

魔芋精粉对鲜湿米粉品质的影响

Study on the effects of adding konjac refined flour on the quality of fresh wet rice noodle

龚雪¹ 解松峰² 夏曾润² 王爱霞¹ 佟立涛¹

GONG Xue¹ XIE Song-feng² XIA Zeng-run² WANG Ai-xia¹ TONG Li-tao¹

(1. 中国农业科学院农产品加工研究所, 北京 100193; 2. 安康市富硒产品研发中心, 陕西 安康 725028)

(1. Institute of Agricultural Products Processing, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Ankang Selenium Rich Product Research and Development Center, Ankang, Shaanxi 725028, China)

摘要:目的: 开发低血糖指数魔芋米粉产品。方法: 分别添加20%, 10%, 5%魔芋精粉于大米粉中制作鲜湿米粉, 使用质构仪、快速黏度分析仪等研究魔芋精粉的添加对米粉质构、蒸煮性能、感官品质的影响, 并通过体外消化模型研究魔芋米粉的淀粉水解率、消化速度以及估计血糖生成指数。结果: 5%魔芋米粉蒸煮损失率与蒸煮浊度显著降低, 感官评分与白米粉无显著差异, 具有较好的食用品质; 与估计血糖生成指数较高的白米粉相比, 5%魔芋精粉添加量米粉的估计血糖生成指数显著降低至60.49, 且具有更高的营养价值。结论: 5%魔芋精粉添加量的魔芋米粉产品可以显著降低米粉的血糖生成指数, 且食用品质可以与传统白米粉相媲美。

关键词: 魔芋; 鲜湿米粉; 血糖生成指数; 食用品质; 消化特性

Abstract: Objective: This study aimed to develop konjac rice noodles products with low glycemic index. Methods: The fresh wet rice noodles was made by adding 20%, 10% and 5% konjac refined flour into rice noodles, respectively. The effects of the addition of konjac refined flour on the texture, cooking performance, and sensory quality of rice noodles were studied by texture analyzer and rapid viscosity analyzer. The starch hydrolysis rate, digestion rate, and glycemic index of konjac rice noodles were studied by in vitro digestion model. Results: The cooking loss rate and turbidity of 5% konjac rice noodles were

significantly reduced, and there was no significant difference in sensory scores between them and white rice noodles. Compared with white rice noodles with a high estimated glycemic index, the estimated glycemic index of rice noodles with 5% konjac flour significantly decreased to 60.49, and it has a higher nutritional value. Conclusion: The konjac rice noodles product with 5% konjac refined flour can significantly reduce the glycemic index of rice noodles, and its edible quality is as same as the traditional white rice flour products.

Keywords: konjac; fresh and wet rice noodle; glycemic index; edible quality; digestive characteristics

传统米粉以精米为原料, 含有较多快消化淀粉, 食用后会导致血糖升高较快, 不适宜糖尿病及超重人群大量摄入。近年来, 添加膳食纤维等多糖类物质到大米粉中降低淀粉水解率、改善米粉消化特性, 已成为降低人体食用米粉后血糖升高指数的研究热点^[1-3]。

魔芋精粉是魔芋经过清洗、切片、干燥、粉碎等工序加工而成的魔芋制品, 富含魔芋葡甘聚糖及硒、钾、磷等多种矿物质, 具有降低血糖、血脂、补充人体所需微量元素, 调节肠道菌群等生理功能^{[4]6-7}。魔芋葡甘聚糖是一种膳食多糖, 具有强吸水性, 吸水后在胃中膨胀易产生饱腹感, 同时能与淀粉形成多糖—淀粉复合物, 从而减少淀粉与消化酶的接触面积, 因此魔芋精粉被广泛应用于低血糖生成指数的功能性食品的加工^[5]。万佐玺等^[6]研究证明, 魔芋具有较强的富硒能力, 并且可将无机硒转化为利于人体吸收且较为安全的有机硒, 因此魔芋精粉可以在降低血糖等基础之上安全补充有机硒。雷雯等^[7]研究表明, 掺入魔芋精粉的豆腐快消化淀粉含量减少。李嘉欣等^[8]研究表明魔芋精粉的添加可以使面条口感更佳。因为魔芋精粉具有强吸水性, 添加到面团中可以使面团

基金项目: 中国富硒产业研究院富硒专项“236”计划项目(编号: 2019QCY-2.3-01); 金龙鱼创新基金项目(编号: 2022WFZ-06-01)

