

## 大米品种对婴幼儿米粉理化品质的影响

谢秋涛<sup>1</sup>, 李梦怡<sup>3</sup>, 苏东林<sup>1</sup>, 戴志勇<sup>3</sup>, 李高阳<sup>2</sup>, 袁洪燕<sup>2\*</sup>, 朱玲凤<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>湖南省农业科学院 湖南省农产品加工研究所 长沙 410125

<sup>2</sup>湖南省农业科学院 长沙 410125

<sup>3</sup>英氏控股集团股份有限公司 长沙 410000)

**摘要** 为探究更适宜婴幼儿米粉加工的原料及不同品种大米对米粉品质的影响,以 10 种优质稻(籼米和粳米各 5 种)为原料,经滚筒干燥加工成婴幼儿米粉,测定原料米及米粉的理化特性、米粉品质等指标,分析大米品种对婴幼儿米粉品质的影响。结果表明,不同样品的理化品质和微观结构存在显著差异,籼米和粳米加工成的婴幼儿米粉各有优缺点。经过滚筒干燥制备的不同米粉样品水分含量均比原料米下降 30%以上,而总淀粉和直链淀粉含量均有所增加。所有米粉样品中 RDS 占比最大,其中籼米创字 9 号和粳米圆粒 9031 加工的米粉 RDS 占比均达到 82%以上,且 RDS 含量高的米粉,水溶性也较高。综合米粉热特性、糊化特性、流变特性、扫描电镜图像等理化品质,籼米创字 9 号和粳米圆粒 9031 加工的婴幼儿米粉品质较好。

**关键词** 婴幼儿米粉; 大米; 品种; 理化特性; 品质

**文章编号** 1009-7848(2024)08-0298-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.08.029

近年来,在消费能力提升,营养健康及育婴知识普及等多重因素推动下,我国婴幼儿辅助食品消费需求不断增长,市场呈现出高速增长态势<sup>[1]</sup>。婴幼儿米粉是婴幼儿辅助食品的主要组成部分<sup>[2]</sup>,该产品以大米为主要原料,添加婴幼儿生长发育所必需营养素加工而成。目前国内婴幼儿米粉主要以滚筒干燥的形式生产加工<sup>[3]</sup>,其特点是干燥速率快,生产效率高。加工成的米粉呈片状结构,外观独特,产品结构蓬松多孔,持水性强,水溶性和冲调性好。由于婴幼儿辅食消费群体的特殊性,消费者对产品的关注点主要集中在营养、安全等方面<sup>[4]</sup>,而米粉加工原料品质良莠不齐,很难保证婴幼儿米粉加工原料的专用化和标准化,并对婴幼儿米粉产品质量的稳定性造成影响<sup>[5-6]</sup>。

据前期市场调查,国内婴幼儿米粉生产企业主要以产自东北的粳米为原料,而国外,特别是欧美国家,婴幼儿米粉生产原料主要是籼米,其原因可能是因为中西方饮食习惯、原料来源等差异所

致。我国南方籼米资源丰富,特别是湖南作为水稻种植面积和产量均居全国前列的粮食大省<sup>[7]</sup>,适合加工的品种多,且价格相对粳米便宜,籼米加工潜力尚待进一步挖掘<sup>[8-10]</sup>。目前,以单一品种大米加工米线、米面包、全谷物米粉等米制品的研究均有报道<sup>[11-13]</sup>,而在婴幼儿米粉研究方面,特别是籼米与粳米加工的米粉品质分析方面的研究较少。张亭亭等<sup>[14]</sup>研究了粳米、早籼米和糯米经挤压膨化技术加工得到的婴幼儿米粉的理化及消化特性,发现在相同挤压膨化条件下,不同大米加工的产品在膨化度、吸水指数和水溶性指数方面差异显著,早籼米米粉抗性淀粉含量最高,糯米快速消化淀粉含量和蛋白质总消化率最低。张荣彬等<sup>[15]</sup>研究了粳米与籼米组合对婴幼儿米粉食用品质的影响,发现直链淀粉含量对米粉品质具有重要影响。邱婷婷等<sup>[16]</sup>研究了滚筒干燥和挤压膨化对黑米等谷物粉理化性质及贮藏稳定性的影响,发现经两种工艺加工能改善黑米粉等产品储藏期间因油脂氧化带来的品质劣化,增强产品储藏稳定性。Ferreira 等<sup>[17]</sup>研究以  $\alpha$ -淀粉酶和淀粉葡萄糖苷酶水解的米粉为原料,开发了一种新型无麸质婴幼儿米粉产品。Ayselia 等<sup>[18]</sup>的研究表明添加藜麦粉可以改善婴幼儿米粉的理化、流变和感官性能,当添加量为 8%时,产品感官得分最高。

**收稿日期:** 2024-02-18

**基金项目:** 湖南省农业科技创新基金项目(2023CX37, 2023CX09);湖南省现代农业产业技术体系

**第一作者:** 谢秋涛,男,硕士,副研究员

**通信作者:** 袁洪燕 E-mail: 853120045@qq.com

朱玲凤 E-mail: 271028633@qq.com

不同原料及工艺对婴幼儿米粉产品品质特性均影响显著。筛选适合加工婴幼儿米粉的大米原料,不仅可使加工原料专用化、标准化,保持婴幼儿米粉产品质量的稳定性,也可研判不同品种大米加工用途,高效利用本地适宜资源,有针对性地开发适宜不同月龄、不同体质婴幼儿食用的辅食米粉。目前,对于不同品种大米加工的婴幼儿米粉理化品质的分析报道较少。本研究以10种优质稻(5种籼米,5种粳米)为原料,采用滚筒干燥工艺制备婴幼儿米粉,研究不同品种大米及其米粉理化性质的差异,为优选婴幼儿米粉加工原料提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

籼米品种:岭香丝苗、创香31、玉晶91、玉针香、创宇9号,湖南省水稻研究所提供。

粳米品种:稻花香2号、圆粒9031、绥粳18,英氏控股集团有限公司提供;越光、松粳6号,购于麦德龙长沙开福商场店。

A3176  $\alpha$ -淀粉酶(猪源),美国Sigma公司;P816235胃蛋白酶(猪源),A800618淀粉葡萄糖苷酶,上海麦克林生化科技有限公司。其它所用试验试剂均为国产分析纯级。

### 1.2 仪器与设备

FW100高速粉碎机,天津市泰斯特仪器有限公司;DF-101S恒温加热磁力搅拌器,巩义市予华仪器有限责任公司;DHG-9053A电热恒温鼓风干燥箱,上海精宏实验设备有限公司;LXJ-IIB低速大容量多管离心机,上海安亭科学仪器厂;RVA4800快速黏度仪,珀金埃尔默企业管理(上海)有限公司;DSC 25差示扫描量热仪、HR 10流变分析仪,美国TA公司;EVO LS10扫描电子显微镜,德国蔡司公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品制备

1.3.1.1 大米样品制备 将10种不同大米干燥至含水量为12%,粉碎过100目筛,干燥、避光储藏备用。

1.3.1.2 婴幼儿米粉制备 将大米和水按质量比1:1混合打成米浆,米浆经胶体磨处理后,采用滚

筒干燥方式制备片状米粉,滚筒干燥温度为120℃,滚筒转速为5 r/min,片状米粉粉碎过100目筛,干燥、避光储藏备用。

1.3.2 基本成分测定 分别参照国家标准《国家标准食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3-2010)、《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》(GB 5009.9-2016)和《大米 直链淀粉含量的测定》(GB/T 15683-2008)中规定的方法,测定样品水分、总淀粉和直链淀粉含量。

1.3.3 糊化特性的测定 参照国家标准《大米及米粉糊化特性测定 快速粘度仪法》(GB/T 24852-2010)中的方法测定大米及米粉的糊化特性。

1.3.4 热力学性质的测定 参考Meng等<sup>[9]</sup>的方法并作适当修改。用分析天平准确称取5~8 mg 1.3.1节步骤中制备的样品,置于差示扫描量热仪(DSC)专用铝盒中,然后用压片机将铝盒密封,放进DSC的样品架上扫描。以空白盘作为参比,充入氮气,流量40 mL/min,升温速率为10℃/min,温度测定范围30~95℃。使用软件从DSC曲线计算起始温度( $T_0$ )、峰值温度( $T_p$ )、终止温度( $T_c$ )和糊化焓( $\Delta H$ )。

