

# 不同破碎方法对大米品质的影响

卫萍<sup>1,2</sup>, 游向荣<sup>1,2,\*</sup>, 张雅媛<sup>1,2</sup>, 孙健<sup>1,2</sup>, 谢小强<sup>1</sup>,

黄承祖<sup>1</sup>, 李明娟<sup>1,2</sup>, 王颖<sup>1,2</sup>, 周葵<sup>1</sup>

(1. 广西农业科学院农产品加工研究所, 广西南宁 530007;

2. 广西果蔬贮藏加工新技术重点实验室, 广西南宁 530007)

**摘要:** 采用干法和低温润米粉碎制备大米粉, 研究不同破碎方法对大米品质的影响。通过理化检测结合快速粘度分析仪、质构仪和光学显微镜测定大米粉理化指标、糊化特性、质构以及微观结构的变化。结果表明与干法粉碎相比, 珍珠、双桂、桂朝和越南香米四种大米经低温润米粉碎法粉碎后大米蛋白含量从原来的 6.60%、6.09%、7.06%、6.86% 显著增加为 7.55%、6.67%、7.58% 和 9.05% ( $p < 0.05$ ); 破损淀粉含量从原来的 8.2%、7.9%、8.5% 和 7.2% 显著减小为 4%、3.8%、4.3% 和 3.3% ( $p < 0.05$ ); 且低温润米粉碎大米粉具有糊化温度低、崩解值小、热糊稳定性好、凝胶硬度高等相对优异的糊化和质构特性值。此外, 低温润米粉碎的大米粉颗粒形态在显微镜下表面相对平整, 破坏程度低。

**关键词:** 大米 糊化 质构 显微结构 品质差异

## Effect of different crushing method on the quality of rice

WEI Ping<sup>1,2</sup>, YOU Xiang-rong<sup>1,2,\*</sup>, ZHANG Ya-yuan<sup>1,2</sup>, SUN Jian<sup>1,2</sup>, XIE Xiao-qiang<sup>1</sup>,

HUANG Cheng-zu<sup>1</sup>, LI Ming-juan<sup>1,2</sup>, WANG Ying<sup>1,2</sup>, ZHOU Kui<sup>1</sup>

(1. Agro-food Science and Technology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;

2. Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-Processing Technology, Nanning 530007, China)

**Abstract:** In order to obtain influences of different crushing methods on the quality of rice, rice flour were prepared by dry and semi-dry milling crushing methods at low temperature. Physical and chemical detection combined with Rapid Viscosity Analyzer, texture analyzer and optical microscope were used to determinate the physical and chemical indicators, gelatinization properties, texture and microstructure of the rice flour. The results showed that original protein content of 6.60%, 6.09%, 7.06%, 6.86% by four different varieties of rice (Zhen Gui, Shuang Gui, GuiChao and Vietnam rice) increased significantly to 7.55%, 6.67%, 7.58% and 9.05% ( $p < 0.05$ ), and original content of damaged starch of 8.2%, 7.9%, 8.5% and 7.2% reduced significantly to 4%, 3.8%, 4.3% and 3.3% ( $p < 0.05$ ) compared with dry milling crushing method. And the rice flour made by semi-dry milling crushing method at low temperature had lower gelatinization temperature, lower breakdown value, better thermal stability of paste and gel hardness of gelatinization and structure characteristics value. In addition, the shape of rice flour surface was relatively flat and less damage under the microscope.

**Key words:** rice; pasting; texture; microstructure; quality discrepancy

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2018)07-0010-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2018.07.003

引文格式: 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 不同破碎方法对大米品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 10-14

以早籼米为主要原料加工的鲜湿米粉是我国南方特色米制主食产品之一。在我国南方的广东、湖南、广西、湖北、云南、贵州、江西等省均具有食用的传统。尽管我国加工米粉的工艺、方法各异, 但是湿法磨粉是大部分工艺中获得加工品质优异的米粉的重要步骤, 因为湿法磨粉加工出来的大米粉具有破损淀粉含量低、淀粉颗粒细腻均匀的优点<sup>[1-2]</sup>。但是

由于湿法磨粉具有能耗高、不利贮藏和运输、致病微生物易滋长等缺点, 世界各国都在探讨取代湿法磨粉的技术方法。首先考虑的是干法磨粉, 但是直接采用一般的干法磨粉加工出来的大米粉破损淀粉含量高, 已不适合加工鲜湿米粉<sup>[3]</sup>, 因此开发新的技术手段是市场需求和社会发展的必然要求。

