

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.05.006

宋昕, 冯伟, 王涛, 等. 不同制粉方式对米粉粉质和鲜湿米线品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(5): 42-50.

SONG X, FENG W, WANG T, et al. Effect of different milling methods on the physicochemical properties of rice flour and the qualities of fresh rice noodles[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(5): 42-50.

不同制粉方式对米粉粉质和鲜湿米线品质的影响

宋昕^{1,2}, 冯伟^{1,2}, 王涛^{1,2}, 张昊^{1,2,3}, 陈正行^{1,2}, 王韧^{1,2}✉

(1. 江南大学 粮食发酵与食品生物制造国家工程研究中心, 江苏 无锡 214122;

2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122;

3. 南京农业大学 食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 为探究不同制粉方式对米粉粉质及其鲜湿米线品质的影响, 采用干法、半干法和湿法制粉并制作鲜湿米线, 分析了米粉基本组分、破损淀粉含量、粒径分布、颗粒表观形态、溶解度、膨润力和糊化特性, 比较了鲜湿米线的质构、蒸煮和感官品质。结果表明, 干法冲击 300 目粉破损淀粉含量最高 (17.55%), 粒径最小, 溶解度最大, 峰值粘度、最终粘度、回生值最小; 湿法粉的破损淀粉含量最低 (2.87%), 其溶解度最小, 峰值粘度、最终粘度、回生值最大; 随着调质水分含量的升高, 半干调质粉的破损淀粉含量降低 (4.49%→3.55%), 粒径减小, 溶解度变小。扫描电镜显示破损淀粉含量越小, 米粉的颗粒表观形态也更完整。湿法粉制作的鲜湿米线品质最好, 干法粉不适合制作鲜湿米线, 半干调质 33%粉和半干浸泡粉制作的鲜湿米线品质接近湿法粉, 在实际生产中可以考虑用这两种半干粉部分或完全替代湿法粉。研究结果为我国米线传统加工工艺的革新提供参考。

关键词: 米粉; 粉质; 破损淀粉; 鲜湿米线; 蒸煮品质

中图分类号: TS201.1 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2024)05-0042-09

网络首发时间: 2024-08-28 13:02:43

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20240827.1635.040>

Effect of Different Milling Methods on the Physicochemical Properties of Rice Flour and the Qualities of Fresh Rice Noodles

SONG Xin^{1,2}, FENG Wei^{1,2}, WANG Tao^{1,2}, ZHANG Hao^{1,2,3},
CHEN Zheng-xing^{1,2}, WANG Ren^{1,2}✉

(1. National Engineering Research Center of Cereal Fermentation and Food Biomanufacturing, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 3. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

Abstract: To reveal the effects of milling methods on the physicochemical properties of rice flour and the

收稿日期: 2024-02-10

基金项目: 十四五国家重点研发计划项目 (2023YFD2100803)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th five-year plan, China (No. 2023YFD2100803)

作者简介: 宋昕, 女, 1999 年出生, 在读研究生, 研究方向为粮食精深加工, E-mail: 1941495083@qq.com

通信作者: 王韧, 男, 1980 年出生, 博士, 教授, 研究方向为粮食精深加工工程与技术, E-mail: nedved_wr@jiangnan.edu.cn

qualities of fresh rice noodles, the rice was treated by dry, semi-dry, and wet milling methods and the resultant products were utilized to produce fresh rice noodles. The basic chemical components, the damaged starch rate, the size distribution, the morphology, the solubility and swelling power, and the pasting properties of the rice flour, as well as the texture, cooking, and sensory qualities of fresh rice noodles, were investigated. The obtained results suggested that the rice flour produced by drying methods with a 300 mesh had the highest damaged starch rate (17.55%) and solubility, smallest particle size, peak viscosity, final viscosity, and setback viscosity. By contrast, the rice flour produced from wet milling methods showed the lowest damaged starch rate (2.87%) and solubility, and the highest peak viscosity, final viscosity, and setback viscosity. Increasing the moisture content during the semi-dry milling treatment, the damaged starch rate of the rice flour decreased from 4.49% to 3.55%, and similar trend was observed for particle size distribution and solubility. Scanning electron microscopy suggested that the lower damaged starch rate, the more intact structure of the rice flour. The fresh rice noodles made from wet milling flour showed the best cooking qualities, and the cooking qualities of semi-dry milled flour-made and semi-soaking milled flour-made fresh noodles were close to those of wet milled flour-made fresh rice noodles while the rice flour produced from dry milled method was not suitable for making fresh rice noodles. The semi-dry and semi-soaking milled rice flour can replace the wet milled rice flour for the preparation of rice noodles during the practical production process. The findings in this study may assist the revolution for the traditional production of rice noodles.

Key words: rice flour; physicochemical properties; damaged starch rate; fresh rice noodles; cooking qualities

米线是我国很多地区人们的主食，种类繁多，根据加工及食用方式，可分为鲜湿米线、干米线、方便米线和速冻米线等^[1]。与面条相比，米线缺乏面筋结构，粘弹性、拉伸性相对较差，淀粉凝胶结构是米线质构形成的基础，因此淀粉的颗粒结构和形态对米线的品质尤为重要。

原料大米的粉碎是米线加工的首要步骤，粉碎方法主要有湿法磨浆、半干法磨粉和干法磨粉等，不同的制粉方式会对米粉的理化成分和粉质特性产生不同的影响，进而影响米线的品质。其中，破损淀粉含量一直是研究的重点，破损淀粉是由于机械作用造成颗粒结构变化而形成的，不同的磨粉方式产生的机械力不同，因此会对淀粉颗粒造成不同程度的损伤^[2]。米粉在干磨过程中暴露于更多的机械能和热能，导致对淀粉颗粒的损伤严重，较少用于直接制作米制品，但是干法有工艺简单，成本低廉的优点。湿法磨浆对淀粉颗粒的破损程度较小，普遍用于制作鲜湿米线、年糕等米制品，目前市售米粉主要是采用湿法砂盘磨粉，但这种制粉方式也存在可溶性营养物质流失，生产废水多、能耗高等问题。因此，研究人员一直在探索更好的制粉工艺，既能保证加工

