

纤维对冰湖野米粉理化和消化特性的影响

陈旭^{1,2}, 罗健伟², 付玲玲¹, 张书艳^{1,2}, 邹水洋^{1,2}, 朱杰^{1,2*}, 李琳^{1,2*}

(1 东莞理工学院化学工程与能源技术学院, 东莞 523808; 2 东莞理工学院科技创新研究院, 东莞 523808)

摘要: **目的** 探究冰湖野米中内源纤维对冰湖野米粉的理化、功能和消化特性的影响。**方法** 以 3 种不同等级的冰湖野米(长粒、中粒和短粒)和早籼米(对照)为原料, 将其研磨后过 100 目筛制备原米粉, 再采用焦亚硫酸钠法去除纤维制备去纤维米粉。利用扫描电镜和光学显微镜观察内源纤维对冰湖野米粉颗粒形貌的影响; 采用 Brabender 粘度仪测定内源纤维对冰湖野米粉的粘度特性的影响; 利用 X 射线衍射分析内源纤维对冰湖野米粉结晶特性的影响; 采用 Englyst 体外消化法评价内源纤维对冰湖野米粉消化性的影响。**结果** 不同颗粒长度的冰湖野米粉的形貌特征、结晶结构和粘度特性均无太大差异, 中粒冰湖野米粉慢消化淀粉含量最高, 短粒冰湖野米粉抗性淀粉含量最高。与早籼米相比, 冰湖野米粉起糊温度升高, 峰值粘度降低, 膨胀度降低, 快消化淀粉含量降低, 抗性淀粉含量升高。与原冰湖野米粉相比, 去除纤维后, 样品结晶度升高, 起糊温度降低, 峰值粘度升高, 膨胀度升高, 快消化淀粉含量升高, 抗性淀粉含量降低。**结论** 冰湖野米粉中内源纤维对冰湖野米粉粘度特性、结晶结构及消化性有显著的影响, 内源纤维的物理包埋以及与淀粉之间的相互作用, 会共同抑制淀粉颗粒的膨胀和糊化, 降低淀粉的消化酶解速率。

关键词: 冰湖野米; 纤维; 理化特性; 消化特性

Effects of fiber on physical and chemical properties and digestion characteristics of wild rice flour

CHEN Xu^{1,2}, LUO Jian-Wei², FU Ling-Ling¹, ZHANG Shu-Yan^{1,2}, ZOU Shui-Yang^{1,2}, ZHU Jie^{1,2*}, LI Lin^{1,2*}

(1. School of Chemical Engineering and Energy Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China; 2. Institute of Science & Technology Innovation, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of endogenous fibers in wild rice on the physicochemical, functional and digestive properties of wild rice flour. **Methods** Three different grades of glacial lake rice (long, medium and short) and early glutinous rice (control) were used as raw materials. The rice flour was prepared by grinding it through a 100 mesh sieve, and the fiber was removed by using sodium metabisulfite method to prepare defibrated rice flour. The effect of endogenous fiber on the particle morphology of glacial lake rice noodles was observed by scanning electron

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFD0400205)、东莞理工学院高层次人才(创新团队)科研启动项目(KCYCXPT2017007)、高等教育“创新强校工程”青年创新人才项目(2017KQNCX192)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2016YFD0400205), Institute of Science and Technology Innovation of DGUT (KCYCXPT2017007) and Foundation for Young Talents in Higher Education of Guangdong, China (2017KQNCX192)

***通讯作者:** 朱杰, 副教授, 主要研究方向为食品碳水化合物结构修饰与品质控制。E-mail: zhujie@dgut.edu.cn

李琳, 教授, 主要研究方向为食品加工基础、碳水化合物修饰及多糖生物安全。E-mail: lilin@dgut.edu.cn

***Corresponding author:** ZHU Jie, Associate Professor, School of Chemical Engineering and Energy Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China. E-mail: zhujie@dgut.edu.cn

LI Lin, Professor, School of Chemical Engineering and Energy Technology, Dongguan University of Technology, Dongguan 523808, China. E-mail: lilin@dgut.edu.cn

microscopy and optical microscopy. The effect of endogenous fiber on the viscosity characteristics of glacial lake rice flour was determined by Brabender viscometer. The endogenous fiber was analyzed by X-ray diffraction. The effect of endogenous fiber on the digestibility of glacial wild rice flour was evaluated by Englyst *in vitro* digestion.