目前, 日本、韩国等以米为主食的亚洲国家都在

收稿日期: 2017-07-26

作者简介: 卫萍(1986-) 女, 硕士, 助理研究员, 主要从事农产品贮藏与加工研究, E-mail: weiping@gxaas.net。

\* 通讯作者: 游向荣(1979-) 女, 博士, 研究员, 主要从事农产品贮藏与加工研究, E-mail: youareyou@163.com。

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503001-6); 广西自然科学基金项目(2014GXNSFBA118137; 2015GXNSFBA139035); 广西农科院基本科研业务专项(2015YT87; 桂农科2016YM14; 桂农加201501)。

摸索以半干法磨粉取代湿法磨粉。如日本的佐竹公司推出了半干法磨粉制备糯米粉的加工装备,但是目前尚处于小型设备推广阶段。韩国的一些研究机构也报道了关于半干法磨粉的最新研究,相关工艺设备也在研制当中<sup>[4]</sup>。高晓旭等<sup>[5]</sup>和 Tong 等<sup>[6]</sup>人报道了,通过润米后进行半干法磨粉可以获得可媲美湿法磨粉的大米粉及用其加工的鲜湿米粉。刘也嘉等人<sup>[7]</sup>考察了半干法磨粉过程中润米时间对大米粉粉质特性及鲜米粉质量的影响,研究结果显示润米 6 h 后进行半干法磨粉可以获得与 24 h 润米时间同样的大米粉粒度分布、破损淀粉含量、最高粘度和最低粘度等粘度特性。用该大米粉制备的鲜湿米粉产品,获得了理想的蒸煮损失率和可接受的感官评分值。Tong 等<sup>[8]</sup>还报道了运用半干法磨粉制备汤圆粉,同样获得了与湿法磨粉不相上下的效果。但是在他们的研究中,均采用了常温浸泡的加工工艺,采用此法随着时间的延长,会带来潜在的微生物风险,低温可以延缓微生物增长的速度,然而目前对于采用低温进行浸润再对大米进行粉碎的研究还鲜有报道。

本研究采用干法粉碎和低温润米两种粉碎方式对 4 种大米进行粉碎,通过比较两种粉碎方法对大米粉理化指标、糊化特性、质构以及微观结构的影响,筛选能有效降低破损淀粉含量、营养基本得以保持、糊化特性良好,达到与湿法磨粉水平相当的低温润米粉碎的工艺参数,为应用低温润米的半干法磨粉方法规模化生产鲜湿米粉原料提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

珍桂、双桂、桂朝和越南香米 南宁市五一粮油市场,其中珍桂和双桂为广西本地米,桂朝米产于湖南,越南香米产自越南;盐酸、溴甲酚绿 天津市欧博凯化工产品销售有限公司,均为国产分析纯;Megazyme 破损淀粉试剂盒 上海易扩仪器有限公司。

JY6002 电子天平 上海良平仪器仪表有限公司;HH-S4 数显恒温水浴锅 金坛市万华实验仪器厂;PHS-25 型实验室 pH 计 上海今迈仪器仪表有限公司;真空包装机 郑州玉祥包装机械有限公司;太阳能热泵干燥 南宁罗卡诺节能科技有限公司;螺旋粉碎机 曲阜市睿龙机械有限公司;快速粘度分析仪(RVA) 澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司;CT3 质构仪 BROOKFIELD;OLYMPUS BX41 显微镜 奥林巴斯科学仪器(中国)有限公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 大米的破碎方法

1.2.1.1 干法粉碎 大米去杂后,直接用螺旋粉碎机对珍桂、双桂、桂朝和越南香米 4 种大米进行粉碎,粉碎后的大米粉末过 100 目筛,备用;

1.2.1.2 低温润米粉碎法 珍桂、双桂、桂朝和越南香米 4 种大米去杂后,低温水(10℃)浸润 2~3 h,浸润后冷却 20~60 min,控制大米的水分含量为 20%~38%,再用螺旋粉碎机进行粉碎,粉碎后的大米粉末

过 100 目筛,测定水分含量。再通过太阳能热泵低温干燥(50℃)10 h,测定水分含量,控制大米粉末的最终水分含量低于 13%,备用。

1.2.2 理化指标测定 水分含量:105℃恒重法 GB/T 5505-2003。蛋白质:微量凯氏定氮法 GB/T 5511-2003;直链淀粉含量采用酶法(Megazyme 试剂盒)进行测定<sup>[9]</sup>;破损淀粉含量运用 Megazyme 破损淀粉试剂盒酶比色法测定<sup>[10]</sup>。