的米线具有良好的感官和蒸煮品质，又能节能减排、降低成本。Heo 等^[3]采用干磨粉和湿磨粉复配的方法，发现复配后米粉粉质特性介于两者之间。朱凤霞^[4]等的研究表明半干法制得的米粉品质可接近湿法制粉。半干法磨粉是加工干米线较为常见的磨粉方式，传统的半干法磨粉是将大米浸泡到水分饱和后沥干再进行磨粉，该方法虽然一定程度上解决了干法磨粉破损淀粉含量高的问题，但是仍然存在可溶性营养物质流失、生产废水多等问题。采用润米的方式对大米进行调质后再进行磨粉有望解决上述问题。

目前国内外研究最多的是小麦磨粉淀粉的损伤对小麦粉及其面制品品质的影响，关于大米不同制粉方式造成的淀粉损伤对米粉及米线的影响的研究较少。本研究采用干法、半干法和湿法进行磨粉并制作鲜湿米线，其中干法采用了齿爪磨和超微冲击磨两种不同的粉碎设备、半干法采用齿爪磨、湿法采用砂盘磨。齿爪磨粉碎原理是在园齿和扁齿的打击及冲撞作用下破碎成细粉，该设备安装使用维修方便，可用于干法和半干法磨粉，成本低，但粉碎目数范围较窄，一般为 60~120 目；而超微冲击磨是在转子上锤头打散，撒向定

子周围,转子高速旋转,产生大量空气涡流,在空气涡流和离心力作用下,米粉颗粒相互碰撞并在转子、定子间剪切、研磨,最后在风机抽力作用下随上升气流运动至分级区,在高速旋转的分级涡轮产生的强大离心力作用下,使粗细米粉分离,细米粉通过分级轮进入旋风分离器,得到符合粒度要求的米粉,该设备成本较高,且只能用于干法磨粉,一般为 60~300 目;砂盘磨则是在高速旋转运动的两组动、静砂轮切削和磨削的原理成粉的,粉碎细度主要由动、静砂轮之间的间隙决定,该设备普遍用于湿法磨粉。本研究重点比较了干法磨粉的粉碎方式(齿爪式、超微冲击磨)、半干法调质磨粉的水分含量(24%、27%、30%和 33%)对米粉粉质以及鲜湿米线蒸煮、感官品质的影响,以期为我国米线加工工艺的革新提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与主要试剂

桂朝米(湖南湘潭):湖南聚宝金昊生物科技有限公司。

氢氧化钠、硼酸、乙酸、浓硫酸、无水乙酸钠、冰乙酸、钨酸钠、氯化钾、硫酸锌、硫代硫酸钠(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司; α -淀粉酶:梯希爱(上海)化成工业发展有限公司。

1.2 仪器与设备

Beta 2-8 L Dplu 型冻干机:德国 Marin Christ 公司;BT-9300S 型激光粒度分布仪:丹东百特仪器有限公司;RVA 4500 型快速粘度分析仪:澳大利亚波通公司;UV-3200 型紫外分光光度计:上海美谱达仪器有限公司;TA.XTPlus 型质构分析仪:英国 Stable Micro System 公司;DHG-9070A 型电热鼓风干燥箱:上海一恒科学仪器有限公司;SU8100 型扫描电子显微镜:日本株式会社日立高新技术;20-B 型万能粉碎机:江阴市杰顺机械有限公司;CR 系列超微冲击磨:潍坊市精华粉体工程设备有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 米粉的制备

湿法制粉:称取 3 kg 大米,在 6 L 蒸馏水中室温浸泡 6 h,采用砂盘磨进行粉碎,米浆过 80

目筛后先板框压滤再气流干燥,得到湿法粉。

干法制粉:称取 3 kg 大米,采用齿爪式粉碎机进行粉碎,筛网为 80 目,得到干法齿爪 80 目粉;采用超微冲击磨进行粉碎,设置分级轮转速使所获米粉在 80 目和 300 目的过筛率达到 99%,得到干法超微 80 目粉和干法超微 300 目粉。

半干法制粉:称取 3 kg 大米,在 6 L 蒸馏水中室温浸泡 6 h 使其达到饱和水分,沥干表面水分,采用齿爪式粉碎机进行粉碎,筛网为 80 目,随后置于 45 °C 烘箱干燥至水分含量约为 10%,得到半干法浸泡粉。同时,采用调质的方法制备半干粉,称取 3 kg 大米,置于塑封袋中,设置目标水分分别为 24%、27%、30%和 33%,依据大米初始水分含量喷洒一定量的去离子水后,密封摇匀,置于室温下平衡 6 h,期间每隔 1 h 摇匀大米 1 次,调质结束后,采用与半干法浸泡粉相同的方式进行粉碎、干燥,得到半干法调质 24%粉、27%粉、30%粉和 33%粉。

1.3.2 基本理化成分分析

水分含量测定参照 GB/T 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》(直接干燥法);蛋白质含量测定参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》(凯氏定氮法);脂肪含量测定参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》(索氏抽提法);灰分含量测定参照 GB/T 5009.4—2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》;直链淀粉含量测定参照 GB/T 15683—2008《大米直链淀粉含量的测定》;总淀粉含量采用 Megazyme 试剂盒测定。

