67	9.49	0.29	45.15	65.45	29.08
1:9	260.14	9.48	0.28	44.68	63.49	28.16
0:10	246.47	9.34	0.28	44.17	61.64	27.46

## 2.8 混粉的流变特性

从图4和图5中可以看出,混粉面团的储能模量和耗能模量随着频率的增大而增大,马铃薯

全粉占比越大,混粉面团的储能模量和耗能模量也越大。这说明马铃薯全粉的加入可明显改善混粉面团的流变性<sup>[25]</sup>。

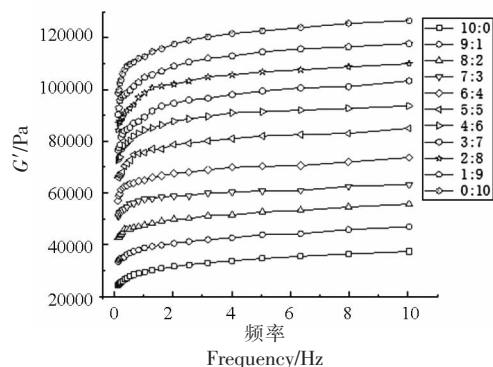


图4 不同混合比例对面团  $G'$  的影响

Fig.4 Influence of different mixing ratio on  $G'$  of mixed flour dough

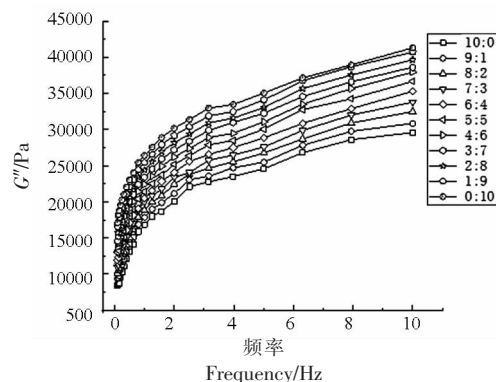


图5 不同混合比例对面团  $G''$  的影响

Fig.5 Influence of different mixing ratio on  $G''$  of mixed flour dough

## 2.9 混粉的糊化特性

从表5可以看出,稻米-马铃薯混粉的各项指标都随着马铃薯全粉占比的增大而降低,这是由于稻米淀粉和马铃薯淀粉的微晶结构不同,稻米

淀粉的微晶结构更加复杂,水分子进入需要的能量较大,所以混粉的糊化温度会随马铃薯全粉比例的增大而大<sup>[26-27]</sup>。SBV值表示老化趋势,随着马铃薯全粉在混粉中比例的增大,混粉的老化程度



逐渐减弱。随着马铃薯全粉在混粉中比例的增大,混粉的凝胶稳定性提高。BDV 值为淀粉崩解时的

稳定性,数值越小则表示稳定性越高<sup>[28-29]</sup>。

表 5 稻米-马铃薯混粉的糊化特性比较

Table 5 Comparison of gelatinization characteristics of rice-potato flour mixture

稻米粉:马铃薯全粉 (质量比)	PV	TV	BDV	FV	SBV	PTm
10:0	3 316	1 870	1 446	2 966	1 096	67.35
9:1	3 058	1 749	1 609	2 986	1 237	66.7
8:2	2 776	1 509	1 267	2 613	1 104	66.5
7:3	2 571	1 384	1 187	2 501	1 117	66.15
6:4	2 408	1 413	995	2 434	1 021	65.15
5:5	2 170	1 256	914	2 355	999	64.21
4:6	2 055	1 131	884	2 216	985	63.15
3:7	1 928	1 074	854	2 136	962	58.75
2:8	1 775	938	769	2 038	930	55.64
1:9	1 613	933	637	1 845	912	52.12
0:10	1 407	864	594	1 776	897	50.15