1.2.3 胶稠度 根据农业部标准 NY147-88《米质测定方法》进行测定,略作改进。方法是称取大米粉 1 g,置于试管内,加入 2 mL 百里酚蓝指示剂,用振荡器加以振荡,使样品充分分散。准确加入 0.2 mol/L 氢氧化钾 4 mL,振荡混匀后立即放入沸腾的水浴内,用玻璃球盖住试管口。调节并使沸腾的米胶高度维持在试管长度的三分之二左右,糊化时间为 8 min。糊化完毕后,取出试管和玻璃球,在室温下冷却 5 min,再将试管在冰水浴中冷却 20 min。取出后,在室温 25℃下将试管平放在水平台上。1 h 后,量出试管底至凝胶前沿的长度,以毫米表示,即为样品的胶稠度。

其中胶稠度可分为硬胶稠度(<40 mm)、中胶稠度(40~60 mm)和软胶稠度(>60 mm)。

1.2.4 糊化特性测定 取样:准确称取 25 mL 的蒸馏水,移入干燥洁净的样品筒中。准确称量大米粉 3 g 到样品筒中,用搅拌器轻轻地将大米粉和蒸馏水搅匀,操作过程注意防止样品溅出样品筒。

上机:将搅拌器置于样品筒中,并稳固地插接到搅拌器的连接器上,使搅拌器正好居中。

测试:当开始测试时,将仪器的电动机塔帽压下,运行测试程序,RVA 测定程序中的温度变化为:50℃保持 1 min,然后在 3.75 min 的时间内上升到 95℃,在 95℃保持 2.5 min,然后在 3.75 min 的时间内降到 50℃,最后在 50℃下保持 1.5 min。速度变化为:搅拌器在开始 10 s 内转速上升到 960 r/min,之后保持在 160 r/min<sup>[11]</sup>。

RVA 对干法粉碎和低温润米粉碎获得的大米淀粉在加热、持续较高温度和冷却过程中粘滞力进行测定,可获得不同破碎方法以及不同品种大米粉粘滞性图谱,即 RVA 曲线图。随着淀粉颗粒由于糊化的进行而不断膨胀破裂,表现为样品粘度持续上升,到 95℃达到峰值,即为峰值粘度;由于剪切稀化作用,粘度急剧下降,当其降到最低值时的粘度为谷值粘度;当温度达到并保持在 50℃时,样品粘度达到一个峰值且不再变化,即终值粘度。峰值粘度与谷值粘度的差称为崩解值;终值粘度值与谷值粘度的差为回生值。同时还可记录糊化温度和峰值时间的数据。

1.2.5 质构测定 称取 6 g 过 100 目筛的大米粉粉末,倒入 50 mL 烧杯,加入 50 mL 蒸馏水,搅拌均匀,沸水浴 10 min,拿出室温冷却 25 min 后,移至 4℃冰箱,放置 24 h 后,用质构仪测凝胶的质构特征,参数设定为:选 TPA 压缩模式 compress,测试速度 0.5 mm/s,测试距离 4 mm,触发点力度 5 g,探头类型 TA5。