作者简介: 龚雪, 女, 中国农业科学院农产品加工研究所读硕士研究生。

通信作者: 佟立涛(1982—), 男, 中国农业科学院农产品加工研究所研究员, 博士。E-mail: tonglitao@caas.cn

收稿日期: 2022-11-07 **改回日期:** 2023-05-26

吸收更多水分,从而改善面团的回生值和硬度,增加面条的弹性,使面条口感更好。戴昊昕^[9]16-22探究出了魔芋精粉与大米复配制作粉皮的最佳工艺是魔芋精粉和大米粉质量比1:2,加碱量5%,蒸煮时间30 min,室温冷却静置时间150 min。在该条件下,大米和魔芋复配粉皮的质构和感官品质最好。然而,添加魔芋精粉制作米粉的最佳比例及工艺条件,以及其对鲜湿米粉的食用品质,营养及消化特性的影响还未见相关报道。

研究拟将魔芋精粉添加到大米粉中制作鲜湿米粉,并开展产品品质评价和体外模拟消化试验,以传统白米粉为对照,考察魔芋精粉的适宜添加量和品质变化规律,以期为新型健康米粉提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 主要试验材料

籼稻:江西兴达粮食加工厂;

魔芋精粉:岚皋县明富魔芋生物科技开发有限公司。

1.2 主要试验仪器

家庭用精米机:RSKM 3D型,日本佐竹化学机械工业株式会社;

旋风磨:CT 410型,福斯赛诺分析仪器(苏州)有限公司;

液压饴烙面机:HY 602-06型,恒宇橡胶制品集团有限公司;

冷冻干燥机:J-25C型,北京四环科学仪器厂有限公司;

质构仪:TA-XT 2i/5型,英国 Stable Micro System 公司;

高速冷冻离心机:GL-20G-II型,上海安亭科学仪器厂;

快速黏度分析仪:RVA-Tec Master型,波通瑞华科学仪器(北京)有限公司;

扫描电子显微镜:Hitachi S-570型,日立高新技术(上海)国际贸易有限公司;

电热鼓风干燥箱:LGGZX-9030MBE型,上海博迅实业有限公司医疗设备厂。

1.3 试验方法

1.3.1 大米粉制备 籼稻除尘除杂,使用精米机除去米糠层,用旋风磨粉碎,过80目筛,密封保存。

1.3.2 鲜湿米粉制备 参照佟立涛等^[10]的鲜湿米粉制备方法,稍加修改:

5%魔芋米粉制备方法:魔芋精粉:大米粉(1:19)→0.1%小苏打水进行调浆(水分含量58%,以干基计)→蒸制(100℃、20 min)→挤压成型(液压饴烙面机)→煮制(100℃、2 min)→沥干→冷却→成品。

鲜湿白米粉制备方法:籼米粉→调浆(水分含量

55%,以干基计)→蒸制(100℃、20 min)→挤压成型(液压饴烙面机)→煮制(100℃、2 min)→沥干→冷却→成品。

1.3.3 粉质指标测定

(1) 水分含量:按GB 5009.3—2016执行。

(2) 总淀粉含量:按AOAC 996.11执行。

(3) 直链淀粉含量:按AACC 76—31.01执行。

(4) 粗蛋白含量:按GB 5009.5—2016执行。

(5) 粗脂肪含量:按GB 5009.6—2016执行。

(6) 灰分含量:按GB 5009.4—2016执行。

(7) 硒含量:按GB 5009.93—2017执行。

(8) 糊化特性:使用RVA-Tec Master快速黏度分析仪进行糊化特性分析,根据Palabiyik等^[11]的方法,修改如下:样品在7.5℃/min的速度下,由30℃升温到95℃,保温5 min。随后,样品由95℃冷却至50℃(同样以7.5℃/min的速度),保温5 min。

1.3.4 鲜湿米粉指标测定

(1) 质构特性:根据Tong等^[12]的方法并略加修改,新制米粉在4℃放置3 h,煮2 min,取3根直径均匀,长约5 cm样品进行质构特性测定。使用TA-XT 2i/5型质构仪,测试探头为P/36 R,预测速度为2.0 mm/s,测试速度为1.0 mm/s,测后速度为2.0 mm/s,50%的压缩比,触发力0.049 N,两次压缩间隔为3 s,平行次数为10。

(2) 蒸煮特性:根据Jang等^[13]的方法并略加修改,取10 g鲜湿米粉,置于200 mL沸水,煮制2 min,取适量蒸煮水于675 nm下比色,测定蒸煮后水的浊度。吸水率和蒸煮损失率测定根据Liu等^[14]的方法并略加修改,将上述蒸煮后米粉用漏勺捞出,并用50 mL蒸馏水冲洗30 s,准确称量蒸煮后米粉的质量,并收集蒸煮及冲洗米粉的溶液于105℃烘箱中烘至恒重。另取10 g鲜湿米粉105℃烘干至恒重,准确称量其质量。每个样品重复3次,结果取平均值。按式(1)和式(2)计算吸水率和蒸煮损失率。

$$X = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100\%, \quad (1)$$

$$S = \frac{D}{M_3} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

X——米粉蒸煮过程中的吸水率,%;

M_1 ——煮前米粉质量,g;