1.3.5 流变特性的测定 流变特性测定的样品是糊化特性测定后的米粉糊,即用分析天平准确称取3.0 g样品,量取25 mL去离子水,转移至差示扫描量热仪(DSC)专用铝盒中,然后用搅拌器置于铝盒中快速搅动,使样品分散均匀,并升温至50℃。将样品从50℃加热至95℃(升温速率12℃/min),在95℃下保持3 min,然后冷却至50℃(冷却速度为12℃/min),并在50℃下保持2 min,得到待测样品。参考Ma等<sup>[20]</sup>的方法并作适当修改。在进行频率扫描测试之前,已做样品应变扫描,1%的应变处于样品线性黏弹性区域。

静态流变测定:夹具选用直径为40 mm、2°的帖板,狭缝间隙设置为49  $\mu\text{m}$ ,1%应变,样品被转移到流变仪板上,并在测定前在25℃下平衡3 min。剪切力范围为0.1~100  $\text{s}^{-1}$ ,测定样品黏度。

动态流变测定:夹具选用直径为40 mm、0°的平板,狭缝间隙设置为1.0 mm,1%应变,角频率范围为0.1~100 rad/s,测定样品储能模量( $G'$ )和损耗模量( $G''$ )。

1.3.6 水溶性(S)和溶胀能力(SP)的测定 参考

Sun 等<sup>[21]</sup>的方法并作适当修改。将 0.2 g 样品均匀分散在 10 mL 去离子水中,加热至 30 ℃,保持 30 min,每隔 5 min 轻轻搅拌样品。然后,使用离心机在 3 000 r/min 下离心 20 min。将上清液倒入干燥皿中,置于烘箱中 105 ℃干燥至恒重。S 和 SP 的计算见式(1)和式(2)。

$$S(\%) = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

$$SP(\text{g/g}) = \frac{m_2}{m_0 \times (100\% - S)} \quad (2)$$

式中: $m_0$  为样品质量,g; $m_1$  为上清液烘干恒重后的质量,g; $m_2$  为离心管中沉淀的质量,g。

1.3.7 米粉淀粉体外消化性的测定 参考 Zhang 等<sup>[22]</sup>和叶江平<sup>[23]</sup>的方法并作适当修改。将 50 mg 样品和 2 mL 去离子水加入带有 2 个玻璃珠的 15 mL 离心管中,水浴加热煮沸 10 min,冷却至 37 ℃,加入 2 mL 盐酸溶液(pH 2)和 1 mg 3 000 U/g 的胃蛋白酶,37 ℃、150 r/min 水浴振荡 30 min。然后将溶液与 4 mL 醋酸钠缓冲液(pH 5.2)和 1 mL 混合酶液(290 U/mL 猪胰腺  $\alpha$ -淀粉酶,15 U/mL 淀粉葡萄糖苷酶)混合,将样品管放入连续摇动的槽中。在孵育过程中,分别取 0, 20, 120 min 的水解液 1 mL,并与 4 mL 的 95%乙醇混合以终止酶反应,混合物以 8 000 r/min 的速度离心 5 min,用二硝基水杨酸法(DNS 法)测定上清液中的葡萄糖含量。分别使用公式(3)、(4)、(5)计算快消化淀粉(Rapidly digestible starch, RDS)、慢消化淀粉(slowly digestible starch, SDS)和抗性淀粉(resistant starch, RS)的含量。

$$RDS(\%) = \frac{G_{20} - FG}{TS} \times 0.9 \times 100 \quad (3)$$

$$SDS(\%) = \frac{G_{120} - G_{20}}{TS} \times 0.9 \times 100 \quad (4)$$

$$RS(\%) = \frac{TS - RDS - SDS}{TS} \times 100 \quad (5)$$

式中:FG 是酶解 0 min 时酶解液中葡萄糖的量,即样品酶解前葡萄糖的含量,mg; $G_{20}$  是酶解 20 min 时酶解液中葡萄糖的量,mg; $G_{120}$  是酶解 120 min 时酶解液中葡萄糖的量,mg;TS 是原始样品中的总淀粉含量,mg;0.9 是葡萄糖到淀粉的转换系数。

1.3.8 扫描电子显微镜(SEM)微观结构观察 取

适量的米粉样品,均匀放置在贴有导电胶的铝制样品台上,用洗耳球吹掉样品台上未贴稳的多余样品,然后将样品及样品台一起放入离子溅射镀膜仪内进行真空镀金,再放入扫描电镜样品室内,在 10 kV 的加速电压下记录样品的微观形态。

#### 1.4 数据分析

所有试验均重复 3 次,所有数据结果以“平均值 $\pm$ 标准差”表示。数据处理和作图分别采用 SPSS 18.0 统计软件和 origin 2021 软件,所有试验显著性水平设定为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 样品水分、总淀粉及直链淀粉含量

2.1.1 样品水分含量 由表 1 可以看出,在原料大米含水量基本相同的情况下,经过滚筒干燥制备的婴幼儿米粉水分含量有显著差异,不同米粉的水分含量在 5.66%~8.10%之间,且米粉水分含量比相应原料米的含水量降低了 30%以上。除松粳 6 号加工的米粉之外,其它粳米和粳米加工的米粉水分含量没有明显差异。在滚筒的高温及剪切作用下,大米淀粉发生糊化,糊化淀粉分子间作用力减弱;同时,在高温作用下,水分迅速从米粉浆中蒸发,从而短时高效生产出水分含量较低的产品<sup>[24]</sup>。我国食品安全国家标准对婴幼儿米粉的水分含量的要求是  $\leq 6\%$ <sup>[25]</sup>,虽然加工条件、加工设备及操作参数的差异可能导致了产品最终含水量的异同,但在相同条件下,米粉水分含量低,对应

表 1 不同品种大米加工成的米粉水分含量结果

Table 1 Moisture content of rice flour processed by different varieties rice

名称	米粉	水分含量/%
粳米	岭香丝苗	6.83 $\pm$ 0.09 <sup>bc</sup>
	创香 31	6.23 $\pm$ 0.24 <sup>bc</sup>
	玉晶 91	5.73 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup>
	玉针香	5.90 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>
	创字 9 号	5.67 $\pm$ 0.69 <sup>c</sup>
粳米	松粳 6 号	8.10 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>
	越光	5.90 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>
	稻花香 2 号	5.73 $\pm$ 0.03 <sup>c</sup>
	圆粒 9031	5.66 $\pm$ 0.24 <sup>c</sup>
	绥粳 18	6.57 $\pm$ 0.19 <sup>bc</sup>

注:不同的小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

的大米可能更易加工成符合要求的产品。松粳 6 号加工的米粉水分含量相对较高,与水分有更好的结合力,若加工成符合国标要求水分含量的米粉,在相同条件下,可能需要供给更多热量使水分蒸发。

**2.1.2 总淀粉和直链淀粉含量** 大米总淀粉和直链淀粉主要受遗传因素和外部环境条件的影响,而米粉总淀粉和直链淀粉又受到其加工原料和加工工艺的影响。10 种大米及其加工的米粉中总淀粉和直链淀粉含量如表 2 所示。不同大米总淀粉和直链淀粉含量分别在 78.0%~85.4%和 14.1%~16.8%范围;米粉中总淀粉和直链淀粉含量分别在 79.4~88.6%和 16.2%~21.5%范围。粳米中直链淀粉含量普遍高于籼米,而不同品种大米间总淀粉含量差异较大。经滚筒干燥处理后,米粉样品中直链淀粉含量均高于相应品种的大米,且粳米米粉

直链淀粉比籼米米粉升高的比例更大,这可能是由于大米中的淀粉在糊化过程中,淀粉吸水溶胀,淀粉内部的直链淀粉被释放出来,导致米粉中直链淀粉含量升高。直链淀粉溶胀能力比支链淀粉低,且短粒型的粳米比长粒型的籼米更容易溶胀糊化<sup>[26-27]</sup>,因此,在相同条件下,粳米释放出的直链淀粉更多,直链淀粉增加比例更高。