1.3.3 破损淀粉含量测定

破损淀粉含量的测定参照 GB/T 9826—2008《粮油检验小麦粉破损淀粉测定 α -淀粉酶法》。

1.3.4 粒径分布测定

取不同方法制备的米粉样品,用激光粒度分析仪测定米粉的粒径分布,折射率为 10%~15%,研究不同制粉方式对米粉粒度分布的影响。

1.3.5 颗粒形貌表征

利用扫描电镜测定不同米粉样品的形态结构。将米粉样品用导电胶固定在铝片上,喷金,采用 3.0 kV 加速电压拍摄图像,以 1 000 倍的放

大倍率观察米粉样品图像。

1.3.6 溶解度和膨润力

配制浓度为 2% (干基) 的米粉乳, 充分混合均匀后, 于不同温度 (55、75 和 95 °C) 水浴加热 30 min。样品冷却至室温后, 8 000 r/min 离心 15 min, 将上层液体倒入已恒重的铝盒, 称量离心管剩余质量。将装有液体的铝盘在 105 °C 烘箱中干燥恒重, 记录质量, 计算溶解度和膨润力。溶解度和膨润力按式 (1)、(2) 计算。

$$R_1(\%) = \frac{M_1}{M_2} \times 100 \quad \text{式 (1)}$$

$$R_2(\text{g/g}) = \frac{M_3}{M_2 \times (100 - R_1)} \quad \text{式 (2)}$$

式中, R_1 为溶解度 (%); M_1 为上清液烘干后质量 (g); M_2 为样品干基质量 (g); R_2 为膨润力 (g/g); M_3 为离心管中沉淀物的重量 (g)。

1.3.7 糊化特性

糊化特性测定方法参考高利等^[5]并做适当修改。以水分基 14% 计, 准确称量米粉样品和去离子水于铝罐内, 均匀混合后使用 RVA 进行测定。选用标准 1 程序, 参数为: 50 °C 保持 1 min, 接着以 12 °C/min 的速率升温至 95 °C 并保持 2.5 min, 再以 12 °C/min 的速率冷却到 50 °C, 维持 2 min。前 10 s 搅拌桨转速设置为 960 r/min, 后续转速恒定为 160 r/min。

1.3.8 鲜湿米线的制作

参照雷婉莹^[6]的制作工艺, 粉水比为 1 : 3 配成米浆搅拌均匀, 倒入蒸粉模具中, 100 °C 蒸制 2 min, 冷却后取出米皮, 切成 1 cm 左右的宽粉条, 保鲜膜密封。

1.3.9 鲜湿米线的质构测定

测试参照罗文波^[7]的方法略作修改, 选用均匀一致的米线用来测试。质构特性测定采用 TPA 模式, 具体参数为: 探头型号 P/25, 测前、中、后速率均为 1、3、1 mm/s, 压缩比 50%, 2 次压缩时间间隔 5 s, 感应力大小 5 g。

1.3.10 鲜湿米线的蒸煮品质测定

吐浆值: 参照刘建^[8]的方法略作修改, 取 20 g 左右湿米线, 沸水中蒸煮 1 min 后取出, 汤汁定容至 500 mL, 移取 25 mL 至恒重器皿于 105 °C

条件下干燥至恒重, 计算吐浆值。吐浆值按式 (3) 计算。

$$R_3 = \frac{20 \times (M_2 - M_1)}{M_0 \times (1 - W)} \times 100\% \quad \text{式 (3)}$$

式中, R_3 为吐浆值 (%); M_0 为米线样品质量 (g); M_1 为恒重器皿质量 (g); M_2 为恒重器皿和水分蒸发后固形物质量之和 (g); W 为米线含水量 (%)。

断条率: 选择 20 根 20 cm 长的鲜湿米线, 在 500 mL 沸水中蒸煮 1 min 后, 将米线样品捞起过冷水滤干, 记录 10 cm 以上的米线条数 X , 计算断条率。断条率按式 (4) 计算。

$$R_4 = \frac{20 - X}{20} \times 100\% \quad \text{式 (4)}$$

式中, R_4 为断条率 (%); X 为米线数量 (条)。

1.3.11 鲜湿米线的感官评价

参考于宗正等^[9]感官评价标准略作修改。具体细则见感官评价表 1。由专业感官评测人员组成 11 人评价小组, 根据感官评价表标准进行评分, 去掉最高分和最低分, 取平均值。

表 1 感官评价评分细则

Table 1 Sensory evaluation scoring rules

一级指标	二级指标	特征描述及分值
气味 (10)	米香味 (10)	大米香气浓郁, 无异味 (8~10)
		大米香气较浓, 基本无异味 (4~7)
		大米香气较淡, 存在异味 (0~3)
外观 (30)	颜色 (10)	米白色, 无杂色 (8~10)
		米白色, 有少许杂色 (4~7)
	结构 (10)	颜色发黄, 杂色较多 (0~3)
		结构紧密, 无断条, 无并条、碎粉、开裂 (8~10)
	光泽 (10)	无断条、并条、碎粉, 少量开裂 (4~7)
		有碎粉, 易断条或有并条, 开裂 (0~3)
口感 (60)	黏性 (20)	表面有明显光泽 (8~10)
		表面稍有光泽 (4~7)
	硬度 (20)	表面无光泽 (0~3)
		有弹性, 爽滑不黏牙 (16~20)
	爽滑性 (20)	有一定弹性, 基本不黏牙 (8~15)
		无弹性, 咀嚼时黏牙 (0~7)

1.4 数据处理

所有实验数据使用 GraphPad Prism 7 进行处理,并以平均值±标准差表示。采用 SPSS 25.0 进行单因素方差分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 米粉的基本理化成分

米粉的基本成分是影响米粉粉质的重要因素^[10]。9 种米粉的基本理化成分如表 2 所示,淀粉和蛋白质是米粉中最主要的两种营养组分,9 种样品的总淀粉含量约为 75%,蛋白质含量为 8%~9%,直链淀粉含量约为 21%。此外,米粉中还有少量的脂肪和灰分,不同样品间脂肪含量的差异不大,湿法粉的灰分最低(0.36%),可能是在米浆压滤过程中损失了,这与曹松等的研究结果相似^[11]。