表1 不同破碎方法对大米营养品质的影响

Table 1 Effect of different crushing methods on nutritional quality of rice

大米品种	处理	指标测定					
		水分(0 h) (%)	水分(10 h) (%)	蛋白质 (g/100 g)	直链淀粉 (g/100 g)	破损淀粉 (%)	胶稠度 (mm)
珍桂	干法粉碎	11.83 ± 0.03 <sup>a</sup>	11.83 ± 0.03 <sup>c</sup>	6.60 ± 0.36 <sup>b</sup>	28.3 ± 0.36 <sup>c</sup>	8.2 ± 0.36 <sup>d</sup>	58.2 ± 0.85 <sup>ab</sup> (中)
	低温润米粉碎	22.08 ± 0.08 <sup>cd</sup>	11.48 ± 0.05 <sup>b</sup>	7.55 ± 0.06 <sup>e</sup>	30.5 ± 0.46 <sup>d</sup>	4 ± 0.46 <sup>b</sup>	57.6 ± 0.56 <sup>a</sup> (中)
双桂	干法粉碎	12.64 ± 0.15 <sup>ab</sup>	12.64 ± 0.15 <sup>f</sup>	6.09 ± 0.02 <sup>a</sup>	26.4 ± 0.70 <sup>b</sup>	7.9 ± 0.20 <sup>d</sup>	59.4 ± 0.36 <sup>ab</sup> (中)
	低温润米粉碎	22.35 ± 0.16 <sup>d</sup>	12.40 ± 0.26 <sup>ef</sup>	6.67 ± 0.03 <sup>bc</sup>	29.2 ± 0.26 <sup>c</sup>	3.8 ± 0.46 <sup>ab</sup>	60.2 ± 0.26 <sup>abc</sup> (中)
桂朝	干法粉碎	11.99 ± 0.29 <sup>a</sup>	11.99 ± 0.29 <sup>cd</sup>	7.06 ± 0.04 <sup>d</sup>	34.5 ± 0.60 <sup>e</sup>	8.5 ± 0.46 <sup>d</sup>	60.8 ± 5.37 <sup>c</sup> (中)
	低温润米粉碎	21.32 ± 1.33 <sup>e</sup>	11.07 ± 0.04 <sup>a</sup>	7.58 ± 0.10 <sup>e</sup>	34.8 ± 0.36 <sup>e</sup>	4.3 ± 0.17 <sup>b</sup>	60.5 ± 1.00 <sup>abc</sup> (中)
越南香米	干法粉碎	12.98 ± 0.22 <sup>b</sup>	12.98 ± 0.22 <sup>g</sup>	6.86 ± 0.03 <sup>cd</sup>	17.2 ± 1.01 <sup>a</sup>	7.2 ± 0.36 <sup>c</sup>	63.5 ± 1.45 <sup>c</sup> (软)
	低温润米粉碎	23.96 ± 0.12 <sup>e</sup>	12.18 ± 0.06 <sup>de</sup>	9.05 ± 0.07 <sup>f</sup>	17.1 ± 0.95 <sup>a</sup>	3.3 ± 0.26 <sup>a</sup>	62 ± 0.87 <sup>bc</sup> (软)

注:表中不同小写字母表示同列数据差异显著( $p < 0.05$ ) 相同小写字母表示同列数据差异不显著( $p > 0.05$ ) 表2、表3同。

1.2.6 大米粉微观结构观察 取少量珍桂、双桂、桂朝和越南香米四种不同大米粉末样品于载玻片,滴加50%甘油-水溶液,盖上盖玻片,于光学显微镜下观察大米淀粉表面形态,显微镜放大倍数为400倍。

### 1.3 数据统计分析

每个实验平行3次,结果用平均值 ± 标准差表示,采用SPSS 17.0和Origin 8.1数据分析软件对数值进行差异显著性分析及绘图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同破碎方法对大米营养品质的影响

表1显示珍桂、双桂、桂朝和越南香米4种大米去杂后,经干法粉碎后水分含量均低于13%,经低温水(10℃)浸润后大米的水分含量约为干法粉碎的两倍左右,通过50℃太阳能热泵低温干燥10h后水分含量可低于13%。表1还显示低温润米粉碎法粉碎的珍桂、双桂、桂朝、越南香米四种大米蛋白质含量分别为7.55%、6.67%、7.58%、9.05%,均显著高于干法粉碎获得的大米粉的蛋白含量6.60%、6.09%、7.06%和6.86% ( $p < 0.05$ ),说明低温润米粉碎大米蛋白损失较少。采用不同品种大米制作米粉时,大米中直链淀粉和支链淀粉含量的高低及其比例直接影响米粉的质量。尤其直链淀粉被很多研究者列为一项很重要的指标。直链淀粉含量高的大米,制成的米粉成品密度大,其作用主要是为米粉引入弹性,而大米中适量的支链淀粉使米粉变得柔软<sup>[12]</sup>。有研究显示用直链淀粉含量为24%~30%的籼米加工米粉,操作顺利,米粉柔韧光滑,有一定的弹性,色泽好,口感好<sup>[13]</sup>。本研究中珍桂、双桂、桂朝三种大米的直链淀粉在25%~35%之间,直链淀粉含量较高,属于适宜制作米粉的早籼米品种,而越南香米直链淀粉含量仅为17%左右,直链淀粉含量较低,属于晚籼米,制作米粉不易成条<sup>[14]</sup>。

在粒径分布一致的情况下,破损淀粉的含量也是影响大米粉性质和加工适宜性的重要指标。从表1可以看出低温润米,大米水分含量达到20%以上时,采用螺旋粉碎机粉碎的大米粉破损淀粉含量为4%左右,其显著低于干法粉碎( $p < 0.05$ ),与刘也嘉等报道的润米6h以后破损淀粉含量3.5%接