除创宇 9 号、稻花香 2 号和圆粒 9031 外,米粉中总淀粉含量比相应品种的大米高,可能原因一是由于米粉水分含量低于大米水分含量,总淀粉在样品中的比重上升。创宇 9 号、稻花香 2 号和圆粒 9031 总淀粉含量略有降低,可能是由于其淀粉结构易受高温及滚筒间剪切力影响,淀粉降解成糊精或小分子糖。淀粉的降解,有利于增加婴幼儿米粉的水溶性。

表 2 不同品种大米及其加工成的米粉总淀粉和直链淀粉含量结果

Table 2 Total starch and amylose content of different rice and rice flour samples

名称	大米总淀粉含量/%	米粉总淀粉含量/%	大米直链淀粉含量/%	米粉直链淀粉含量/%	
籼米	岭香丝苗	78.4 ± 1.2 <sup>d</sup>	80.2 ± 0.5 <sup>e</sup>	14.3 ± 0.1 <sup>d</sup>	17.0 ± 0.3 <sup>f</sup>
	创香 31	78.9 ± 0.6 <sup>cd</sup>	88.1 ± 1.1 <sup>ab</sup>	16.5 ± 0.5 <sup>b</sup>	16.9 ± 0.5 <sup>f</sup>
	玉晶 91	82.9 ± 0.7 <sup>ab</sup>	88.6 ± 0.8 <sup>a</sup>	15.0 ± 0.2 <sup>c</sup>	16.2 ± 0.2 <sup>e</sup>
	玉针香	84.4 ± 1.1 <sup>a</sup>	86.9 ± 0.4 <sup>ab</sup>	14.9 ± 0.3 <sup>c</sup>	17.4 ± 0.6 <sup>e</sup>
	创宇 9 号	81.2 ± 0.8 <sup>bc</sup>	79.4 ± 0.6 <sup>e</sup>	16.8 ± 0.5 <sup>a</sup>	19.5 ± 0.1 <sup>b</sup>
粳米	松粳 6 号	78.8 ± 0.9 <sup>cd</sup>	81.3 ± 0.4 <sup>de</sup>	16.3 ± 0.3 <sup>b</sup>	19.1 ± 0.1 <sup>c</sup>
	越光	84.8 ± 0.8 <sup>a</sup>	87.6 ± 0.3 <sup>ab</sup>	14.1 ± 0.1 <sup>d</sup>	18.1 ± 0.1 <sup>d</sup>
	稻花香 2 号	85.4 ± 0.9 <sup>a</sup>	83.3 ± 0.9 <sup>c</sup>	14.4 ± 0.3 <sup>d</sup>	19.7 ± 0.2 <sup>b</sup>
	圆粒 9031	85.0 ± 1.0 <sup>a</sup>	82.8 ± 0.5 <sup>cd</sup>	14.1 ± 0.2 <sup>d</sup>	18.1 ± 0.5 <sup>d</sup>
	绥粳 18	78.0 ± 1.1 <sup>d</sup>	86.2 ± 0.8 <sup>b</sup>	14.4 ± 0.7 <sup>d</sup>	21.5 ± 0.4 <sup>a</sup>

注:相同列中不同的字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.2 样品热特性分析

10 种大米热特性如表 3 所示,存在显著差异。10 种大米的  $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$  和  $\Delta H$  分别在 53.2~67.1 °C、64.8~74.2 °C、71.0~79.3 °C 和 4.15~5.45 J/g 范围;有研究表明, $T_p$  值表示样品的热稳定性; $\Delta H$  表示样品糊化前、后的焓变值,即糊化所需的能量。由表 3 可知,籼米比粳米的热稳定性高,这可能是由于籼米比粳米更容易发生淀粉回生,而淀粉回生可能形成热稳定性更高的抗性淀粉<sup>[28]</sup>,导致籼米的  $T_p$  值高于粳米;创宇 9 号的  $\Delta H$  最低,表明需要较少的热能即可糊化。粳米的  $\Delta H$  普

遍比籼米的高,可能是由于粳米淀粉结构结晶度高,相变所需要的能量更高所致。有研究表明<sup>[26-27]</sup>,直链淀粉含量与淀粉解离温度  $T_0$ 、 $T_p$ 、 $T_c$  和糊化焓  $\Delta H$  呈负相关关系,结晶度与淀粉解离温度呈正相关关系,表明直链淀粉对破坏颗粒晶体的有序性和稳定性有影响,从而降低淀粉糊化热阻。这与本试验大米中直链淀粉含量测定结果相一致。

米粉样品的 DSC 曲线如图 1 所示,可以看出,米粉样品无放热峰或吸热峰,说明在测定过程中米粉未发生相变,可能原因是大米经滚筒干燥加工,迅速熟化并脱水,形成预糊化淀粉,淀粉晶

体结构被破坏,再经加热,只发生热量的传递,而无相变发生,故 DSC 曲线上无峰值出现。热流的绝对值大小可表示样品热稳定性的高低,从图 1 可以看出,籼米米粉普遍比粳米米粉热稳定性高,

而创宇 9 号制备的米粉热稳定性与粳米米粉相似。米粉热稳定性高,冲调时需要更高的温度才能使淀粉溶胀。

表 3 不同品种大米热特性参数

Table 3 Thermal parameters of different varieties rice samples

大米	起始温度(T <sub>0</sub> )/°C	峰值温度(T <sub>p</sub> )/°C	终止温度(T <sub>c</sub> )/°C	糊化焓(ΔH)/(J/g)	
籼米	岭香丝苗	63.9 ± 0.0 <sup>b</sup>	71.3 ± 0.1 <sup>c</sup>	77.4 ± 0.0 <sup>e</sup>	5.43 ± 0.03 <sup>a</sup>
	创香 31	62.8 ± 0.0 <sup>c</sup>	70.6 ± 0.0 <sup>d</sup>	76.4 ± 0.1 <sup>d</sup>	4.76 ± 0.03 <sup>d</sup>
	玉晶 91	67.1 ± 0.1 <sup>a</sup>	74.2 ± 0.0 <sup>a</sup>	79.3 ± 0.1 <sup>a</sup>	4.33 ± 0.02 <sup>e</sup>
	玉针香	63.7 ± 0.1 <sup>b</sup>	71.8 ± 0.1 <sup>b</sup>	78.3 ± 0.1 <sup>b</sup>	4.97 ± 0.01 <sup>c</sup>
	创宇 9 号	62.1 ± 0.2 <sup>d</sup>	69.6 ± 0.1 <sup>c</sup>	71.7 ± 0.1 <sup>b</sup>	4.15 ± 0.01 <sup>f</sup>
粳米	松粳 6 号	53.3 ± 0.1 <sup>gh</sup>	66.4 ± 0.0 <sup>g</sup>	73.5 ± 0.1 <sup>g</sup>	4.97 ± 0.02 <sup>c</sup>
	越光	57.8 ± 0.0 <sup>e</sup>	68.3 ± 0.1 <sup>f</sup>	74.6 ± 0.1 <sup>f</sup>	4.98 ± 0.02 <sup>c</sup>
	稻花香 2 号	53.2 ± 0.0 <sup>h</sup>	64.8 ± 0.0 <sup>i</sup>	71.0 ± 0.0 <sup>i</sup>	5.45 ± 0.02 <sup>a</sup>
	圆粒 9031	53.6 ± 0.0 <sup>g</sup>	67.9 ± 0.0 <sup>f</sup>	75.0 ± 0.0 <sup>e</sup>	4.97 ± 0.01 <sup>c</sup>
	绥粳 18	53.8 ± 0.1 <sup>f</sup>	65.9 ± 0.1 <sup>h</sup>	73.5 ± 0.1 <sup>g</sup>	5.27 ± 0.02 <sup>b</sup>