2.2 粒径分布和破损淀粉含量

不同制粉方式对米粉粉质的影响主要集中在

粒径分布和破损淀粉含量^[12]。CHEN^[13]和熊柳^[14]等的研究表明破损淀粉和粒径分布是影响米粉理化性质和适用性的两个关键因素。由表 3 可以看出,干法齿爪 80 目粉的平均粒径最大,D50 为 82.31 μm ,干法超微 300 目粉最小,D50 为 17.81 μm 。随着调质水分含量的增加,半干调质粉的粒径变小,半干调质 33%粉和半干浸泡粉的粒径较为接近湿法粉。湿法粉的破损淀粉含量最小,为 2.87%,这与 KUMAR 等^[15]的研究结果相近。干法粉的破损淀粉含量普遍较高,其中干法超微 300 目粉,由于粉碎时的机械强度最大,破损淀粉含量最高,达到 17.55%。与干法制粉相比,半干法制粉显著降低了破损淀粉含量,且随着调质水分含量的增大,半干调质粉的破损淀粉含量呈现出降低的趋势(4.49%→3.55%),半干浸泡粉的破损淀粉含量为 3.30%,与湿法粉没有显著差异($P > 0.05$)。

表 2 米粉的基本理化成分(干基)

Table 2 The content of basic components in rice flour (dry weight)

%

样品	水分	蛋白	脂肪	灰分	总淀粉	直链淀粉
干法齿爪 80 目粉	9.96±0.06 ^c	8.65±0.12 ^{abc}	1.26±0.08 ^a	0.71±0.02 ^a	75.58±0.49 ^{abc}	21.40±0.08 ^a
干法超微 80 目粉	10.06±0.06 ^c	8.78±0.03 ^{ab}	1.24±0.13 ^a	0.69±0.01 ^a	75.30±0.01 ^c	21.08±0.07 ^a
干法超微 300 目粉	9.34±0.08 ^{de}	8.73±0.25 ^{ab}	1.23±0.04 ^a	0.70±0.03 ^a	75.91±0.13 ^{ab}	20.72±0.43 ^a
半干调质 24%粉	10.83±0.06 ^a	8.81±0.13 ^a	1.20±0.14 ^a	0.69±0.01 ^a	76.08±0.14 ^a	21.00±0.71 ^a
半干调质 27%粉	9.89±0.35 ^c	8.54±0.02 ^{abc}	1.19±0.07 ^a	0.65±0.04 ^{ab}	75.50±0.28 ^{bc}	21.34±0.32 ^a
半干调质 30%粉	9.19±0.01 ^e	8.51±0.00 ^{bc}	1.18±0.11 ^a	0.67±0.03 ^{ab}	75.80±0.00 ^{abc}	21.37±0.34 ^a
半干调质 33%粉	9.09±0.16 ^e	8.42±0.01 ^c	1.18±0.04 ^a	0.61±0.01 ^b	75.65±0.04 ^{abc}	21.11±0.14 ^a
半干浸泡粉	9.53±0.10 ^d	8.42±0.02 ^c	1.07±0.07 ^a	0.54±0.01 ^c	75.70±0.00 ^{abc}	21.11±1.27 ^a
湿法粉	10.42±0.03 ^b	8.80±0.14 ^a	1.08±0.06 ^a	0.36±0.03 ^d	75.71±0.29 ^{ab}	21.46±0.67 ^a

注:同列不同字母表示数据存在显著差异性($P < 0.05$),后表同。

Note: Different letters in the same column indicate significant differences in data ($P < 0.05$), same as below.

2.3 米粉的颗粒形貌

不同制粉方式得到的 9 种米粉的颗粒形貌见图 1。从图 1 可以看出,干法粉团聚较多,且表面粗糙,其中干法超微 300 目粉(图 1c)具有明显可见的破损淀粉碎片。湿法粉(图 1i)的颗粒均一性好,结构完整,且无大团聚物。半干粉的颗粒形貌相比干法粉有明显改善,颗粒结构均较为完整,且随着调质水分含量的增加,半干调质粉的表面更加光滑圆润,大团聚物也逐渐减少,

其中半干调质 33%粉(图 1g)与半干浸泡粉(图 1h)的颗粒结构和表观形态基本一致,同时这二者也较为接近湿法粉。结合表 3 中的数据结果可知,采用半干调质的制粉方式可有效控制米粉的粒径分布和改善米粉的颗粒形貌,从而使其更加接近湿法粉的粉质特性。

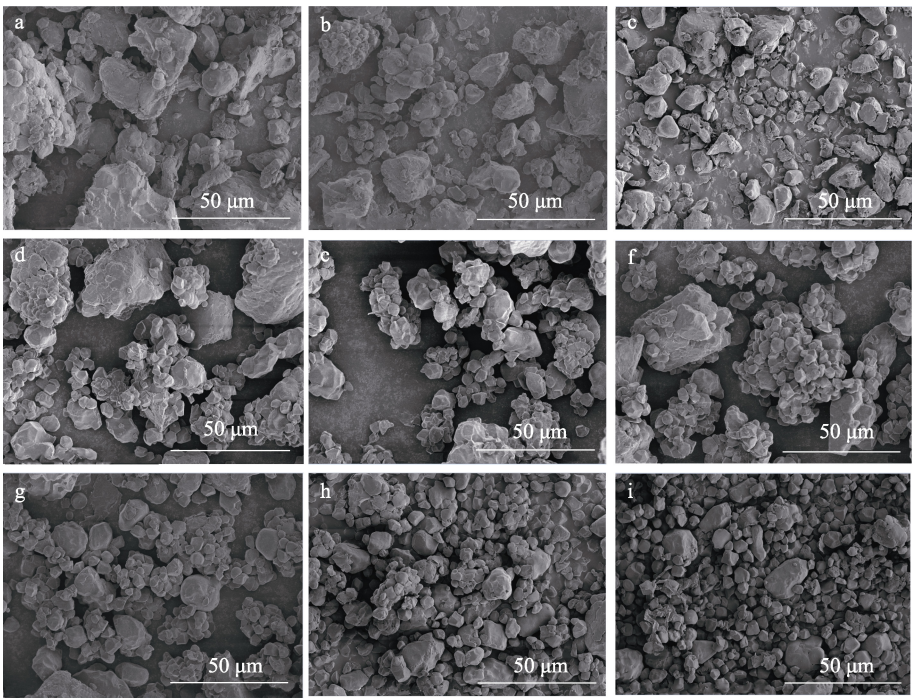
2.4 溶解度和膨润力

在 3 个温度梯度下测定的米粉的溶解度和膨润力如图 2 所示。米粉的溶解度和膨润力均随温

表 3 米粉的粒径分布和破损淀粉含量
Table 3 Particle size distribution of rice flour and damaged starch content