近<sup>[7]</sup>。低于Tong等<sup>[8]</sup>报道的大米总含水量到30%的润米以后运用旋风磨碾磨早籼米破损淀粉含量的4.74%。分析原因可能是选用不同的大米品种,以及浸润时间以及磨粉机不同导致的。但总体而言,结果显示本研究润米时间相比之前的报道大大缩短了,说明低温润米粉碎相比干法和常温半干法粉碎效果好。

胶稠度是大米中直链淀粉含量以及直链淀粉与直链淀粉分子综合作用的反映,与米粉的柔软性和粘滞性有关。胶稠度越高,米粉越软。胶稠度在60mm以上的称为软胶稠度品种,40~60mm为中等胶稠度品种,40mm以下为硬胶稠度品种<sup>[15]</sup>。表1显示珍桂、双桂、桂朝三种早籼米的胶稠度都属于较适合制作米粉的中胶稠度范围,而越南香米在软胶稠度的范围内,不适合制作米粉。

### 2.2 不同破碎方法对大米糊化特性的影响

由图1看出八条RVA曲线形状相近,但因相应的糊化值不同曲线发生了偏移;由表2可以看出,低温润米粉碎获得的大米粉崩解值显著低于干法粉碎获得的大米粉,说明低温润米粉碎获得的大米粉比干法粉碎大米粉的热糊稳定性高;干法粉碎获得的大米粉的回生值显著高于低温润米粉碎获得的大米粉,说明前者糊化冷却后形成凝胶强度较大,可能抗老化性能较差。分析原因一方面可能是不同粉碎方式对大米淀粉等结构的影响有所区别;另一方面,这是因为不同大米品种中直链淀粉含量的不同导致

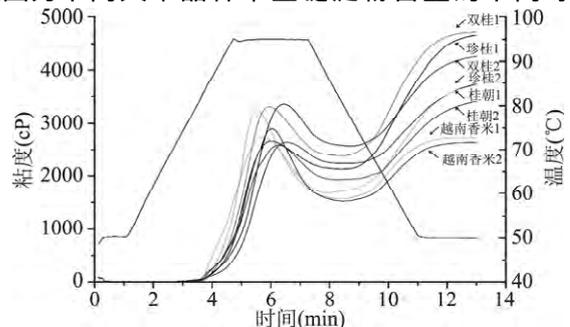


图1 不同处理组的RVA曲线

Fig.1 RVA curve of different treatment group

注:“1”代表干法粉碎,“2”代表低温润米粉碎。

表2 不同破碎方法对大米糊化特性的影响

Table 2 Effect of different crushing methods on gelatinization characteristics of rice

大米品种	处理	RVA 指标					
		糊化温度(℃)	峰值粘度(cP)	谷值粘度(cP)	崩解值(cP)	终值粘度(cP)	回生值(cP)
珍桂	干法粉碎	84.85 ± 0.15 <sup>d</sup>	2665 ± 4.58 <sup>c</sup>	2131 ± 6.56 <sup>e</sup>	534 ± 5.00 <sup>b</sup>	4661 ± 3.61 <sup>g</sup>	2530 ± 18.03 <sup>g</sup>
	低温润米粉碎	83.85 ± 1.03 <sup>cd</sup>	2644 ± 14 <sup>b</sup>	2240 ± 4.58 <sup>f</sup>	404 ± 5.29 <sup>a</sup>	3726 ± 9.17 <sup>e</sup>	1486 ± 5.29 <sup>c</sup>
双桂	干法粉碎	84.05 ± 0.05 <sup>cd</sup>	3315 ± 14.53 <sup>g</sup>	2385 ± 4.36 <sup>g</sup>	930 ± 5.57 <sup>e</sup>	4722 ± 4.36 <sup>h</sup>	2337 ± 7.55 <sup>f</sup>
	低温润米粉碎	83.95 ± 1.06 <sup>cd</sup>	3365 ± 9.54 <sup>h</sup>	2572 ± 8.00 <sup>h</sup>	793 ± 6.56 <sup>d</sup>	4257 ± 7.55 <sup>f</sup>	1685 ± 15.52 <sup>d</sup>
桂朝	干法粉碎	82.30 ± 0.26 <sup>ab</sup>	2739 ± 4.58 <sup>d</sup>	1681 ± 1.73 <sup>c</sup>	1058 ± 3.46 <sup>f</sup>	3704 ± 5.57 <sup>d</sup>	2023 ± 18.52 <sup>e</sup>
	低温润米粉碎	81.55 ± 1.43 <sup>a</sup>	2587 ± 11.53 <sup>a</sup>	1929 ± 6.56 <sup>d</sup>	658 ± 8.00 <sup>c</sup>	3407 ± 8.54 <sup>c</sup>	1478 ± 7.55 <sup>c</sup>
越南香米	干法粉碎	84.85 ± 0.10 <sup>d</sup>	3249 ± 5.57 <sup>f</sup>	1562 ± 11.14 <sup>b</sup>	1687 ± 3.61 <sup>h</sup>	2724 ± 5.57 <sup>b</sup>	1162 ± 7.55 <sup>b</sup>
	低温润米粉碎	83.20 ± 0.17 <sup>bc</sup>	2897 ± 6.24 <sup>e</sup>	1518 ± 3.61 <sup>a</sup>	1379 ± 5.29 <sup>g</sup>	2639 ± 6.56 <sup>a</sup>	1121 ± 6.56 <sup>a</sup>