注:相同列中不同的小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

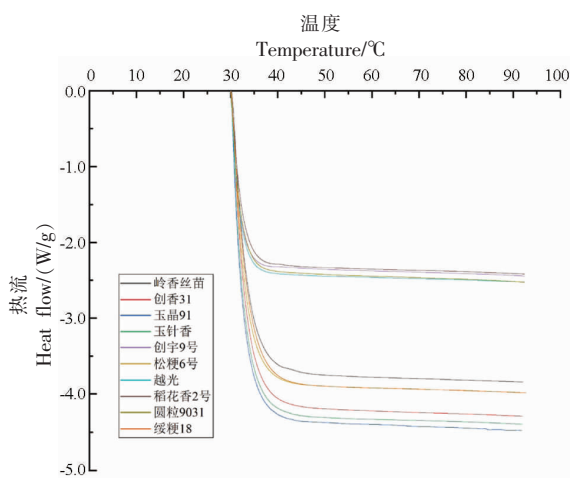


图 1 不同品种大米加工成的米粉 DSC 曲线

Fig.1 DSC curves of rice flour samples processed by different varieties rice

### 2.3 样品糊化特性分析

由表 4 和图 2 可以看出,10 种大米糊化特性有显著差异。籼米中的玉晶 91 和粳米中的越光,峰值黏度大,衰减值大;在糊化降温阶段,大米原淀粉结构已被破坏,直链淀粉从淀粉颗粒中游离出来,直链淀粉含量增加,而溶出的直链淀粉在降温过程中重结晶,导致玉晶 91 和越光的黏度随之

升高。有研究表明,峰值黏度与样品直链淀粉含量呈负相关关系<sup>[29]</sup>,这与本试验大米中直链淀粉含量测定结果较一致。

由表 5 和图 3 可以看出,10 种大米加工的米粉在糊化过程中迅速达到峰值黏度,而最终黏度和回生值均显著下降,其原因可能是由于大米经滚筒干燥处理后,淀粉处于糊化状态,糊化淀粉迅速吸水溶胀,黏度迅速上升;糊化淀粉重结晶能力减弱,淀粉形成的凝胶强度降低,导致米粉糊化过程中黏度降低,热稳定性提高,不易发生回生现象,滚筒干燥加工的米粉产品品质稳定性提高<sup>[15]</sup>。

大米和米粉样品随着温度的升高,其淀粉颗粒在水中受热发生溶胀,导致黏度逐渐增大,当米糊黏度增加至峰值黏度后,淀粉颗粒因过度吸水发生破裂,会导致米糊黏度逐渐降低至最低,随后温度降低,部分淀粉分子在氢键的作用下老化结晶,使米糊黏度再次升高<sup>[30]</sup>。6 月龄至 12 月龄婴幼儿吞咽能力较弱,且刚添加辅食,食物仍需以流体或泥糊状食品为主,因此,在相同冲调条件下,米粉糊产品应具备黏度低、流动性好等特点。创宇 9 号和圆粒 9031 加工的米粉在本试验所选样品中最终黏度和回生值均较小,符合产品特性。

表 4 不同品种大米糊化特性参数

Table 4 Pasting parameters of different varieties rice samples

大米	品种	峰值黏度/cP	最低黏度/cP	衰减值/cP	最终黏度/cP	回生值/cP
籼米	岭香丝苗	2 811 ± 12 <sup>c</sup>	1 832 ± 12 <sup>b</sup>	979 ± 3 <sup>d</sup>	2 931 ± 10 <sup>b</sup>	1 099 ± 2 <sup>b</sup>
	创香 31	2 642 ± 8 <sup>c</sup>	1 849 ± 2 <sup>b</sup>	794 ± 6 <sup>f</sup>	2 944 ± 13 <sup>b</sup>	1 095 ± 11 <sup>b</sup>
	玉晶 91	3 382 ± 4 <sup>a</sup>	1 841 ± 2 <sup>b</sup>	1 542 ± 2 <sup>a</sup>	2 856 ± 5 <sup>c</sup>	1 015 ± 4 <sup>d</sup>
	玉针香	2 747 ± 9 <sup>d</sup>	1 712 ± 8 <sup>c</sup>	1 035 ± 2 <sup>c</sup>	2 744 ± 3 <sup>d</sup>	1 032 ± 4 <sup>cd</sup>
	创宇 9 号	2 583 ± 1 <sup>f</sup>	1 695 ± 2 <sup>c</sup>	887 ± 1 <sup>e</sup>	2 747 ± 1 <sup>d</sup>	1 052 ± 2 <sup>c</sup>
粳米	松粳 6 号	2 069 ± 20 <sup>b</sup>	1 356 ± 22 <sup>f</sup>	713 ± 4 <sup>g</sup>	2 459 ± 22 <sup>g</sup>	1 103 ± 2 <sup>b</sup>
	越光	3 149 ± 2 <sup>b</sup>	2 057 ± 1 <sup>a</sup>	1 092 ± 1 <sup>b</sup>	3 334 ± 1 <sup>a</sup>	1 278 ± 1 <sup>a</sup>
	稻花香 2 号	2 156 ± 7 <sup>e</sup>	1 587 ± 6 <sup>d</sup>	569 ± 1 <sup>j</sup>	2 600 ± 4 <sup>c</sup>	1 012 ± 3 <sup>d</sup>
	圆粒 9031	2 545 ± 2 <sup>f</sup>	1 861 ± 0 <sup>b</sup>	684 ± 2 <sup>h</sup>	2 912 ± 2 <sup>b</sup>	1 051 ± 2 <sup>c</sup>
	绥粳 18	2 066 ± 18 <sup>b</sup>	1 451 ± 16 <sup>e</sup>	615 ± 4 <sup>i</sup>	2 536 ± 10 <sup>f</sup>	1 085 ± 7 <sup>b</sup>

注: 相同列中不同的小写字母表示差异显著(P<0.05)。

表 5 不同品种大米加工成的米粉糊化特性参数

Table 5 Pasting parameters of rice flour samples processed by different varieties rice

米粉	品种	峰值黏度/cP	最低黏度/cP	衰减值/cP	最终黏度/cP	回生值/cP
籼米	岭香丝苗	2 189 ± 16 <sup>c</sup>	714 ± 8 <sup>ab</sup>	1 475 ± 9 <sup>c</sup>	1 266 ± 8 <sup>a</sup>	552 ± 1 <sup>a</sup>
	创香 31	2 274 ± 7 <sup>d</sup>	681 ± 5 <sup>bc</sup>	1 594 ± 1 <sup>d</sup>	1 093 ± 6 <sup>b</sup>	412 ± 2 <sup>c</sup>
	玉晶 91	1 633 ± 15 <sup>e</sup>	751 ± 18 <sup>a</sup>	882 ± 2 <sup>i</sup>	1 296 ± 10 <sup>a</sup>	545 ± 8 <sup>a</sup>
	玉针香	3 092 ± 6 <sup>a</sup>	645 ± 4 <sup>c</sup>	2 447 ± 2 <sup>a</sup>	1 119 ± 8 <sup>b</sup>	474 ± 5 <sup>b</sup>
	创宇 9 号	2 169 ± 9 <sup>c</sup>	515 ± 11 <sup>e</sup>	1 654 ± 2 <sup>c</sup>	788 ± 4 <sup>c</sup>	273 ± 7 <sup>f</sup>
粳米	松粳 6 号	2 744 ± 2 <sup>b</sup>	727 ± 2 <sup>ab</sup>	2 018 ± 3 <sup>b</sup>	1 276 ± 2 <sup>a</sup>	550 ± 2 <sup>a</sup>
	越光	2 582 ± 5 <sup>c</sup>	579 ± 4 <sup>d</sup>	2 003 ± 1 <sup>b</sup>	972 ± 4 <sup>d</sup>	393 ± 1 <sup>cd</sup>
	稻花香 2 号	1 921 ± 8 <sup>f</sup>	554 ± 4 <sup>de</sup>	1 366 ± 4 <sup>f</sup>	939 ± 2 <sup>d</sup>	385 ± 2 <sup>d</sup>
	圆粒 9031	1 548 ± 20 <sup>h</sup>	406 ± 18 <sup>f</sup>	1 142 ± 3 <sup>g</sup>	750 ± 15 <sup>e</sup>	345 ± 5 <sup>e</sup>
	绥粳 18	1 622 ± 11 <sup>g</sup>	676 ± 12 <sup>bc</sup>	947 ± 2 <sup>h</sup>	1 026 ± 6 <sup>c</sup>	350 ± 6 <sup>e</sup>