样品	D10/ μm	D50/ μm	D90/ μm	破损淀粉含量/%
干法齿爪 80 目粉	12.52 \pm 0.47 ^{ab}	82.31 \pm 0.81 ^a	233.50 \pm 3.54 ^a	10.31 \pm 0.21 ^b
干法超微 80 目粉	13.29 \pm 0.12 ^a	67.72 \pm 0.29 ^c	177.30 \pm 1.27 ^b	9.84 \pm 0.12 ^c
干法超微 300 目粉	4.42 \pm 0.02 ^e	17.81 \pm 0.01 ^h	43.81 \pm 0.93 ^f	17.55 \pm 0.46 ^a
半干调质 24%粉	11.71 \pm 0.36 ^{bc}	73.56 \pm 0.25 ^b	185.55 \pm 3.61 ^b	4.49 \pm 0.14 ^d
半干调质 27%粉	11.64 \pm 0.28 ^{bc}	61.15 \pm 2.88 ^d	177.35 \pm 5.16 ^b	3.94 \pm 0.12 ^e
半干调质 30%粉	10.89 \pm 0.63 ^c	50.40 \pm 2.33 ^e	113.10 \pm 5.80 ^c	3.59 \pm 0.03 ^{ef}
半干调质 33%粉	8.54 \pm 0.43 ^d	48.47 \pm 1.14 ^{ef}	104.40 \pm 2.26 ^{de}	3.55 \pm 0.09 ^{ef}
半干浸泡粉	7.53 \pm 1.33 ^d	44.75 \pm 2.55 ^f	102.59 \pm 6.10 ^e	3.30 \pm 0.20 ^{fg}
湿法粉	3.61 \pm 0.22 ^e	30.61 \pm 2.58 ^g	110.75 \pm 3.32 ^{de}	2.87 \pm 0.12 ^g

注：D10、D50、D90 代表粒径分布曲线中累积分布为 10%、50%、90%时的颗粒的等效直径（平均粒径）。
Note: D10, D50, and D90 represent the equivalent diameter (average particle size) of the particles in the particle size distribution curve when the cumulative distribution is 10%, 50%, and 90%.

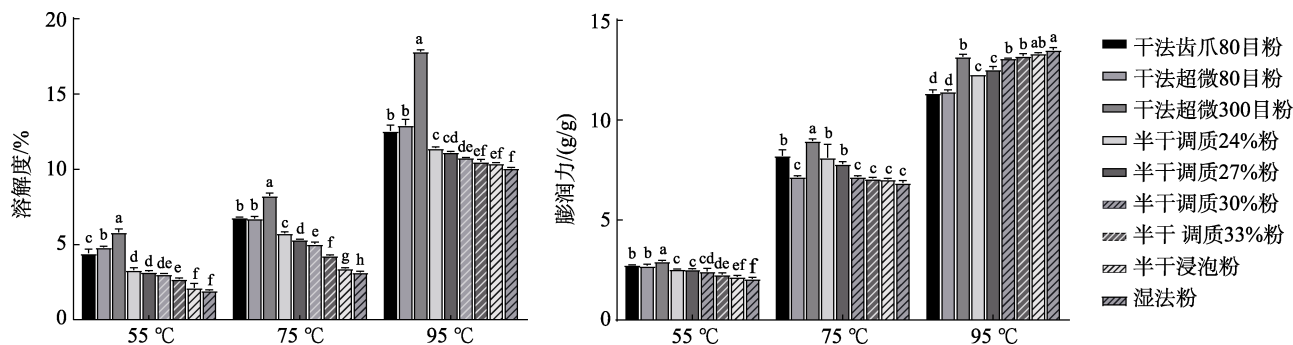


注：从 a 到 i 分别为干法齿爪 80 目粉、干法超微 80 目粉、干法超微 300 目粉、半干调质 24%粉、半干调质 27%粉、半干调质 30%粉、半干调质 33%粉、半干浸泡粉和湿法粉。
Note: From a to i are dry tooth and claw 80 mesh flour, dry ultramicro 80 mesh flour, dry ultramicro 300 mesh flour, semi-dry conditioned 24% flour, semi-dry conditioned 27% flour, semi-dry conditioned 30% flour, semi-dry conditioned 33% flour, semi-dry immersion flour, and wet flour, respectively.

图 1 米粉的扫描电子显微镜图
Fig.1 Scanning electron microscope images of rice flour

度的升高呈稳定的增加趋势^[16-17]。在同一温度下，干法粉的溶解度最大，湿法粉最小，半干浸泡粉的溶解度接近湿法粉，半干调质粉随调质水分含量增大，溶解度呈现降低趋势。这应该是由米粉的破损淀粉含量不同所造成的，淀粉破损程度越严重，溶出物也越多。在 55 ℃和 75 ℃时，米粉膨润力的变化趋势与溶解度相似，这是因为破损淀粉含量高的样品，其淀粉分子暴露的羟基更

易与水分子结合形成氢键，进而充分溶胀和崩解。然而在 95 ℃时，湿法粉却表现出更大的膨润力，这可能是因为充分加热的条件下，米粉的粒径分布也会影响其膨润力，进而导致破损淀粉含量低、颗粒小且均一性好的湿法粉具有更大的膨润力，这也与 HEO^[3]等的研究结果相一致。综合来看，半干调质 33%粉和半干浸泡粉的溶解度和膨润力更接近湿法粉。



注：同组数据上方不同字母表示数据存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Note: Different letters above the same set of data indicate significant differences in data ($P < 0.05$).