M_2 ——煮后米粉质量,g;

S——蒸煮损失率,%;

D——蒸煮液烘干后干物质质量,g;

M_3 ——鲜湿米粉烘干后的质量,g。

(3) 感官特性:参照高晓旭等^[15]的感官评价标准,组织6名有经验的食品专业研究生(3名男生,3名女生)成

立米粉感官评价小组,小组成员品评样品前纯净水漱口,对随机编码的米粉,按照表 1 对米粉样品进行感官评分。

表 1 感官评分标准

Table 1 Sensory scoring standards

指标	评分标准	分值
色泽	色泽鲜亮均匀,无杂色	10.1~15.0
	色泽较鲜亮均匀,轻微杂色	5.1~10.0
	色泽不均匀,多杂色,	1.0~5.0
气味	具有纯正香味,气味浓,无其他异味	7.1~10.0
	香味适中,无其他异味	4.1~7.0
	有令人讨厌的异味	1.0~4.0
组织形态	表面光滑,有弹性,形态完整,无明显碎粉	10.1~15.0
	表面光滑,弹性适中,形态较完整,有轻微碎粉	5.1~10.0
	表面粗糙,弹性很小,形态不完整,有明显碎粉	1.0~5.0
硬度	咀嚼时,硬度适中	10.1~15.0
	咀嚼时,相对较硬	5.1~10.0
	硬度过硬或过软	1.0~5.0
黏性	咀嚼时,爽口不粘牙	13.1~20.0
	咀嚼时,爽口,轻微粘牙	6.1~13.0
	咀嚼不爽口,发黏	1.0~6.0
弹性	咀嚼时,弹性、有咬劲	13.1~20.0
	咀嚼时,弹性,咬劲适中	6.1~13.0
	咬劲差,没有弹性	1.0~6.0
光滑性	品尝时,光滑、柔软、顺滑	3.1~5.0
	较顺滑	2.1~3.0
	不顺滑、粗糙	1.0~2.0

(4) 微观结构观察:将经冷冻干燥的米粉切成 2 mm 长的薄片,按使用扫描电子显微镜(SEM)检测贮藏 1 周内的干米粉的微观结构。扫描具体操作参考 Geng 等^[16]的方法修改如下:将样品分别放在样品架上,溅射镀金,35 倍放大倍数下观看拍照。

(5) 消化率:根据 Wei 等^[17]的方法并略加修改,样品烘干过 60 目,取 200 mg 样品,料水比 1:5 (g/mL),添加 1 mL 唾液淀粉酶,5 mL 胃蛋白酶溶液,37 °C 模拟消化 30 min,用氢氧化钠溶液与醋酸钠缓冲液中和调节 pH,加 5 mL α-胰淀粉酶—淀粉葡萄糖苷酶混合溶液。分别在 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 min 处取样 0.1 mL,立即加入 0.7 mL 的无水乙醇,终止反应,4 000 r/min 离心,取 0.1 mL 上清液,加 3 mL GOPOD 试剂进行显色反应,测定葡萄糖含量。按式(3)计算淀粉水解率。

$$H_{\text{口腔}} = \frac{G \times 0.9}{S} \times 100\%,$$

(3)

式中:

$H_{\text{口腔}}$ ——模拟米粉在口腔消化时的淀粉水解率,%;

G ——取样时淀粉水解产生的葡萄糖量,g;

S ——米粉样品的总淀粉量,g。

根据 Goni 等^[18]建立的非线性模型,淀粉水解动力学及估计血糖生成指数计算公式为

$$C = C_{\infty} [1 - (\exp - kt)],$$

(4)

$$G_e = 0.549 \times \frac{A_s}{A_g} \times 100 + 39.71,$$

(5)

式中:

C ——各时间点的淀粉水解率,%;

C_{∞} ——最终水解率,%;

k ——动力学常数;

G_e ——估计血糖生成指数;

A_s ——不同米粉的消化曲线线下面积;

A_g ——葡萄糖消化曲线线下面积。

1.4 数据分析

使用 Excel 2010 与 SPSS 19.0 软件进行数据分析,使用 Origin 2021 绘图。

2 结果与分析

2.1 魔芋精粉添加比例对米粉断条率和浑汤率的影响

经试验发现,添加 20%魔芋的米粉,其质构形态破损严重,断条率、浑汤率较高,无法呈现正常米粉状态;添加 10%魔芋的米粉,其质构形态较松散、表面粗糙,断条率高,不易被人们接受;添加 5%魔芋的米粉,质构状态完整,表面更加紧密光滑,断条率低,其品质更接近于白米粉。故选择 5%魔芋米粉对其食用品质和营养品质进行深入研究。