注: 相同列中不同的小写字母表示差异显著(P<0.05)。

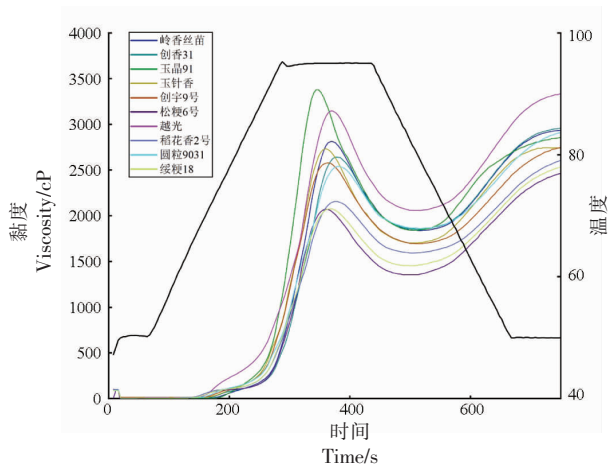


图 2 不同品种大米糊化特性曲线

Fig.2 RVA curves of different varieties rice samples

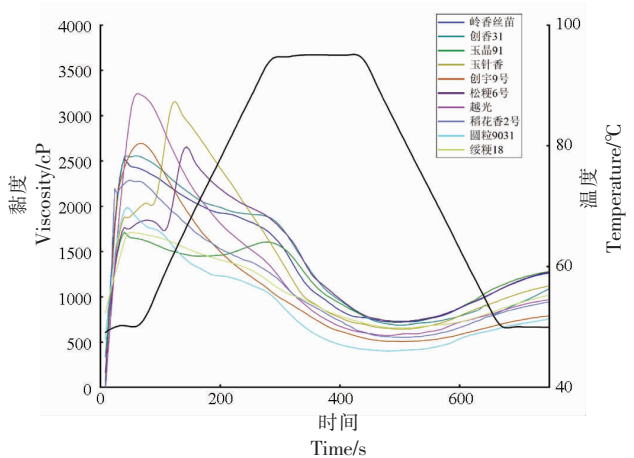


图 3 不同品种大米加工成的米粉糊化特性曲线

Fig.3 RVA curves of rice flour samples processed by different varieties rice

### 2.4 样品流变特性分析

2.4.1 静态流变 10种大米糊及其加工的米粉糊表观黏度与剪切速率的关系曲线如图4、图5所示，所有样品均表现出典型的假塑性流体剪切稀化现象，即随着剪切速率的升高，黏度降低。在相同剪切速率下，米粉糊比大米糊表观黏度更高，米粉糊比大米糊的剪切稀化现象更明显，说明经滚筒干燥处理后，米粉样品的分散性更好。从图中可以看出，10种大米及其加工的米粉中，圆粒9031的大米和米粉糊在剪切力的作用下，表观黏度最小，岭香丝苗最大；圆粒9031和创宇9号加

工的米粉表观黏度升高幅度较小，说明这几种大米加工的米粉分散性较好。

2.4.2 动态流变 10种大米及其加工的米粉储能模量( $G'$ )和损耗模量( $G''$ )与角频率的关系曲线如图6、图7所示。不同品种大米及其加工的米粉之间 $G'$ 和 $G''$ 差异明显，且样品 $G'$ 均大于相应的 $G''$ ，说明大米糊和米粉糊具有液态的黏性、流动性及固体的弹性，其中主要表现为固体弹性性质，这主要是因为淀粉经糊化、溶胀、回生等过程形成的凝胶结构所致<sup>[31]</sup>。创宇9号和圆粒9031加工的米粉糊 $G'$ 和 $G''$ 较低，流动性在所选样品中较好。

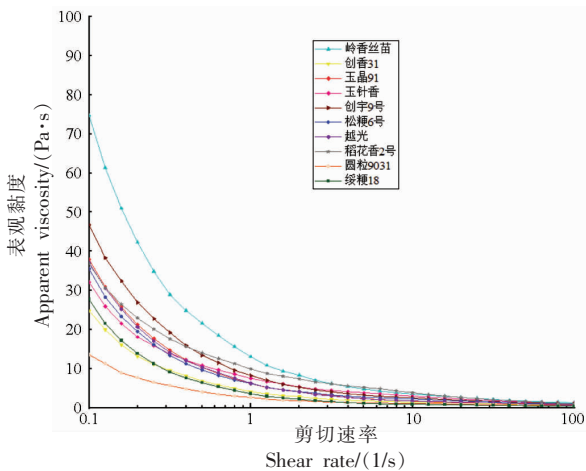


图4 不同品种大米静态流变特性曲线

Fig.4 Steady shear flow curves of rice samples processed by different varieties rice

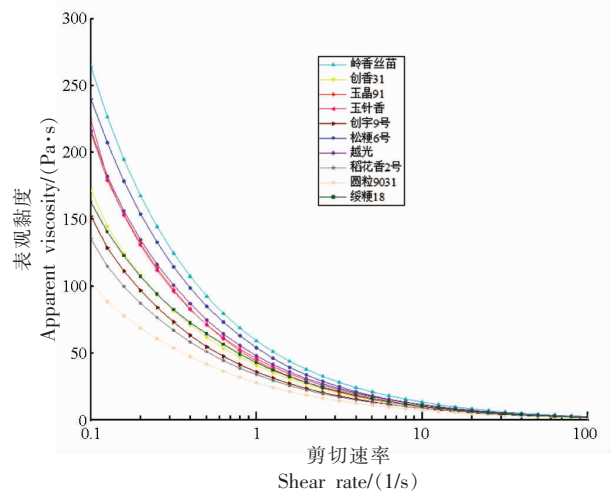
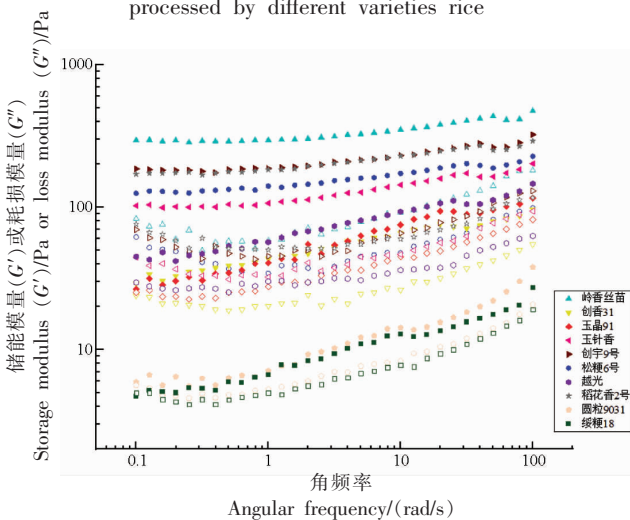


图5 不同品种大米加工成的米粉静态流变特性曲线

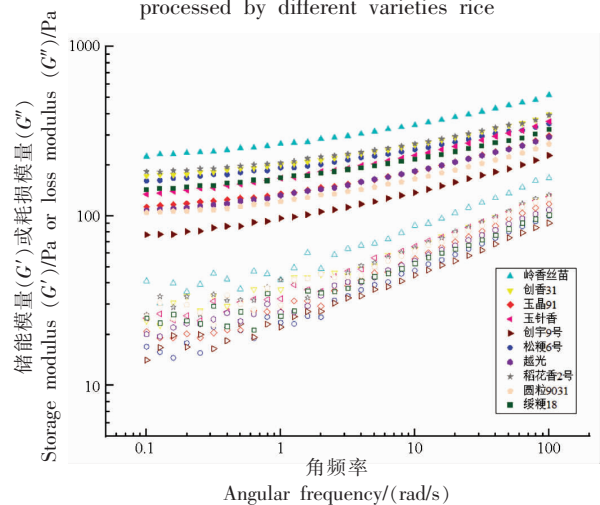
Fig.5 Steady shear flow curves of rice flour samples processed by different varieties rice



注：实心图形代表 $G'$ ，空心图形代表相应的 $G''$ 。

图6 不同品种大米动态流变特性曲线

Fig.6 Dynamic rheological curves of rice samples processed by different varieties rice