## 2.10 混粉的溶解度和膨胀度

从图 6 和图 7 可以看出,混粉的溶解度和膨胀度与温度变化成正比,且与马铃薯全粉添加比例也成正比,这是由于马铃薯全粉的吸水能力更

强,且颗粒相对较大,由于马铃薯全粉颗粒有带负电荷的磷酸酯基团,其亲水能力大于淀粉分子中的羟基,更有利于吸水膨胀。

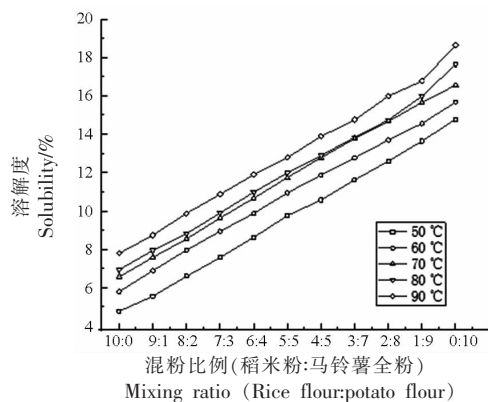


图 6 不同混粉比例对溶解度的影响

Fig.6 Influence of different mixing ratio on solubility of mixed powder

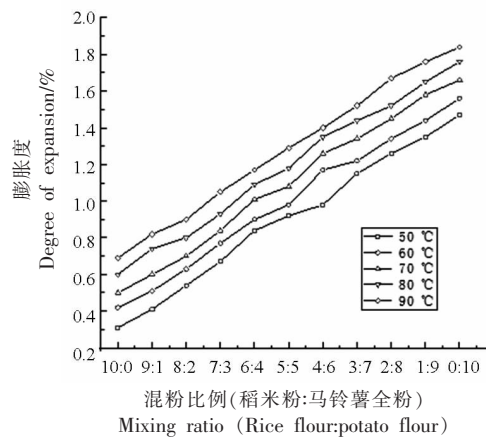


图 7 不同混粉比例对膨胀度的影响

Fig.7 Influence of different mixing ratio on swelling degree of mixing powder

## 2.11 混粉的冻融稳定性

图 8 是不同比例下混合粉冻融稳定性的比较,随着马铃薯全粉占比增加,析水率逐渐下降。这说明与稻米全粉相比,马铃薯全粉的冻融稳定性更好。这是因为稻米全粉与马铃薯全粉经过糊化后,马铃薯全粉与水分子的作用强于稻米全粉,分子链减小,使得冻融过程中水析出少。

## 3 结论

稻米-马铃薯混粉的理化性质,随马铃薯全粉添加量的变化,发生了明显的改变。混粉中随马铃薯全粉占比增大,混粉的营养成分逐渐升高,糊化特性参数随之升高,质构特性参数有明显降低,储能模量和耗能模量有所提高,溶胀度与冻融稳定性与马铃薯全粉的添加量成正比。马铃薯全粉与

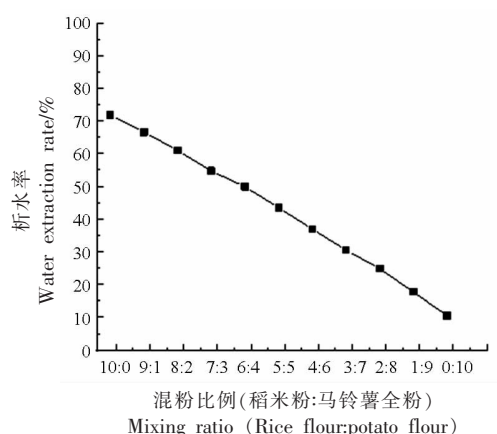


图8 不同混粉比例对冻融稳定性的影响

Fig.8 Influence of different mixing ratio on freeze-thaw stability of mixing powder