2.2 魔芋精粉添加对米粉基本成分的影响

魔芋精粉因富含硒、钾、磷等多种矿物质,提高了魔芋米粉的灰分比例。同时,魔芋米粉的总淀粉、粗脂肪及直链淀粉含量均低于白米粉,见表 2。因此,从基本组分角度分析,与白米粉对比,魔芋米粉更有利于降低食用后血糖生成指数,且具有较高的营养价值。

2.3 魔芋精粉添加对米粉糊化特性的影响

添加魔芋精粉后的米粉峰值黏度、最低黏度、最终黏度、回生值增大,糊化特性有明显改性(见图 1)。因为膳食纤维等多糖添加到米粉中可以形成多糖—淀粉复合物,改变米粉的糊化特性^[19-20]。魔芋精粉中富含魔芋葡甘聚糖等高分子多糖,形成了白米粉所不具有的魔芋葡甘聚糖—淀粉复合物,其抗剪切性强,能减少或延缓淀粉崩解,因此魔芋米粉与白米粉相比,崩解值较低,热稳定性较强。

回生值是终值黏度和谷值黏度的差值,反映了淀粉的老化程度,魔芋米粉的回生值高达 1.99 Pa·s,显著高于白米粉(1.87 Pa·s),见表 3。魔芋精粉中的魔芋葡甘

表 2 5%魔芋米粉及白米粉主要成分分析[†]

Table 2 Analysis of principal components of 5% konjac rice noodle and white rice noodle %

样品	水分	粗蛋白质	总淀粉	粗脂肪	灰分	直链淀粉
白米粉	5.01±0.05	8.89±0.01 ^a	80.52±0.25 ^a	1.23±0.58	0.30±0.04	28.66±1.10
魔芋米粉	5.55±0.16	8.76±0.02 ^b	76.27±0.22 ^b	1.16±0.02	0.35±0.01	23.15±0.79

† 同列小写字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)。

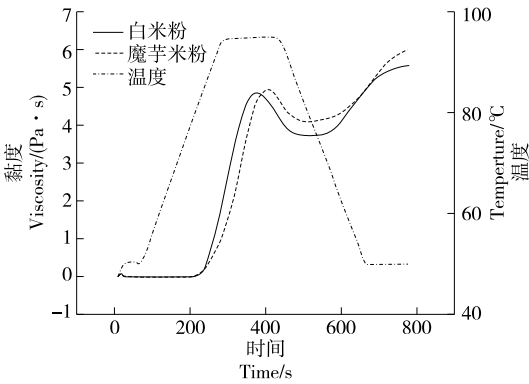


图 1 5%魔芋精粉与白米粉糊化特性

Figure 1 Pasting properties of 5% konjac flour and white rice noodle

聚糖是一种亲水性高分子多糖,吸水后具有较高黏度且在加热之后形成稳定凝胶^[3],因此添加 5%魔芋精粉后其米粉峰值黏度、最低黏度、最终黏度显著增大。说明添加 5%魔芋精粉到米粉中有利于提高米粉凝胶强度和黏度。

2.4 魔芋精粉添加对米粉质构特性的影响

米粉是典型的淀粉凝胶食品,而凝胶的质构特性是影响其接受程度的重要因素^[2]。由表 4 可知,添加魔芋精粉后米粉的硬度、黏着性、内聚性、弹性、耐咀嚼性与白米粉差异不显著,表明魔芋米粉质构评价指标较高,整体品质与白米粉接近。

魔芋米粉的回复性显著高于白米粉,说明其保水性更强,这是因为魔芋精粉吸水后在加热条件下与淀粉形成更为稳定的凝胶网络结构^[3]。因此,添加 5%魔芋精粉

表 3 5%魔芋精粉添加对米粉糊化特性的影响[†]

Table 3 Effects of adding 5% konjac refined flour on pasting properties of rice noodle

样品	峰值黏度/(Pa·s)	最低黏度/(Pa·s)	崩解值/(Pa·s)	最终黏度/(Pa·s)	回生值/(Pa·s)	糊化温度/°C
白米粉	4.86±0.06 ^a	3.68±0.18 ^a	1.17±0.21	5.56±0.36 ^a	1.87±0.40 ^a	83.00±0.08 ^a
魔芋米粉	5.37±0.22 ^b	4.26±0.13 ^b	1.11±0.90	6.25±0.10 ^b	1.99±0.55 ^b	81.00±0.05 ^b

† 同列小写字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)。

表 4 添加 5%魔芋精粉对米粉质构特性的影响[†]

Table 4 Effects of adding 5% konjac refined flour on textural properties of rice noodle

样品	硬度/N	黏着性/(N·s)	回复性	内聚性	弹性	耐咀嚼性/N
白米粉	175.00±0.24	1.57±0.01	47.70±1.03 ^b	0.83±0.01	97.25±0.65	139.00±0.52
魔芋米粉	164.00±0.48	1.32±0.07	57.20±0.73 ^a	0.83±0.01	97.30±0.64	133.00±0.10