Results There was no significant difference in morphology, crystalline structure and pasting properties of wild rice flour with different grain lengths. The highest contents of slowly digestible starch and resistant starch were in medium grain and short grain wild rice flour, respectively. Compared with defibrated rice flour, wild rice flour displayed higher pasting temperature and resistant starch contents, and lower peak viscosity, swelling power and rapidly digestible starch contents. In comparison with wild rice flour, the defibrated wild rice flour showed higher crystalline degree, peak viscosity, swelling power and rapidly digestible starch contents, and lower pasting temperature and resistant starch contents. **Conclusion** The endogenous fiber in wild rice flour shows remarkable influence on the pasting property, crystal structure and digestibility of wild rice flour. The physical embedding of endogenous fibers and the interaction with starch will inhibit the expansion and gelatinization of starch granules and reduce the digestive rate of starch. These results can be due to physical embedding of the endogenous fiber and the interaction between the starch and fiber, which can inhibit starch swollen and gelatinization, and hence decrease enzyme hydrolysis rate of wild rice flour.

KEY WORDS: wild rice; fiber; physicochemical properties; digestibility

1 引言

最近几十年中,全球糖尿病患者数增长速度惊人,特别是II型糖尿病已经成为严重影响人类身心健康的三大慢性病之一。我国糖尿病防控形势相当严峻,2017年我国成人糖尿病患者总数约为1.144亿,已位居世界糖尿病患者数量榜首^[1]。全谷物食品(whole grain food, WGF)由于其能完整的保留膳食纤维、维生素和矿物质,日益受到学术界的关注。全谷物食品在慢性疾病预防中发挥着重要作用,摄入足够的全谷物能够使人体对胰岛素的敏感性明显增强,并实现对体重的有效控制^[2]。因此对全谷物食品与糖尿病之间的关系展开探究有着重要意义^[2,3]。

冰湖野米(wild rice, WR)作为全谷物食品,有很高的营养价值,其富含膳食纤维。膳食纤维具有不易破坏、不易消化、能量较低、营养保留更好等特点,可以持续给人体提供能量,降低饥饿感,减少食物的摄入量^[4]。此外,纤维会与淀粉发生相互作用,改变淀粉的营养特性和生理功能^[5]。研究冰湖野米中内源纤维对冰湖野米粉功能特性和消化特性的影响,对其有效的推广和开发有重要的理论意义。

本研究以早籼米作为对照,探究冰湖野米粉的功能和营养特性,深入研究冰湖野米中内源纤维对冰湖野米粉理化、功能和消化特性的影响机制,以期对日后冰湖野米在我国推广普及和对糖尿病患者控制血糖以及控制日常碳水化合物摄入量提供理论性指导。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

MR Hei-Tec 磁力搅拌器(德国 Heidolph 公司); DD-6

低速大容量离心机(湘麓离心机仪器有限公司); DHG-9030A 鼓风式干燥箱(上海齐欣科学仪器有限公司); 752N 紫外分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司); Ultima-IVX 射线衍射仪(日本 Rigaku 公司); 傅立叶变换红外光谱仪(美国 Nicolet 公司); DSC8000 差示扫描量热仪(美国 Perkin-Elmer 公司); Viscograph-E 布拉班德粘度仪(德国 Brabender 公司); JSM-6701F 扫描电子显微镜(德国 Zeiss 公司); DVM6 光学显微镜(德国 Leica Microsystems 公司)。

冰湖野米(加拿大苏必利尔):长粒、中粒和短粒的直链淀粉含量分别为 27.82%、31.17%和 29.58%;早籼米(安徽省白湖农场集团有限责任公司):直链淀粉含量为 16.49%。

猪胰酶(酶活 8×USP)和淀粉葡萄糖苷酶(酶活≥260 U/mL)(美国 Sigma-Aldrich 公司);总淀粉含量测定试剂盒和葡萄糖氧化酶-过氧化物酶检测试剂盒(D-Glucose assay kit, GOPOD)(爱尔兰 Megazyme 公司);焦亚硫酸钠(分析纯,美国 Sigma-Aldrich 公司);氯化钠、甲苯、乙醇(分析纯,天津市大茂化学试剂厂)。

2.2 实验方法

2.2.1 冰湖野米粉及其去纤维米粉的制备

1) 冰湖野米粉

取 3 种不同颗粒长度的冰湖野米和早籼米各 100 g,经粉碎机磨粉,过 100 目筛,得到冰湖野米粉和早籼米粉。去纤维前的样品分别标记为长粒、中粒和短粒冰湖野米粉(LWRF-B、MWRF-B 和 SWRF-B)和早籼米粉(IRF-B)。