图 2 米粉的溶解度和膨润力

Fig.2 Solubility and swelling power of rice flour

2.5 糊化特性

9 种米粉的快速粘度分析仪特征值如表 4 所示。与半干粉和湿法粉相比，干法 80 目粉的峰值时间较小，这可能与破损淀粉含量有关，破损淀粉含量高，热糊的耐剪切能力差，较早到达峰值时间。湿法粉的峰值粘度最高，为 3 334.5 cP，湿法粉和半干粉的峰值粘度显著高于干法粉 ($P < 0.05$)，这同样是由于破损淀粉含量的不同造成的，破损淀粉含量低的样品，其淀粉颗粒在糊化过程中耐剪切能力强，充分吸水溶胀后表现出较高的峰值粘度^[18]。干法 80 目粉的衰减值较小，热糊稳定性较好，半干粉和湿法粉的衰减值显著大于干法 80 目粉 ($P < 0.05$)，其中半干调质 33% 粉、半干浸泡粉和湿法粉的衰减值没有显著差异 ($P > 0.05$)，衰减值也受破损淀粉含量影响，随破损淀粉含量的降低而升高^[19]。湿法粉的最终粘度和回生值均最大，分别为 4 954.0 cP 和 2 644.5 cP，这是由于湿法粉破损淀粉含量小，因此糊化过程中直链淀粉溶出少，颗粒均一性好，因此在降温

阶段直链淀粉分子之间、直链-支链淀粉分子间可以迅速通过氢键建立较强的相互作用^[19]，进而提高体系的粘度。干法超微 300 目粉的破损淀粉含量最高 (表 3)，但其衰减值和峰值时间均显著高于干法 80 目粉，这可能是因为当淀粉颗粒严重受损时，淀粉颗粒和碎屑会产生团聚现象，形成较大的不规则颗粒，影响成糊过程，使得衰减值和峰值时间较大^[20]。

2.6 鲜湿米线的质构特性

由于感官评价人员的偏好会对感官评价的结果产生影响，为了保证感官评价的准确性，质构特性成为了评价米线品质的重要指标^[21]。鲜湿米线的质构特性如表 5 所示，湿法粉制作的鲜湿米线硬度最大，弹性、咀嚼性和回复性最好。干法粉制作的鲜湿米线硬度较小，弹性、咀嚼性、回复性较差。其中，干法超微 300 目粉制作的鲜湿米线是干法粉制作的鲜湿米线中硬度最小，弹性、咀嚼性、回复性最差的。半干粉制作的鲜湿米线硬度、咀嚼性、回复性较干法粉有显著提高

表 4 米粉的快速粘度分析仪特征值

Table 4 Rapid visco-analyzer parameters of rice flour

样品	峰值粘度/cP	最低粘度/cP	衰减值/cP	最终粘度/cP	回生值/cP	峰值时间/min	糊化温度/°C
干法齿爪 80 目粉	2 068.5±13.4 ^f	1 935.5±51.6 ^b	133.0±38.2 ^d	3 727.5±139.3 ^d	1 792.0±190.9 ^{cd}	6.3±0.2 ^c	91.6±0.6 ^c
干法超微 80 目粉	2 420.5±19.1 ^e	2 164.0±7.1 ^a	256.5±26.2 ^d	4 425.0±97.6 ^b	2 261.0±104.6 ^b	6.3±0.1 ^c	91.3±1.0 ^c
干法超微 300 目粉	2 416.5±3.5 ^e	1 850.5±44.6 ^{bc}	566.0±48.1 ^{bc}	3 454.5±129.4 ^d	1 604.0±84.8 ^d	6.9±0.1 ^{ab}	91.7±0.6 ^c
半干调质 24% 粉	2 814.5±31.8 ^c	2 289.5±55.9 ^a	525.0±24.0 ^c	4 114.5±38.9 ^{bc}	1 826.0±16.9 ^{cd}	6.7±0.0 ^b	91.3±0.0 ^c
半干调质 27% 粉	2 900.0±48.1 ^b	2 171.5±68.7 ^a	728.5±116.7 ^b	4 083.5±6.4 ^c	1 912.0±62.2 ^c	7.0±0.1 ^{ab}	92.5±0.6 ^{bc}
半干调质 30% 粉	2 649.5±23.3 ^d	1 675.5±123.7 ^c	974.0±100.4 ^a	3 638.0±230.5 ^d	1 962.5±106.7 ^c	7.0±0.0 ^a	94.1±0.6 ^a
半干调质 33% 粉	2 692.5±33.2 ^d	1 656.0±96.2 ^c	1 036.5±62.9 ^a	3 544.0±193.7 ^d	1 888.0±97.5 ^c	7.0±0.0 ^a	94.5±0.0 ^a
半干浸泡粉	2 880.5±55.9 ^{bc}	1 816.0±89.1 ^{bc}	1 064.5±33.2 ^a	3 756.5±89.8 ^d	1 940.5±0.7 ^c	7.0±0.0 ^a	93.7±0.1 ^{ab}
湿法粉	3 334.5±46.0 ^a	2 309.5±176.1 ^a	1 025.0±130.1 ^a	4 954.0±182.4 ^a	2 644.5±6.3 ^a	6.9±0.1 ^{ab}	93.3±0.6 ^{ab}