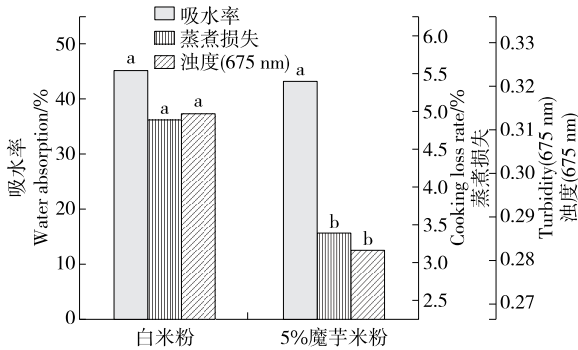
† 同列小写字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)。

可以有效改善米粉质构品质。

2.5 魔芋精粉添加对米粉蒸煮特性的影响

添加魔芋精粉的米粉蒸煮损失率显著降低(见图 2),这是由于具有强吸水性的魔芋精粉可以促使米粉形成稳定的胶体。米粉体系中的淀粉颗粒包裹在这种稳定的凝胶结构中而难以渗出,从而显著降低米粉的蒸煮损失^[3]。

魔芋精粉中主要功能成分——魔芋葡甘聚糖易吸水形成高黏度溶液,加上魔芋葡甘聚糖—淀粉复合物在加热条件下形成稳定的不可逆凝胶,使米粉保水力明显提升^{[9]24-25}。因此,魔芋米粉在蒸煮之后的浊度与白米粉相比显著降低(见图 2)。总的来说,添加 5%魔芋精粉后米粉的蒸煮品质有显著提升,主要表现为蒸煮损失率和蒸煮后浊度显著降低,且蒸煮过程中的吸水率与白米粉相近。



小写字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)

图 2 添加 5%魔芋精粉对米粉蒸煮特性的影响

Figure 2 Effects of adding 5% konjac refined flour on cooking characteristics of rice noodle

2.6 魔芋精粉添加对米粉感官特性的影响

由表 5 可知,添加魔芋精粉后米粉的气味评分显著降低,但组织形态和口感评分有所提高。魔芋精粉本身带有一种特殊的腥味,加入米粉中会导致米粉的气味评分下降。同时,加入魔芋精粉后,米粉吸水增多,其组织形态相对充盈,口感层次相对丰富。因此,魔芋米粉的综合感官可接受度与白米粉持平。

表 5 添加 5%魔芋精粉对米粉感官品质的影响[†]
Table 5 Effect of adding 5% konjac refined flour on sensory quality of rice noodle

样品	色泽	气味	组织形态	口感	总分
白米粉	14.5±0.5	9.6±0.1 ^a	13.7±1.2	52.0±1.4	89.8±0.5
魔芋米粉	14.0±0.4	7.6±0.7 ^b	14.9±1.1	53.6±2.6	89.0±2.9

[†] 同列小写字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)。

2.7 魔芋精粉添加对米粉微观结构的影响

由图 3 可知,魔芋米粉与白米粉内部结构有显著差异。白米粉边缘光滑致密,截面空气细胞分布均匀,孔径较小;魔芋米粉表面光滑且有孔隙,孔径相对较大且密集。这是由于魔芋精粉吸收更多的水渗透到淀粉颗粒中,导致在冷冻干燥过程中因冰晶侵蚀而形成大孔^[3]。

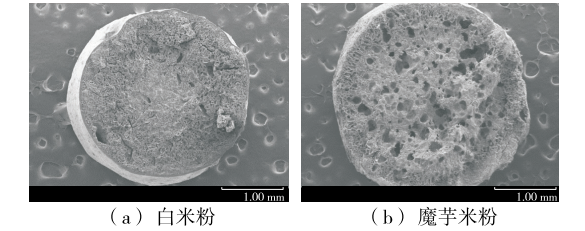


图 3 添加 5%魔芋精粉对米粉微观结构的影响
Figure 3 Effects of adding 5% konjac refined flour on structure of rice noodle

米粉是具有一定黏弹性和强度的凝胶,其形成机理是大米淀粉被充分糊化后,经过老化回生形成稳定凝胶网络结构^[21]。魔芋精粉所含有的膳食纤维和蛋白质,破坏了淀粉原本连续的凝胶结构^[8]。其中,膳食纤维与淀粉形成的稳定凝胶网络结构,将淀粉颗粒有效地包裹在凝胶结构内部,使孔洞更加密集。同时,魔芋葡甘聚糖能促进蛋白质交联的巯基一二硫键交换反应,使魔芋米粉形成结构紧密的网络结构^[21]。综上,在一定范围内,米粉孔洞越密集,结构越紧密,持水力就越强。魔芋米粉扫描电镜中较多的孔洞现象与其具有较高持水力和较低蒸煮损失率的结果一致。