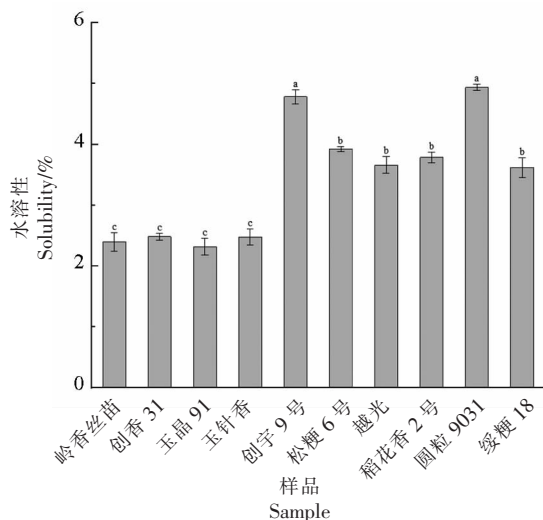
注：实心图形代表 $G'$ ，空心图形代表相应的 $G''$ 。

图7 不同品种大米加工成的米粉动态流变特性曲线

Fig.7 Dynamic rheological curves of rice flour samples processed by different varieties rice

## 2.5 水溶性和溶胀能力分析

10 种大米加工的米粉水溶性和溶胀能力如图 8、图 9 所示。不同品种大米加工的米粉水溶性和溶胀能力分别在 2.32%~4.94% 和 15.3~16.81 g/g 范围。米粉的水溶性和溶胀能力决定了产品的冲调难易度,水溶性及溶胀能力高的产品,更易于冲调。有研究表明<sup>[32]</sup>,较长的碳链骨架可通过提高柔



注:不同小写字母表示具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

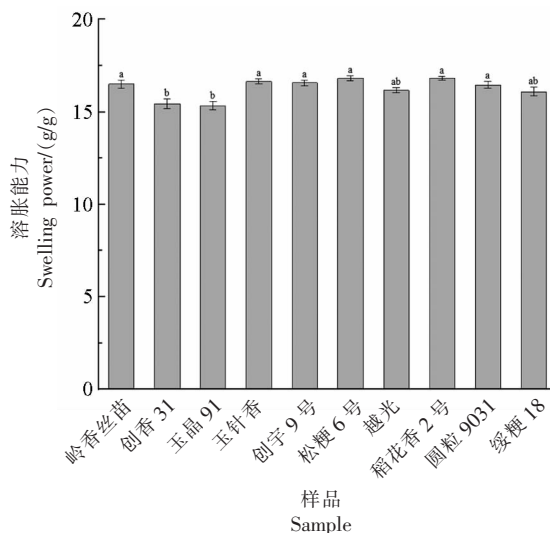
图 8 不同品种大米加工成的米粉水溶性

Fig.8 The solubility of rice flour samples processed by different varieties rice

## 2.6 米粉淀粉体外消化性分析

10 种大米加工的米粉淀粉体外消化性如表 6 所示。不同样品的 RDS、SDS 和 RS 分别在 60.57%~82.91%、16.90%~39.26% 和 0.25%~0.34% 范围。所有米粉样品中 RDS 占比最大,且均大于 60%,其中粳米创宇 9 号和粳米圆粒 9031 加工的米粉 RDS 占比较高,均达到 82% 以上。样品中 SDS 含量与 RDS 含量呈反比。在滚筒干燥过程中,大米受到高温、高压、机械剪切等作用,使大米中原淀粉表面结构被破坏,人体消化酶更容易进入淀粉内部,同时部分淀粉降解成糊精或小分子糖,RDS 含量高,从而更容易被人体消化。Huang 等<sup>[33]</sup>的研究表明,SDS 含量与淀粉的直链淀粉含量呈负相关关系,这与本试验米粉直链淀粉含量结果基本一致。10 种米粉的 RS 的含量均较低。RS 是不易被人体消化吸收的淀粉,特别是对于消化系统未

韧性来增加淀粉颗粒的弹性和韧性,从而提高淀粉颗粒的稳定性,进而提高水溶性和溶胀能力。直链淀粉具有较长的碳链骨架,而创宇 9 号、圆粒 9031 加工的米粉中直链淀粉含量高,米粉水溶性大。所有米粉样品的溶胀能力差异不大,说明经滚筒干燥处理后,大米中淀粉的糊化度高,样品容易吸水溶胀。



注:不同小写字母表示具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

图 9 不同品种大米加工成的米粉溶胀能力

Fig.9 The swelling power of rice flour samples processed by different varieties rice

发育完全的婴幼儿来说,RS 含量越低,越有利于婴幼儿对米粉的消化吸收,因而降低 RS 含量将有助于提高米粉的消化特性,说明采用滚筒干燥加工成的米粉淀粉消化率整体较好,也从侧面说明目前婴幼儿米粉加工企业选择的主流米粉生产工艺符合实际要求。

## 2.7 扫描电子显微镜微观结构

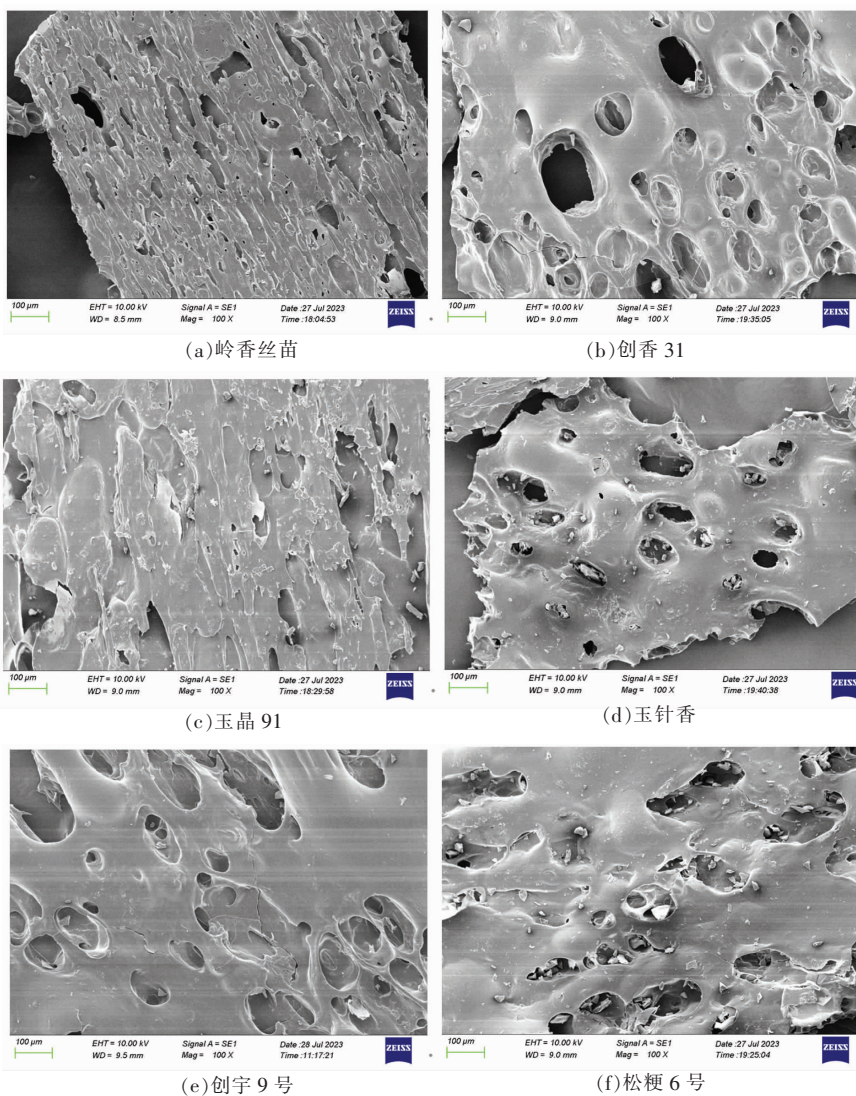
10 种大米加工的米粉扫描电子显微镜图像如图 10 所示。岭香丝苗加工的米粉表面平整,孔隙较小;玉晶 91 表面相对疏松,无多孔结构;其它 8 种大米加工的米粉均呈疏松多孔结构,且创宇 9 号和圆粒 9031 加工的米粉气孔多且大。多孔疏松的结构比表面积大,有利于水分子进入米粉内部,增加水分子与米粉中可溶性成分的接触,从而增加米粉的水溶性及溶胀能力,使米粉具有更好的冲调性能,这于本试验结果相一致。