稻米粉进行复配可改善混粉的理化性质,在混粉食品加工过程中,可根据不同需求确定混粉比例。

### 参 考 文 献

- [1] 王毅, 刘培勇, 刘孝英, 等. 我国方便米饭研究现状与发展前景[J]. 食品工业, 2021, 42(11): 267-272.  
WANG Y, LIU P Y, LIU X Y, et al. Research status and development prospect of instant rice in China[J]. Food Industry, 2021, 42(11): 267-272.
- [2] 王曦, 张磊, 陆建飞, 等. 我国稻米产业融合发展的研究进展[J]. 中国稻米, 2021, 27(3): 1-5.  
WANG X, ZHANG L, LU L F, et al. Research progress of integrated development of rice industry in China[J]. China Rice, 2021, 27(3): 1-5.
- [3] CAO J, ZHANG Z, TAO F L, et al. Integrating multi-source data for rice yield prediction across China using machine learning and deep learning approaches[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2021, 297(1): 108275.
- [4] PARK J, SUNG J M, CHOI Y S, et al. Effect of natural fermentation on milled rice grains: Physicochemical and functional properties of rice flour[J]. Food Hydrocolloids, 2020, 108: 1-5.
- [5] 李慧, 林勇, 高田毅, 等. 马铃薯稻米混合粉饼干的工艺优化[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 112-116.  
LI H, LIN Y, GAO T Y, et al. Process optimization of potato rice mixed powder cake[J]. Grain and Fat, 2021, 34(12): 112-116.
- [6] CUI L L, TIAN Y G, TIAN S Q, et al. Preparation of potato whole flour and its effects on quality of flour products: A review[J]. Grain & Oil Science and Technology, 2018, 1(3): 2-4.
- [7] 赵祉强, 李晓龙. 浅议马铃薯的营养价值与功效[J]. 中国果菜, 2019, 39(1): 45-47.  
ZHAO Z Q, LI X L. Discussion on the nutritional value and efficacy of potato[J]. China Fruits and Vegetables, 2019, 39(1): 45-47.
- [8] 叶小清, 刘婷婷, 谢定源, 等. 马铃薯全粉对大米粉理化特性的影响[J]. 食品科技, 2017, 42(4): 1-10.  
YE X Q, LIU T T, XIE D Y, et al. Effects of potato flour on physicochemical properties of rice flour[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(4): 1-10.
- [9] 孙京田, 王书运, 谢英渤. 常见豆科植物种子淀粉粒的扫描电镜观察[J]. 山东师大学报(自然科学版), 1990(3): 89-93.  
SUN J T, WANG S Y, XIE Y B. Scanning electron microscope observation of starch granules in seeds of common legumes[J]. Journal of Shandong Normal University (Natural Science Edition), 1990(3): 89-93.
- [10] 张文杰. 藜麦全粉与淀粉的理化性质与结构研究及应用[D]. 郑州: 郑州轻工业院, 2016.  
ZHANG W J. Study on the physicochemical properties and structure of quinoa flour and starch and its application [D]. Zhengzhou: Zhengzhou Institute of Light Industry, 2016.
- [11] GOMANDA S V, LAMBERS L, DERDE L J, et al. Structural properties and gelatinisation characteristics of potato and cassava starches and mutants thereof[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24(4): 307-317.
- [12] 赵凯, 陈威, 宫玉晶, 等. 酶脱支处理对颗粒态缓慢消化淀粉形成的影响[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(2): 42-47.  
ZHAO K, CHEN W, GONG Y J, et al. Effect of enzyme debranching treatment on formation of granular slowly digestible starch[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(2): 42-47.
- [13] 眭红卫, 李斌. 非晶态稻米淀粉的冷冻球磨法高效制备研究[J]. 中国粮油学报, 2009(5): 53-57.  
SUI H W, LI B. Preparation of amorphous rice