2.8 魔芋精粉添加对米粉热力学性质的影响

魔芋米粉热力学性质与白米粉有明显区别,表现在魔芋米粉的吸热能力显著低于白米粉(见图 4)。淀粉糊

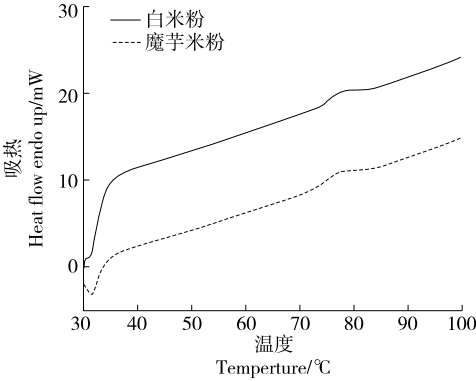


图 4 添加 5%魔芋精粉对米粉热性能的影响
Figure 4 Effects of 5% konjac flour on the thermal properties of rice noodles

化起始温度与淀粉颗粒无定形区域稳定性有关;而淀粉糊化终止温度与淀粉亚结晶区稳定性有关^[22]。由表 6 可得,5%魔芋米粉的起始温度,峰值温度和糊化焓均有所降低,说明魔芋米粉的淀粉无定形区域和亚结晶区域稳定性和淀粉糊化过程中破坏双螺旋结构所需的能量均有所降低。

表 6 添加 5%魔芋精粉对米粉热性能的影响[†]
Table 6 Effects of adding 5% konjac refined flour on thermal properties of rice noodle

样品	起始温度/°C	峰值温度/°C	终点温度/°C	糊化焓/(J·g ⁻¹)
白米粉	73.94±1.36	77.69±0.37 ^a	86.69±1.25	11.84±0.96
魔芋米粉	72.97±0.06	77.19±0.18 ^b	84.46±1.76	11.03±0.31

[†] 同列小写字母不同表示有显著性差异($P<0.05$)。

糊化焓值的降低表明样品双螺旋结构减少^[22]。如表 6 所示,魔芋米粉的 ΔH 更低,说明其双螺旋结构数量减少,分子有序程度降低。这可能与魔芋精粉中含有丰富的膳食纤维,蛋白质和灰分等与淀粉结合,破坏了淀粉有序结构而使其分子有序程度降低,从而引起魔芋米粉糊化焓降低^[23]。

2.9 魔芋精粉添加对米粉流变特性的影响

图 5(a)显示,白米粉的储能模量(G')较高,而魔芋米粉的较低,这与白米粉硬度更高的结果保持一致。图 5(b)显示,魔芋米粉的损耗模量(G'')显著高于白米粉的,表明魔芋米粉的糊化黏度更高,与糊化特性中峰值糊化黏度结果一致。图 5(c)显示,魔芋米粉的 $\tan\delta$ 显著高于白米粉的,表明魔芋米粉的黏性更大,可流动性更强。因此,添加魔芋精粉的米粉具有更强的黏性和可流动性。

2.10 魔芋精粉添加对米粉体外淀粉消化率及估计血糖生成指数的影响

由图 6 可知,相比于传统白米粉,魔芋米粉淀粉水解

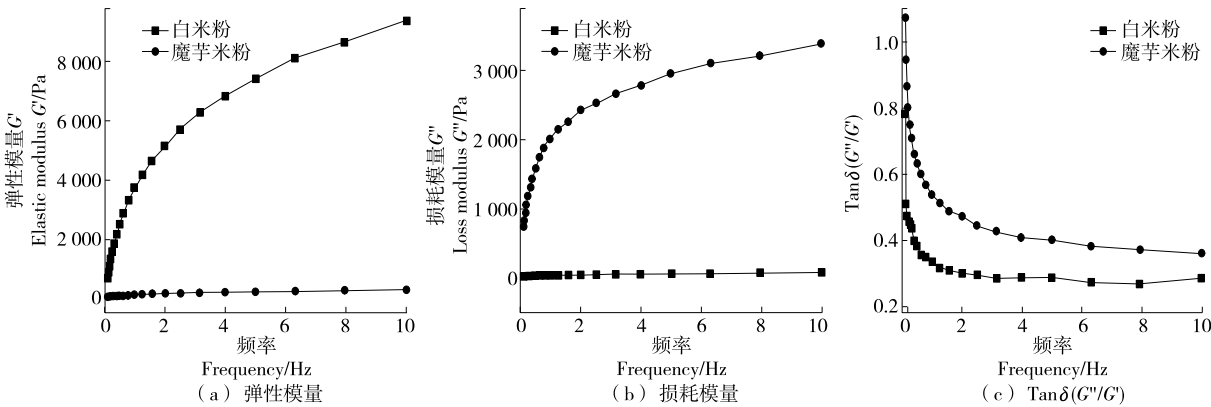


图 5 添加 5% 魔芋精粉对米粉流变特性的影响

Figure 5 Effects of adding 5% konjac refined flour on rheological properties of rice noodle