表6 不同品种大米加工成的米粉淀粉体外消化性结果

Table 6 *In vitro* digestibility of starch in rice flour samples processed by different varieties rice

米粉		RDS/%	SDS/%	RS/%
籼米	岭香丝苗	60.57 ± 2.57 <sup>d</sup>	39.26 ± 2.57 <sup>a</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>d</sup>
	创香 31	64.34 ± 3.71 <sup>d</sup>	35.43 ± 3.80 <sup>ab</sup>	0.34 ± 0.01 <sup>a</sup>
	玉晶 91	77.24 ± 0.36 <sup>b</sup>	22.56 ± 0.49 <sup>d</sup>	0.29 ± 0.01 <sup>b</sup>
	玉针香	77.44 ± 7.34 <sup>b</sup>	22.36 ± 7.29 <sup>cd</sup>	0.30 ± 0.00 <sup>b</sup>
	创宇 9号	82.91 ± 5.89 <sup>a</sup>	16.90 ± 5.76 <sup>c</sup>	0.28 ± 0.00 <sup>bc</sup>
粳米	松粳 6号	74.53 ± 4.55 <sup>bc</sup>	25.29 ± 4.42 <sup>c</sup>	0.28 ± 0.01 <sup>bc</sup>
	越光	81.79 ± 5.69 <sup>a</sup>	18.02 ± 5.73 <sup>de</sup>	0.27 ± 0.01 <sup>c</sup>
	稻花香 2号	73.63 ± 4.26 <sup>bc</sup>	26.19 ± 4.13 <sup>c</sup>	0.25 ± 0.01 <sup>d</sup>
	圆粒 9031	82.83 ± 2.45 <sup>a</sup>	16.99 ± 2.32 <sup>e</sup>	0.26 ± 0.01 <sup>cd</sup>
	绥粳 18	77.36 ± 3.79 <sup>b</sup>	22.45 ± 3.66 <sup>cd</sup>	0.28 ± 0.01 <sup>bc</sup>

注:相同列中不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

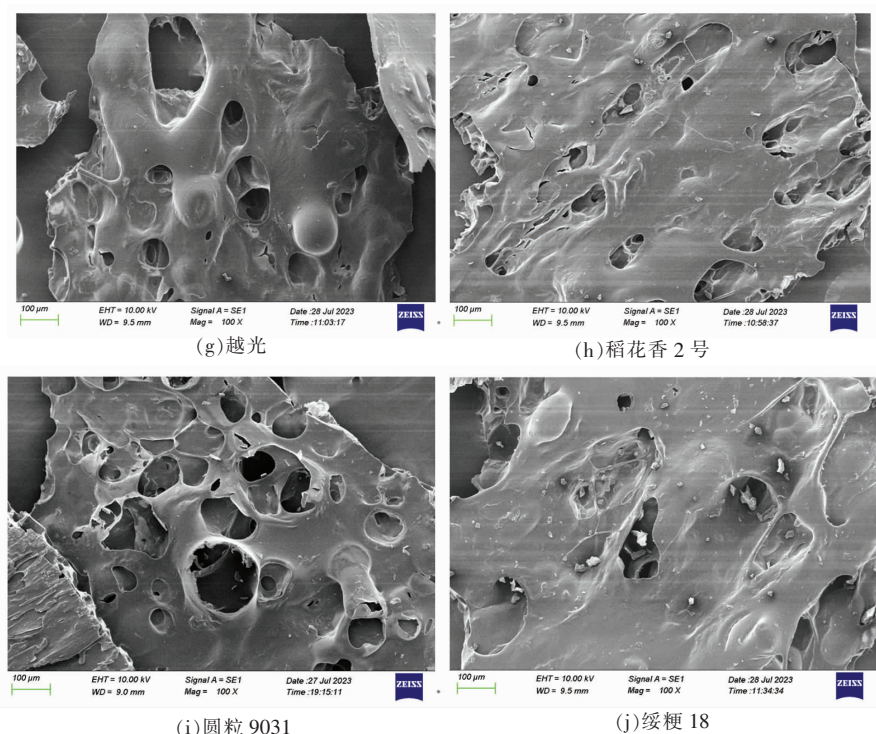


图 10 不同品种大米加工成的米粉扫描电镜图像

Fig.10 SEM images of rice flour samples processed by different varieties rice

### 3 结论

本试验研究了 10 种不同品种优质稻(5 种籼米、5 种粳米)对其经滚筒干燥加工的婴幼儿米粉品质的影响。明确了原料米品种对其加工的米粉基本理化、热特性、糊化特性、流变特性、体外消化特性和微观结构等的影响,从原料米的加工难易、米粉的黏度、流动性、冲调性、消化率等方面综合考虑,籼米和粳米品种中均有适宜加工婴幼儿米粉的大米品种,其中,综合考虑婴幼儿米粉应具有黏度低、水溶性好、流动性好、易消化等特点,在所选大米品种中,籼米品种创字 9 号和粳米品种圆粒 9031,做为婴幼儿米粉的加工原料适宜性好。这与婴幼儿米粉加工企业观念中优质粳米更适合做米粉原料的传统观念不尽相同。本研究为婴幼儿米粉加工原料筛选与标准化生产提供了一定的理论依据,也为优质籼米的利用提供了新的思路。

### 参 考 文 献

[1] 王俏,王骁音,LANDL T,等.全球婴幼儿辅助食

品发展状况与趋势[J].中国妇幼健康研究,2021,32(12):1836-1842.

WANG Q, WANG X Y, LANDL T, et al. The development status and trend of global complementary foods for infant and young children[J]. Chinese Journal of Woman and Child Health Research, 2021, 32(12): 1836-1842.

[2] ANTIGNANI A, FRANCAVILLA R, VANIA A, et al. Nutritional assessment of baby food available in Italy[J]. Nutrients, 2022, 14(18): 3722.

[3] 刘芳宏. 婴幼儿营养米粉配方优化及功能评价研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.

LIU F H. Study on formula optimization and function evaluation of nutritive rice powder for the infant [D]. Guiyang: Guizhou University, 2018.

[4] PALACIOS C, BOLTON J, WANG W J, et al. Development and pilot testing of the baby-feed web application for healthcare professionals and parents to improve infant diets[J]. International Journal of Medical Informatics, 2023, 174: 105047.

[5] JI X F, XIAO Y P, WANG W, et al. Mycotoxins in cereal-based infant foods marketed in China: Occurrence and risk assessment [J]. Food