表3 不同破碎方法对大米淀粉凝胶质构的影响

Table 3 Effect of different crushing methods on texture of rice starch gel

大米品种	处理	指标测定					
		硬度(g)	粘性(mJ)	内聚性	弹性(mm)	胶着性(g)	咀嚼性(mJ)
珍桂	干法粉碎	7.00 ± 1.41 <sup>a</sup>	0.50 ± 0.28 <sup>b</sup>	0.30 ± 0.60 <sup>a</sup>	0.81 ± 0.80 <sup>a</sup>	2.50 ± 4.37 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.06 <sup>a</sup>
	低温润米粉碎	11.33 ± 8.59 <sup>ab</sup>	0.67 ± 0.24 <sup>b</sup>	0.07 ± 1.07 <sup>a</sup>	0.97 ± 1.65 <sup>ab</sup>	5.00 ± 13.96 <sup>a</sup>	0.22 ± 0.48 <sup>a</sup>
双桂	干法粉碎	7.33 ± 1.37 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.24 <sup>b</sup>	0.01 ± 1.10 <sup>a</sup>	0.76 ± 1.36 <sup>ab</sup>	0.83 ± 7.70 <sup>a</sup>	0.08 ± 0.16 <sup>a</sup>
	低温润米粉碎	7.67 ± 2.42 <sup>a</sup>	0.57 ± 0.16 <sup>b</sup>	-0.35 ± 1.58 <sup>a</sup>	0.53 ± 0.64 <sup>ab</sup>	-1.33 ± 11.81 <sup>a</sup>	0.03 ± 0.05 <sup>a</sup>
桂朝	干法粉碎	13.83 ± 4.83 <sup>b</sup>	0.22 ± 0.08 <sup>a</sup>	0.28 ± 0.28 <sup>a</sup>	1.65 ± 0.44 <sup>abc</sup>	3.33 ± 2.66 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.05 <sup>a</sup>
	低温润米粉碎	16.83 ± 5.78 <sup>b</sup>	0.40 ± 0.15 <sup>ab</sup>	0.12 ± 0.41 <sup>a</sup>	2.56 ± 0.64 <sup>abc</sup>	3.17 ± 6.55 <sup>a</sup>	0.12 ± 0.18 <sup>a</sup>
越南香米	干法粉碎	6.83 ± 1.72 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.34 <sup>b</sup>	0.34 ± 0.92 <sup>a</sup>	1.65 ± 2.06 <sup>bc</sup>	3.33 ± 6.19 <sup>a</sup>	0.15 ± 0.23 <sup>a</sup>
	低温润米粉碎	11 ± 5.90 <sup>ab</sup>	0.38 ± 0.16 <sup>ab</sup>	0.51 ± 0.29 <sup>a</sup>	2.27 ± 0.58 <sup>c</sup>	4.33 ± 1.51 <sup>a</sup>	0.07 ± 0.05 <sup>a</sup>

的<sup>[10]</sup>。由表1可知,珍桂、双桂和桂朝糙米中的直链淀粉含量高,均超过26%,由表2可知,其谷值黏度、终值黏度和回生值高于晚籼米越南香米。不同品种的回生值表现为一致的规律性,随着直链淀粉含量减少而呈降低趋势,直链淀粉含量较低时,回生值出现骤减趋势<sup>[15]</sup>。各项数值表明两种不同制粉工艺对其糊化特性影响较大,但总体而言,低温润米法粉碎相比干法粉碎具有更好的糊化特性值。