率曲线上升更缓慢,说明魔芋精粉在肠道消化中可以延缓淀粉的消化。相比于白面包与白米粉,魔芋米粉的最终水解率分别下降了 25% 与 12%。最终水解率的降低有利于米粉估计血糖生成指数的降低。由表 7 可知,魔芋米粉估计血糖生成指数值为 60.49,较白面包与白米粉分别降低了 23% 和 7%。

魔芋葡甘聚糖会使食物黏度增加,而魔芋葡甘聚糖与淀粉共混抑制淀粉消化酶的扩散,从而延缓了淀粉的水解^[3]。加热后,添加魔芋精粉的米粉形成了更稳定的三维网络结构,增加了空间位置阻力,从而在结构方面大大延缓了淀粉的消化^[24]。因此,魔芋米粉淀粉水解率显著降低,食用米粉后的估计血糖生成指数也降低至 60.49。

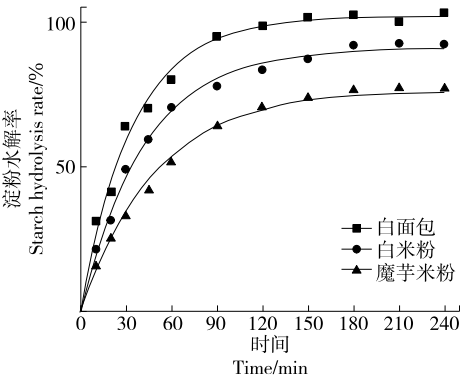


图 6 添加 5% 魔芋精粉对米粉体外消化率的影响

Figure 6 Effects of adding 5% konjac refined flour on in vitro digestibility of rice noodle

表 7 添加 5% 魔芋精粉对米粉的淀粉消化率和估计血糖生成指数的影响[†]

Table 7 Effects of adding 5% konjac refined flour on starch hydrolysis index and estimated glycemic index of rice noodle

样品	斜率	最终水解率/%	曲线下面积	淀粉水解指数/%	估计血糖生成指数
白面包	0.03±0.00 ^a	102.05±2.94 ^a	208.90±5.37 ^a	87.04±2.24 ^a	83.23±1.93 ^a
白米粉	0.03±0.00 ^a	88.69±0.55 ^b	182.70±0.70 ^b	76.13±0.29 ^b	73.82±0.25 ^b
魔芋米粉	0.02±0.00 ^b	77.23±0.64 ^c	145.58±1.09 ^c	60.66±0.46 ^c	60.49±0.39 ^c

[†] 同列小写字母不同表示有显著性差异 ($P < 0.05$)。

3 结论

魔芋精粉的加入可以显著降低米粉淀粉水解率和估计血糖生成指数,且 5% 比例的魔芋米粉整体品质最佳,与白米粉最接近。5% 魔芋米粉的估计血糖生成指数为 60.49,达到中等估计血糖生成指数食品的标准。因为魔芋精粉的添加代替了一部分大米粉,使总淀粉、直链淀粉和脂肪比例降低。另外,魔芋的主要功能成分——魔芋葡甘聚糖,与淀粉混合后会增加多糖—淀粉体系黏度,抑制淀粉消化酶的扩散,从而延缓淀粉的水解。在高温蒸煮过程中,添加魔芋精粉的米粉形成了更稳定的三维网

络结构,增加了空间位置阻力,从而在结构方面大大延缓了淀粉的消化。因此,添加 5% 魔芋精粉制备的魔芋米粉血糖生成指数显著降低且其食用品质可以与传统白米粉相媲美。此外,魔芋精粉富含功能性多糖、蛋白质、硒、钾等,因此魔芋米粉具有更高营养价值。

魔芋精粉富含的魔芋葡甘聚糖等功能成分可在小肠内分解产生短链脂肪酸,改善肠道菌群^{[4]59-60},从而产生不同健康影响。未来可以进一步研究魔芋米粉的体内醇解特性及其对肠道菌群的影响,为魔芋健康产品应用于干预代谢性疾病发生等方面提供科学依据。