表 5 鲜湿米粉的质构特性
Table 5 Texture characteristics of fresh wet rice noodles

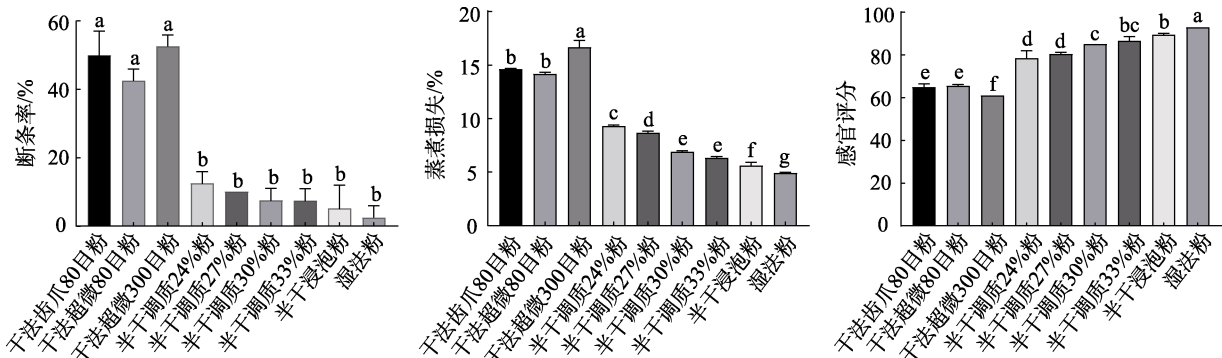
样品	硬度/g	弹性	咀嚼性/g	回复性
干法齿爪 80 目粉	2 484.71±70.92 ^e	0.95±0.01 ^{cd}	1 693.07±18.66 ^e	0.43±0.01 ^e
干法超微 80 目粉	3 134.08±39.95 ^d	0.95±0.01 ^{cd}	1 643.77±8.11 ^e	0.44±0.00 ^e
干法超微 300 目粉	1 772.70±78.76 ^f	0.94±0.01 ^d	1 390.72±54.83 ^f	0.33±0.01 ^f
半干调质 24%粉	3 034.08±39.59 ^d	0.95±0.00 ^{bcd}	1 994.70±120.45 ^d	0.47±0.00 ^d
半干调质 27%粉	3 386.01±27.66 ^c	0.96±0.01 ^{bc}	2 394.70±20.98 ^c	0.48±0.00 ^{cd}
半干调质 30%粉	3 434.08±39.95 ^c	0.95±0.00 ^{bcd}	2 442.23±90.56 ^c	0.49±0.00 ^c
半干调质 33%粉	3 585.73±114.15 ^b	0.97±0.01 ^{ab}	2 458.90±78.68 ^c	0.49±0.01 ^c
半干浸泡粉	3 663.98±17.56 ^b	0.98±0.00 ^a	2 665.07±18.55 ^b	0.51±0.01 ^b
湿法粉	4 082.98±1.88 ^a	0.98±0.01 ^a	2 832.26±39.00 ^a	0.53±0.00 ^a

($P<0.05$), 其中半干调质粉制作的米线随调质水分含量的增加, 硬度、弹性、咀嚼性、回复性增大, 这是因为破损淀粉颗粒在水中自发水合, 当破损淀粉含量高时, 破损淀粉颗粒更容易吸收水分, 膨胀并浸出支链淀粉和直链淀粉, 导致米线的凝胶状网络强度不够, 硬度较小, 弹性、咀嚼性、回复性较差^[17]。

2.7 鲜湿米线的蒸煮品质和感官评分

米粉的粉质特性对米线的蒸煮和感官品质有着至关重要的影响。如图 3 所示, 湿法粉制得的

鲜湿米线断条率、蒸煮损失最低, 感官评分最高^[22]。干法粉制作的米线断条率和蒸煮损失均较高, 感官评分也较低。半干粉制作的米线品质较干法粉有显著提高 ($P<0.05$), 其中半干调质粉制作的米线随调质水分含量的增加, 断条率和蒸煮损失降低, 感官评分升高。综合来看, 湿法粉制作的鲜湿米线品质最好, 但半干浸泡粉和半干调质 33%粉制作的米线品质非常接近湿法粉, 因此在实际生产中可考虑用这两种米粉样品部分或完全替代湿法粉。



注: 不同字母表示数据存在显著性差异 ($P<0.05$)。
Note: Different letters significant differences in data ($P<0.05$).

图 3 鲜湿米线的蒸煮品质和感官评分
Fig.3 Cooking quality and sensory scores of fresh wet rice noodles

3 结论

研究对比了 9 种米粉粉质及其制作的鲜湿米线品质的差异。由于制粉方式不同, 磨粉时产生的机械力和热能不同, 导致米粉的粒径分布和破损淀粉含量不同, 其中特别是破损淀粉含量对米粉的溶解度、膨润力、糊化特性有重要影响。破损淀粉含量越低, 米粉的溶解度、膨润力越小, 耐剪切能力越好, 峰值粘度和最终粘度越高, 越

适合用于制作鲜湿米线。由 9 种米粉制得的鲜湿米线的蒸煮品质和感官评价可知, 湿法粉制得的鲜湿米线的硬度最大, 弹性、咀嚼性和回复性最好, 断条率和蒸煮损失最低, 感官评分得分最高, 干法粉不适合制作鲜湿米线, 半干粉制作的鲜湿米线品质较干法粉有显著提高, 随调质水分含量的增加, 半干调质粉制得的鲜湿米线品质逐步提升, 半干浸泡粉制作的鲜湿米线的硬度、弹性、咀嚼性、回复性、断条率、蒸煮损失和感官评分

得分接近湿法粉。这一研究结论表明,在实际生产中可考虑采用半干调质 33%粉或半干浸泡粉替代湿法粉制作鲜湿米线,这对减少水资源浪费和后续污水处理成本以及响应国家节能减排政策具有重要意义。