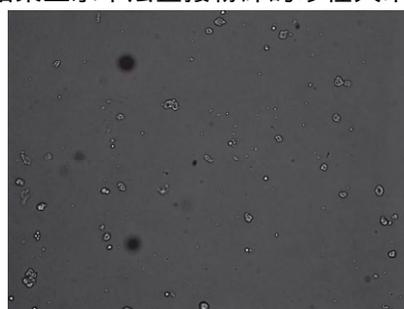
### 2.3 不同破碎方法对大米淀粉凝胶质构的影响

由表3可以看出,低温润米粉碎法获得的四种大米粉糊化后硬度值均略大于干法粉碎获得的大米粉凝胶的硬度,但变化不显著( $p > 0.05$ )。分析原因可能是低温润米粉碎对大米淀粉、蛋白等网络结构破坏较少,糊化后凝胶性能保持得相对较好,这与高晓旭等人研究湿磨法和调制粉(水分含量30%)的储能模量( $G'$ )未出现下降与淀粉颗粒较完整,直链淀粉持续较慢溶出同时小分子支链淀粉的溶出导致凝胶弹性和强度增大相一致<sup>[5]</sup>。此外,珍桂、双桂、桂朝三种早籼米凝胶的硬度值高于晚籼米越南香米且分别与直链淀粉含量相关,直链淀粉含量高的,形成的凝胶硬度相对较大,这主要是因为籼米中含有较高的直链淀粉,籼米糊化过程中,直链淀粉之间通过氢键相互交联缠绕的机会比晚籼米多,因此籼米形成凝胶的强度大于晚籼米的凝胶强度<sup>[12,16]</sup>。三种早籼米经干法粉碎后,只有桂朝米凝胶硬度显著高于越南香米( $p < 0.05$ ),说明不同的早籼米特性之间有差异。而通过对粘性、内聚性、弹性、胶着性和咀嚼性进行分析,发现干法粉碎和低温润米粉碎差异不显

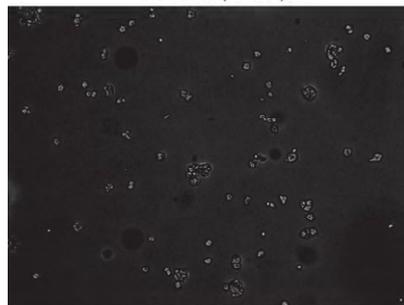
著( $p > 0.05$ )。说明这两种粉碎方式对大米粉的粘性、内聚性、弹性、胶着性和咀嚼性影响较小。

### 2.4 不同破碎方法对大米粉显微结构的影响

不同破碎方法对珍桂大米淀粉的显微结构影响见图2,结果显示干法直接粉碎的珍桂大米粉颗粒断



干法粉碎(400×)



低温润米粉碎法(400×)

图2 不同破碎方法对大米淀粉显微结构的影响

Fig.2 Effect of different crushing methods on microstructure of rice starch gel

面棱角锋利,形状不规则,表面损伤严重。而低温润米粉碎获得的珍桂大米粉在显微镜下表面相对平整,破坏程度低,低温润米粉碎磨粉可以改善大米粉的颗粒形态,双桂、桂朝和越南香米显微镜观察结果与珍桂大米粉末类似。本研究中因在光学显微镜下无法观察到偏光十字现象,故没有进行偏光下的观察。

### 3 结论

与干法粉碎相比,低温润米粉碎法粉碎的大米粉蛋白质损失少,淀粉破损少;珍桂、双桂、桂朝三种早籼米的胶稠度都属于较适合制作米粉的中胶稠度范围,而晚籼米越南香米在软胶稠度的范围内,不适合制作米粉;相比干法粉碎而言,低温润米粉碎法获得的大米粉具有糊化温度低,硬度高的特点,具有更好的糊化特性和质构特性。光学显微镜观察结果显示经低温润米粉碎法粉碎的大米淀粉颗粒表面损伤相比干法粉碎的大米淀粉颗粒表面损伤要小。总体而言,低温润米粉碎法显示出了干法无法比拟的优越性,今后可从品种入手,更深入的研究低温润米粉碎工艺及粉质特性,更系统的完善这种制粉方法,以期能够更好的取代传统耗时长、微生物易滋长的湿法制粉工艺,应用到实际生产中去。