- Control, 2022, 138: 108998.
- [6] PASCARI X, MAEÍN S, RAMOS A J, et al. Deoxynivalenol in cereal-based baby food production process. A review[J]. Food Control, 2019, 99: 11–20.
- [7] 湖南省人民政府. 2024年湖南省政府工作报告[EB/OL]. (2024-01-24)[2024-02-18]. [http://www.hunan.gov.cn/hnszf/szf/zfgzbg/202402/t20240218\\_32861663.html](http://www.hunan.gov.cn/hnszf/szf/zfgzbg/202402/t20240218_32861663.html).
- The People's Government of Hunan Province. 2024 Hunan provincial government work report [EB/OL]. (2024-01-24)[2024-02-18]. [http://www.hunan.gov.cn/hnszf/szf/zfgzbg/202402/t20240218\\_32861663.html](http://www.hunan.gov.cn/hnszf/szf/zfgzbg/202402/t20240218_32861663.html).
- [8] 于衍霞, 鲁战会, 安红周, 等. 中国米制品加工学科发展报告[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(1): 1–10. YU Y X, LU Z H, AN H Z, et al. Reprot on advances in rice processed products in China[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(1): 1–10.
- [9] 王芳. 我国籼米生产、消费和贸易的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2004. WANG F. Study on China's indica rice production, consumption and trade[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2004.
- [10] 周显青, 彭超, 张玉荣, 等. 早籼稻的品质分析与其压榨型鲜湿米粉加工适应性[J]. 食品科学, 2018, 39(19): 36–43. ZHOU X Q, PENG C, ZHANG Y R, et al. Quality analysis of early indica rice cultivars and their suitability for processing of pressed fresh noodles[J]. Food Science, 2018, 39(19): 36–43.
- [11] 张玉荣, 周显青, 彭超, 等. 不同储藏年限稻谷的品质及鲜湿米粉加工适应性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 42–48. ZHANG Y R, ZHOU X Q, PENG C, et al. Analysis of the quality and suitability for fresh rice noodle processing of rice at different storage times[J]. Food Science, 2020, 41(23): 42–48.
- [12] 路飞, 马涛, 李新华, 等. 不同品种大米粉对大米面包感官及质构特性影响的比较[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(20): 72–75. LU F, MA T, LI X H, et al. Sensory and textural characteristics of bread prepared from wheat flour and several kinds of rice flour[J]. Food Research And Development, 2014, 35(20): 72–75.
- [13] 赵志浩, 刘磊, 张名位, 等. 预酶解-挤压膨化对全谷物糙米粉品质特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 108–116. ZHAO Z H, LIU L, ZHANG M W, et al. Combined effect of enzymatic pretreatment and extrusion on quality properties of brown rice flour[J]. Food Science, 2019, 40(1): 108–116.
- [14] 张亭亭, 邢贝贝, 赵强, 等. 挤压膨化处理对婴幼儿米粉理化和体外消化特性的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(1): 158–165. ZHANG T T, XING B B, ZHAO Q, et al. Effects of extrusion treatment on physicochemical properties and *in vitro* digestibility of infant rice powder[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(1): 158–165.
- [15] 张荣彬, 颜景超, 高文明, 等. 粳米与籼米组合对婴幼儿米粉食用品质的影响[J]. 食品与机械, 2021, 37(1): 193–198. ZHANG R B, YAN J C, GAO W M, et al. Effects of the combination of the eating quality of japonica rice and indica rice on rice noodles for infants[J]. Food and Machinery, 2021, 37(1): 193–198.
- [16] 邱婷婷, 熊华, 朱雪梅, 等. 滚筒干燥和挤压膨化对黑色谷物理化性质及储藏稳定性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 73–83. QIU T T, XIONG H, ZHU X M, et al. Effect of drum drying and extrusion on physicochemical properties and storage stability of black grains[J]. Food Science, 2020, 41(21): 73–83.
- [17] FERREIRA S M, CALIARI M, SOARES J M S, et al. Infant dairy-cereal mixture for the preparation of a gluten free cream using enzymatically modified rice flour[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 59(2): 1033–1040.
- [18] AYSELIA M T, YILMAZ M T, CEBI N, et al. Physicochemical, rheological, molecular, thermal and sensory evaluation of newly developed complementary infant (6–24 months old) foods prepared with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) flour[J]. Food Chemistry, 2020, 315: 126208.
- [19] MENG R, WU Z Z, XIE H Q, et al. Preparation, characterization, and encapsulation capability of the hydrogel cross-linked by esterified tapioca starch[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 155: 1–5.
- [20] MA Y S, PAN Y, XIE Q T, et al. Evaluation studies on effects of pectin with different concentra-

- tions on the pasting, rheological and digestibility properties of corn starch[J]. *Food Chemistry*, 2019, 274: 319–323.
- [21] SUN Q J, HAN Z J, WANG L, et al. Physicochemical differences between sorghum starch and sorghum flour modified by heat–moisture treatment[J]. *Food Chemistry*, 2014, 14: 756–764.
- [22] ZHANG G P, XUAN Y, LYU F, et al. Microstructural, physicochemical properties and starch digestibility of brown rice flour treated with extrusion and heat moisture[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 242(P1): 124594.
- [23] 叶江平. 挤压改性影响大米淀粉冻融稳定性和体外消化性的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- YE J P. Impact of extrusion modification on freeze–thaw stability and *in vitro* digestibility of rice starch [D]. Nanchang: Nanchang University, 2019.
- [24] 刘淑一, 赵芳芳, 周小玲, 等. 预糊化对燕麦全粉理化性质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(9): 56–61.
- LIU S Y, ZHAO F F, ZHOU X L, et al. Effect of pre–gelatinization on the physical and chemical properties of whole oat flour[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2017, 32(9): 56–61.
- [25] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 婴幼儿谷类辅助食品: GB 10769–2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 4.
- Ministry of Health of the People’s Republic of China. National food safety standard, cereal–based complementary foods for infants and young children: GB 10769–2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010: 4.
- [26] WANG R M, XIE Q T, WANG S Y, et al. The structural, functional and digestive characteristics of acorn starch after combined debranching and heat–moisture treatment and their relationships[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2022, 57(12): 7622–7633.
- [27] ZHONG Y Y, QU J Z, LI Z H, et al. Rice starch multi–level structure and functional relationships[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2022, 275: 118777.
- [28] LI P, HE X W, DHITAL S, et al. Structural and physicochemical properties of granular starches after treatment with debranching enzyme[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 169: 351–356.
- [29] AMIN T, NAIK H R, HUSSAIN S Z, et al. *In vitro* digestion, physicochemical and morphological properties of low glycemic index rice flour prepared through enzymatic hydrolysis[J]. *International Journal of Food Properties*, 2018, 21(1): 2632–2645.
- [30] 戴晓慧, 张名位, 马永轩, 等. 蒸汽酶解调质–挤压膨化工艺改善速食米粉冲调分散性和预消化性[J]. *现代食品科技*, 2020, 10(36): 200–209, 156.
- DAI X H, ZHANG M W, MA Y X, et al. Enzymolysis improved the dispersibility and predigestion of instant rice flour[J]. *Morden Food science and Technology*, 2020, 10(36): 200–209, 156.
- [31] CAPPALÀ C, LUCISANO M, BARBOSA–CÁNOVAS G V, et al. Physical and structural changes induced by high pressure on corn starch, rice flour and waxy rice flour [J]. *Food Research International*, 2016, 85: 95–103.
- [32] CHEN P, XIE Q T, WANG R M, et al. Effects of pullulanase enzymatic hydrolysis on the textural of acorn vermicelli and its influencing mechanism on the quality[J]. *Food Research International*, 2022, 156: 111294.
- [33] HUANG T T, ZHOU D N, JIN Z Y, et al. Effect of debranching and heat–moisture treatments on structural characteristics and digestibility of sweet potato starch[J]. *Food Chemistry*, 2015, 187: 218–224.

### Effects of Rice Varieties on Physical and Chemical Quality of Infant Rice Flour

Xie Qiutao<sup>1</sup>, Li Mengyi<sup>3</sup>, Su Donglin<sup>1</sup>, Dai Zhiyong<sup>3</sup>, Li Gaoyang<sup>2</sup>, Yuan Hongyan<sup>2\*</sup>, Zhu Lingfeng<sup>1\*</sup>  
(<sup>1</sup>Hunan Agricultural Product Processing Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125

<sup>2</sup>Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125

<sup>3</sup>Engnice Holding Group Co., Ltd., Changsha 410000)

**Abstract** There are different varieties of rice for infant rice flour processing at home and abroad. In order to explore

suitable materials for rice flour processing, 5 indica rice and 5 japonica rice with different rice genotypes were selected to process infant rice flour by drum drying in this research. The suitability of different varieties of rice for processing infant rice flour were investigated by measuring the physiochemical and quality properties of rice and rice flour. The results showed that the properties of different samples were significantly different. The moisture content of different rice flour samples prepared by drum drying decreased by more than 30% compared with the raw rice, while the content of total starch and amylose increased. RDS accounted for the largest proportion in all rice noodle samples, among which RDS of indica rice Chuangyu9# and japonica rice Yuanli9031 accounted for more than 82%, and rice flour with high RDS content also had high water solubility. In combination of the physicochemical qualities, gelatinization, rheological characteristics and SEM images, the infant rice flour processed by Chuangyu9# and japonica rice Yuanli9031 have good quality.

**Keywords** infant rice flour; rice; variety; physical and chemical properties; quality