- starch by freezing ball milling[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Society, 2009(5): 53-57.
- [14] 郎凯红. 大米凝胶特性的评价与检测[D]. 郑州: 河南工业大学, 2012.
- LANG K H. Evaluation and detection of rice gel properties[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2012.
- [15] 张煜, 窦博鑫, 刘丽宅, 等. TGase与谷朊粉添加对马铃薯全粉-小麦粉混合粉面团特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(2): 47-51.
- ZHANG Y, DOU B X, LIU L Z, et al. Effects of TGase and wheat gluten addition on the characteristics of potato flour-wheat flour mixed flour dough[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(2): 47-51.
- [16] SUN Q J, SI F M, XIONG L, et al. Effect of dry heating with ionic gums on physicochemical properties of starch[J]. Food Chemistry, 2013, 136(3/4): 1421-1425.
- [17] 井月欣, 董海洲. 白糯小麦粉与糯米粉物化特性的比较[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(9): 1-7.
- JING Y X, DONG H Z. Comparison of physicochemical properties of white glutinous wheat flour and glutinous rice flour[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Society, 2014, 29(9): 1-7.
- [18] 田建珍, 沈莎莎. 小麦制粉过程中的吸风粉淀粉与小麦粉淀粉的理化性质对比研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(5): 1-7.
- TIAN J Z, SHEN S S. Comparative study on physicochemical properties of starch from air absorption powder and wheat flour during wheat milling[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Society, 2015, 30(5): 1-7.
- [19] 李素玲, 高群玉, 刘垚, 等. 硬脂酸木薯微晶淀粉酯性质研究及结构表征[J]. 粮食与油脂, 2009(8): 10-13.
- LI S L, GAO Q Y, LIU Y, et al. Structural characterization and study on properties of cassava microcrystalline stearate starch[J]. Grain & Oils, 2009(8): 10-13.
- [20] 田鑫. 不同品种马铃薯全粉微观结构与品质特性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2017.
- TIAN X. Study on microstructure and quality characteristics of potato whole powder of different varieties[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2017.
- [21] 李茹, 古丽热汗·依明, 黄钰雯, 等. 马铃薯全粉产品结构及性质的测定研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(16): 89-92.
- LI R, GULIREHAN·Y M, HUANG Y W, et al. Study on the structure and properties of potato powder products[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(16): 89-92.
- [22] 吴跃, 陈正行, 林亲录, 等. FT-IR光谱法测定籼米淀粉回生[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2011(5): 545-551.
- WU Y, CHEN Z X, LIN Q L, et al. Retrogradation of long-shaped rice starch by FT-IR spectra[J]. Journal of Jiangsu University (Natural Science Edition), 2011(5): 545-551.
- [23] 闫巧珍, 高瑞雄. 马铃薯-小麦粉混粉的理化性质与消化特性研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(22): 173-177.
- YAN Q Z, GAO R X. Study on physicochemical properties and digestive characteristics of potato wheat flour mixture[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(22): 173-177.
- [24] ZAIDUL I S M, ABSAR N, KIM S J, et al. DSC study of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, cassava, and yam starches[J]. Food Engineering, 2007, 86(1): 68-73.
- [25] 刘鑫, 陈金凤, 徐晓琴, 等. 小米粉添加量对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2020, 55(5): 212-218.
- LIU X, CHEN J F, XU X Q, et al. Effects of rice flour addition on thermal mechanical and dynamic rheological properties of wheat dough[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2020, 55(5): 212-218.
- [26] 王春香, 张国权. 马铃薯全粉-小麦粉混粉流变学特性的实验研究[J]. 粮食与饲料工业, 2004(10): 34-35.
- WANG C X, ZHANG G Q. Experimental study on rheological properties of potato flour mixed with wheat flour[J]. Food and Feed Industry, 2004(10): 34-35.
- [27] 王丽, 李淑荣, 句荣辉, 等. 马铃薯淀粉的消化吸收特性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(20): 220-224.
- WANG L, LI S Y, JU R H, et al. Advances in studies on digestion and absorption characteristics of potato starch[J]. Food Research and Development, 2021, 42(20): 220-224.
- [28] MATTICE K D, MARANGONI A G. Gelatinized



wheat starch influences crystallization behaviour and structure of roll-in shortenings in laminated bakery products[J]. *Food Chemistry*, 2018, 243: 396–402.

[29] 张梦潇, 周文化, 杨代明, 等. 不同品种紫薯淀粉结构与其面团品质的关系[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(8): 182–192.

ZHANG M X, ZHOU W H, YANG D M, et al. Relationship between starch structure and dough quality characteristics of different varieties of purple sweet potato[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(8): 182–192.

## The Granular Structure and Physicochemical Properties of Rice and Potato Powder Blends

Xu Zhong, Yan Yuhan, Chen Fenglian, Zhang Na\*

(*School of Food Engineering, Harbin University of Commerce, Harbin 150076*)

**Abstract** In order to improve the nutritional value of metric staple food, rice flour and potato snowflake whole powder were mixed according to different proportions. The microstructure, chemical structure, crystal structure, particle size, gelatinization property, thermal stability and rheological properties of the powder were analyzed and studied by means of scanning electron microscope, infrared spectrometer, X-ray diffractometer, particle size analyzer, viscometer, differential thermal analyzer, rheometer and texture analyzer. The results showed that the surface of rice flour and potato snowflake powder was smoother than that of potato flour. The surface of potato flour was damaged in the process of production, so the surface of rice flour looked irregular and rough. The infrared spectral peak position of different proportions of mixed powder was basically the same, and the structure of functional groups did not change significantly. The crystal structure of rice flour and potato flour both belong to A-type crystal, and the crystallinity of mixed flour increases with the increase of the proportion of potato flour. The average particle size of rice flour was 82.35  $\mu\text{m}$ , and that of potato whole meal was 280.8  $\mu\text{m}$ . With the increase of the proportion of potato whole meal, the average particle size of mixed meal increased. With the increase of the total flour proportion, the gelatinization temperature and gelatinization enthalpy, the energy storage modulus and energy dissipation modulus, the solubility and swelling degree, the resilience, cohesion, viscosity, decay value and recovery value, the hardness, elasticity and chewability of the potato decreased, and the freeze-thaw stability decreased. The mixing ratio of rice flour and potato flour has a significant effect on the grain structure and physicochemical properties of the mixed flour, which provides reference data for the development of mixed rice staple food.

**Keywords** physical and chemical properties; mixing powder; rice flour; potato whole powder