### 参考文献

- [1] Fu B X. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing [J]. Food Research International, 2008, 41(9): 888-902.
- [2] 佟立涛, 周素梅, 林利忠, 等. 常德鲜湿米粉发酵过程中菌群变化 [J]. 现代食品科技, 2013, 29(11): 2616-2620.
- [3] Ngamnikom P, Songsermpong S. The effects of freeze, dry, and wet grinding processes on rice flour properties and their energy consumption [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 104(4): 632-638.
- [4] Heo S, Lee S M, Shim J H, et al. Effect of dry- and wet-milled
- (上接第9页)
- 860-861.
- [12] 赵弘泰. 直接压片法制备口腔崩解片预混辅料的研制 [D]. 石家庄: 河北医科大学, 2007.
- [13] 谢瑞红, 王顺喜, 谢建新, 等. 超微粉碎技术的应用现状与发展趋势 [J]. 中国粉体技术, 2009, 15(3): 64-67.
- [14] 高春生, 单利, 崔光华, 等. 粉末直接压片工艺主要辅料的流动性研究 [J]. 科学技术与工程, 2004, 4(5): 367-370.
- [15] 张雅媛, 游向荣, 洪雁, 等. 青香蕉全粉与淀粉理化性质及消化特性研究 [J]. 食品与机械, 2014(4): 50-53.
- [16] 张磊, 袁信华, 徐一平, 等. 不同粒度鱼粉的物理特性研究 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(32): 10302-10304.
- [17] 李里特. 食品物性学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2001, 203-205.
- [18] 王弘, 陈宜鸿, 马培琴. 粉体特性的研究进展 [J]. 中国新药杂志, 2006, 15(18): 1535-1539.
- [19] 章波, 冯怡, 徐德生, 等. 粉体流动性的研究及其在中药

rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(1): 213-217.

- [5] 高晓旭, 佟立涛, 钟葵, 等. 不同磨粉工艺对大米粉粉质特性的影响 [J]. 现代食品科技, 2015, 1(31): 194-199.
- [6] Tong L T, Gao X, Lin L, et al. Effects of semidry flour milling on the quality attributes of rice flour and rice noodles in china [J]. Journal of Cereal Science, 2015, 62: 45-49.
- [7] 刘也嘉, 林利忠, 林亲录. 半干法磨粉中润米时间对鲜湿米粉的影响 [J]. 现代食品科技, 2016, 32(4): 161-165.
- [8] Tong L T, Gao X, Zhou X, et al. Milling of glutinous rice by semidry method to produce sweet dumplings [J]. Journal of Food Process Engineering, 2015.
- [9] 岳崇慧, 刘明于, 国萍, 等. 大米淀粉组成与挤压膨化特性相关性研究 [C]. 中国食品科学技术学会第十二届年会暨第八届中美食品业高层论坛, 2015, 212-213.
- [10] 王娇. 不同制粉工艺对大米粉品质的影响 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.
- [11] 罗文波. 鲜湿米粉的品质评价、原料适应性及保鲜研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [12] 张兆丽, 熊柳, 赵月亮, 等. 直链淀粉与糊化特性对米粉凝胶品质影响的研究 [J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2011, 28(1): 60-64.
- [13] 李里特, 成明华. 米粉的生产与研究现状 [J]. 食品机械, 2000, 12(3): 10-12.
- [14] 吴卫国, 张喻, 肖海秋, 等. 原料大米特性与米粉产品品质关系的研究 [J]. 粮食与饲料工业, 2005(9): 21-24.
- [15] 张本山, 张友全, 杨连生. 淀粉多晶体系结晶度测定方法研究 [J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2001, 29(5): 55-58.
- [16] Fredriksson H, Silverio J, Andersson R, et al. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches [J]. Carbohydrate Polymers, 1998, 35(9): 119-134.
- 制剂中的应用 [J]. 中成药, 2008, 30(6): 904-907.
- [20] 郑慧. 苦荞麸皮超微粉碎及其粉体特性研究 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2007.
- [21] 陈盛君, 朱家壁, 祁小乐. 粉末直接压片常用辅料的粉体学性质评价 [J]. 中国医药工业杂志, 2013, 44(10): 1010-1013.
- [22] 潘亚平, 张振海, 蒋艳荣, 等. 中药粉体改性技术的研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2013, 38(22): 3808-3813.
- [23] 岳国超, 陈丽华, 管咏梅, 等. 新型直压辅料的粉体学性质评价 [J]. 中国药房, 2014(9): 833-836.
- [24] 何群, 滕久祥, 彭芝配, 等. 喷雾与减压干燥的秦香止泻干膏粉吸湿性及流动性比较 [J]. 中国现代应用药学, 2011, 28(3): 218-222.
- [25] 王念明, 张定堃, 杨明, 等. 超微粉碎对黄芩粉体学性质的影响 [J]. 中药材, 2013, 36(4): 640-644.
- [26] 吴奕生. 口腔速崩片的制备 [J]. 海峡药学, 2004, 16(5): 22-24.