参考文献

- [1] KANG M J, BAE I Y, LEE H G. Rice noodle enriched with okara: Cooking property, texture, and in vitro starch digestibility[J]. Food Bioscience, 2018, 22: 178-183.
- [2] HUANG S, CHI C, LI X X. Understanding the structure, digestibility, texture and flavor attributes of rice noodles complexation with xanthan and dodecyl gallate [J]. Food Hydrocolloids, 2022, 127: 107538.
- [3] ZHENG J, HUANG S, ZHAO R. Effect of four viscous soluble dietary fibers on the physicochemical, structural properties, and in vitro digestibility of rice starch: A comparison study [J]. Food Chemistry, 2021, 362: 130181.
- [4] 张子琪. 魔芋精粉对高脂高果糖膳食诱导的小鼠糖脂代谢紊乱及肠道菌群的影响[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2022.
- ZHANG Z Q. Effect of refined konjac flour on glucose and lipid metabolism disorder and intestinal flora in mice induced by high-fat and high-fructose diet[D]. Xianyang: Northwest Agricultural and Forestry University of Science and Technology, 2022.
- [5] GUO L, YOKOYAMA W, CHEN M S. Konjac glucomannan molecular and rheological properties that delay gastric emptying and improve the regulation of appetite[J]. Food Hydrocolloids, 2021, 120: 106894.
- [6] 万佐玺, 易咏梅, 杨兰芳. 土壤施硒对魔芋含硒量与吸硒特性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2005(4): 359-363.
- WAN Z X, YI Y M, YANG L F. Effect of selenium application in soil on selenium content and absorption characteristics of konjac[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2005(4): 359-363.
- [7] 雷雯, 钟耕, 张东霞. 掺入外源淀粉的魔芋豆腐体外消化和发酵性能研究[J]. 食品与机械, 2020, 36(1): 24-29, 49.
- LEI W, ZHONG G, ZHANG D X. Study on in vitro digestion and fermentation performance of konjac bean curd mixed with exogenous starch[J]. Food & Machinery, 2020, 36(1): 24-29, 49.
- [8] 李嘉欣, 吴彤娇, 韩雪. 魔芋精粉—氢氧化钙对小米面条品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(12): 1-7.
- LI J X, WU T J, HAN X. Effect of konjac flour-calcium hydroxide on the quality of millet noodles[J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2020, 35(12): 1-7.
- [9] 戴昊昕. 大米粉复配魔芋粉皮加工工艺及其品质研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020.
- DAI H X. Study on the processing technology and quality of rice flour mixed with konjac flour peel [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020.
- [10] 佟立涛, 耿栋辉, 周闲容. 热风处理对大米半干法磨粉效率的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 110-115.
- TONG L T, GENG D H, ZHOU X R. Effect of hot-air treatment on rice semi-dry milling efficiency[J]. Food Science, 2019, 40(5): 110-115.
- [11] PALABIYIK I, YILDIZ O, TOKER O S. Investigating the addition of enzymes in gluten-free noodles: The effect on pasting and textural properties[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 69: 633-641.
- [12] TONG L T, GAO X X, LIN L Z. 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.
- [13] JANG H L, BAE I Y, LEE H G. In vitro starch digestibility of noodles with various cereal noodles and hydrocolloids[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 122128.
- [14] LIU T N, WANG K, WEI X, et al. In vitro starch digestibility, edible quality and microstructure of instant rice noodles enriched with rice bran insoluble dietary fiber[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 142: 111008.
- [15] 高晓旭, 佟立涛, 钟葵. 鲜米粉品质评价指标的研究[J]. 核农学报, 2014, 28(9): 1 656-1 663.
- GAO X X, TONG L T, ZHONG K. Study on the quality evaluation index of fresh rice flour[J]. Journal of Nuclear Agriculture, 2014, 28(9): 1 656-1 663.
- [16] GENG D H, ZHOU S M, WANG L L. Effects of slight milling combined with cellulase enzymatic treatment on the textural and nutritional properties of brown rice noodles[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 128: 109520.
- [17] WEI Z, SISSONS M, GIDLEY M J. Combined techniques for characterising pasta structure reveals how the gluten network slows enzymic digestion rate [J]. Food Chemistry, 2015, 188: 559-568.
- [18] GONI I, GARCIA-ALONSO A, SAURA-CALIXTO F. A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index [J]. Nutrition Research, 1997, 17(3): 427-437.
- [19] RAUNGRUSMEE S, SHRESTHA S, SADIQ M B. Influence of resistant starch, xanthan gum, inulin and defatted rice bran on the physicochemical, functional and sensory properties of low glycemic gluten-free noodles [J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 126: 109279.
- [20] ZHOU Z, YE F, LEI L. Fabricating low glycemic index foods: Enlightened by the impacts of soluble dietary fiber on starch digestibility[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 122: 110-122.
- [21] SINGH S, SINGH G, ARYA S K. Mannans: An overview of properties and application in food products [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 119: 79-95.
- [22] DAVID C, MICHAEL J G. Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinisation: Origin of the enthalpic transition[J]. Carbohydrate Research, 1992, 227: 103-112.
- [23] WANG Y, CHEN Y, ZHOU Y. Effects of konjac glucomannan on heat-induced changes of wheat gluten structure[J]. Food Chemistry, 2017, 229: 409-416.
- [24] FU T T, NIU L Y, LI Y, et al. Effects of tea products on in vitro starch digestibility and eating quality of cooked rice using domestic cooking method[J]. Food & Function, 2020, 11(11): 9 881-9 891.