本研究目前只探讨了同种米粉制得的鲜湿米线的品质,后续还将研究半干粉部分替代湿法粉制得的鲜湿米线相关品质,探索出以最低能耗和最低成本得到鲜湿米线品质的最佳方案。

参考文献:

- [1] 高晓旭, 佟立涛, 钟葵, 等. 不同磨粉工艺对大米粉质特性的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 194-199.
GAO X X, TONG L T, ZHONG K, et al. Effect of milling processes on quality of rice flour[J]. Modern Food Science and Technology, 2015, 31(1): 194-199.
- [2] HASJIM J, LI E, DHITAL S. Milling of rice grains: Effects of starch/flour structures on gelatinization and pasting properties[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 682-690.
- [3] HEO S, LEE S M, SHIM J H, et al. Effect of dry-and wet-milled rice flours on the quality attributes of gluten-free dough and noodles[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(1): 213-217.
- [4] 朱凤霞, 刘博, 张源泉, 等. 半干法制备米制品专用粉的工艺研究[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(10): 117-120.
ZHU F X, LIU B, ZHANG Y Q, et al. Research on the process of preparing special powder for rice products by semi-dry method[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2020, 45(10): 117-120.
- [5] 高利, 于晨, 高成成, 等. 银杏-籼米粉特性及其挤压粉丝的品质研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(2): 1-7.
GAO L, YU C, GAO C C, et al. Properties of rice-ginkgo blends and the quality properties of extruded rice noodles[J]. Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(2): 1-7.
- [6] 雷婉莹. 鲜湿米粉配米原料选择及加工工艺研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
LEI W Y. Study on blended rice selection and processing technology of fresh rice noodles[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.
- [7] 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.
LUO W B. Study on quality evaluation, processing suitability and preservation of fresh rice noodles[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2012.
- [8] 刘建, 康建平, 张星灿, 等. 鲜湿米粉品质改良研究[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(6): 57-61.
LIU J, KANG J P, ZHANG X C, et al. Study on quality improvement of fresh and wet rice noodle[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2019, 27(6): 57-61.
- [9] 于宗正, 杨国栋, 程子航, 等. 以短生育期籼稻为原料的鲜湿米粉食用品质与消化特性研究[J]. 中国粮油学报, 2023, 38(2): 35-42.
YU Z Z, YANG G D, CHENG Z H, et al. Edible quality and digestive properties of fresh wet rice noodles with short growth period Indica rice as raw material[J]. Chinese Cereals and Oils Association, 2023, 38(2): 35-42.
- [10] 吴娜娜, 李莎莎, 刘明, 等. 淀粉性质及米粉粒度对米制品品质影响研究进展[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(1): 6-9.
WU N N, LI S S, LIU M, et al. Research progress for influence of starch properties and flour particle size on rice food quality[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(1): 6-9.
- [11] 曹松, 周洲, 董明, 等. 不同实验室干法制备工艺对糯米粉品质特性的影响[J]. 现代食品, 2021(17): 60-63+69.
CAO S, ZHOU Z, DONG M, et al. Effects of dry preparation processes in different laboratories on the quality characteristics of glutinous rice flour[J]. Modern Food, 2021(17): 60-63+69.
- [12] 吴娜娜, 乔聪聪, 田晓红, 等. 鲜湿糙米线品质劣变机理及调控技术研究进展[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(5): 83-92.
WU N N, QIAO C C, TIAN X H, et al. The current progress in research on the mechanism and control techniques of quality deterioration of fresh brown rice noodles[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(5): 83-92.
- [13] CHEN J J, LU S, LI C Y. Physicochemical and morphological on damaged rice starch[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2003a, 11 (4): 283-799.
- [14] 熊柳, 初丽君, 孙庆杰. 损伤淀粉含量对米粉理化性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2012, 27 (3): 11-14.
XIONG L, CHU L J, SUN Q J. Effects of damaged starch content on physicochemical properties of rice flour[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 7(3): 11-14.
- [15] KUMAR C S, MALLESHI N G, BHATTACHARYA S. A comparison of selected quality attributes of flours: Effects of dry and wet grinding methods[J]. International Journal of Food Properties, 2008, 11(4): 845-857.
- [16] 李雅琴, 周裔彬, 金姗姗, 等. 3 种物理处理方法对籼米粉物性和体外消化性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(8): 87-91.
LI Y Q, ZHOU Y B, JIN S S, et al. Effects of three physical treatment methods on physical properties and in vitro digestibility of indica rice flour[J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(8): 87-91.
- [17] 傅茂润, 赵双, 曲清莉, 等. 超微粉碎对红米理化性质和加工特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(4): 96-100.
FU M R, ZHAO S, QU Q L, et al. Effect of ultra-micro-milling on physicochemical properties and processing characteristics of red rice[J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(4): 96-100.
- [18] BHAT F M, RIAR C S. Effect of amylose, particle size & morphology on the functionality of starches of traditional rice cultivars[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2016, 92: 637-644.
- [19] LIN Z X, GENG D H, QIN W Y, et al. Effects of damaged starch on glutinous rice flour properties and sweet dumpling qualities[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 181: 390-397.
- [20] WANG H, XIAO N, WANG X, et al. Effect of pregelatinized starch on the characteristics, microstructures, and quality attributes of glutinous rice flour and dumplings[J]. Food Chemistry, 2019, 283: 248-256.
- [21] 成林梢, 梁钦梅, 姚镇江, 等. 米粉品质评价及生产研究现状及展望[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(6): 71-79.
CHENG L S, LIANG Q M, YAO Z J, et al. Research status and prospect of rice noodles quality evaluation and manufacture[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(6): 71-79.
- [22] 王晓培, 陈正行, 李娟, 等. 湿热处理对大米淀粉理化性质及其米线品质的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(5): 204-210.
WANG X P, CHEN Z X, LI J, et al. Effects of heat-moisture treatment on various physicochemical properties of rice starch and quality of rice starch noodles[J]. Food and Machinery, 2017, 33(5): 204-210. ㊞