2) 去纤维冰湖野米粉

冰湖野米和早籼米颗粒分别在室温下浸泡于 300 mL 焦亚硫酸钠溶液(0.225%)中 12 h。倒出溶液,将浸泡后的

样品在粉碎机中研磨 1 min。初步粉碎后的冰湖野米粉和早籼米粉继续经焦亚硫酸钠溶液浸泡过夜后在粉碎机中研磨 3 min, 悬浮液用尼龙网过滤(53 μm), 用焦亚硫酸钠溶液洗涤。滤饼部分在粉碎机中研磨 2 min, 用焦亚硫酸钠溶液洗涤, 并用尼龙网过滤, 重复过滤 5~6 次, 直到滤饼部分变成细粉或看不见块状物, 然后将收集到的颗粒干燥, 研磨, 过 100 目筛, 得到去纤维的冰湖野米粉和早籼米粉。去纤维后的样品分别标记为: 长粒、中粒和短粒去纤维冰湖野米粉(LWRF-A、MWRF-A 和 SWRF-A)和早籼米粉(IRF-A)。

2.2.2 冰湖野米粉及其去纤维米粉的颗粒形貌

1) 采用光学显微镜对颗粒进行观察: 将 4 种米粉和 4 种去纤维米粉样品分别置于 Leica DVM6 M 3D 数码超景深智能显微镜载物台, 拍摄淀粉颗粒, 得到颗粒的形态结构。

2) 采用扫描电子显微镜对颗粒进行观察: 用导电双面胶将干燥的样品颗粒固定在样品台上, 置于真空条件下喷金, 拍摄淀粉颗粒^[6]。

2.2.3 冰湖野米粉及其去纤维米粉的结晶特性

将样品在 100%相对湿度下平衡 24 h 后, 采用 Rigaku 公司 UltimaIV 型 X-射线衍射分析仪, 衍射条件为铜靶, 电压 44 kV, 电流 27 mA, $\text{CuK}\alpha$ 辐射。测量角度 2θ 为 $4^\circ\sim 35^\circ$, 步长 0.05° , 扫描速度 $5^\circ/\text{min}$ 。通过 Jade 软件对结晶区域和总面积区间分别进行积分计算^[7]。所得的比值即为相对结晶度(relative crystallinity, RC):

$$RC(\%) = \frac{Ac}{Ac + Aa} \times 100$$

式中: Ac ——结晶区部分面积,

Aa ——非晶区部分面积。

2.2.4 冰湖野米粉及其去纤维米粉的膨胀度测定

称取一定质量的 4 种米粉和 4 种去纤维米粉样品, 各加入蒸馏水配成 2%的淀粉乳 30 mL, 在一定温度(60、70、80、90 $^\circ\text{C}$)水浴中搅拌溶解 30 min。然后在 3000 r/min 下离心 10 min, 弃去上层清液, 准确称取离心管质量和沉淀物总质量, 计算膨胀度^[8]。

$$\text{膨胀度}(\%) = \frac{\text{膨胀淀粉质量}}{\text{淀粉干基质量}} \times 100$$

2.2.5 冰湖野米粉及其去纤维米粉的粘度特性

采用布拉班德微型糊化粘度仪测定粘度特性, 配制 10%($m:m$)的淀粉乳 460 mL, 将其混匀后移入 Brabender 粘度仪测量杯中, 起始温度为 30 $^\circ\text{C}$, 以 $1.5^\circ/\text{min}$ 的速率升温到 95 $^\circ\text{C}$ 后保温 30 min, 再以 $1.5^\circ/\text{min}$ 的速率降温到 50 $^\circ\text{C}$ 后保温 30 min, 得到 Brabender 粘度曲线和特征值^[9]。

2.2.6 冰湖野米粉及其去纤维米粉的体外消化性测定

根据 Englyst 的体外模拟方法进行测定样品的体外消化性, 并有所改进^[10]。准确称量 4 种米粉和 4 种去纤维米粉样品(总淀粉含量 ≤ 600 mg)于 50 mL 离心管中, 加入 20 mL 乙酸钠缓冲液(pH 5.2, 0.1 mol/L)和磁子, 涡旋混匀后, 沸水浴蒸煮 30 min, 在水浴过程中要不断的振荡混匀; 然后

冷却置于 37 $^\circ\text{C}$ 水浴中 30 min, 分别加入含猪胰酶和淀粉葡萄糖苷酶的混合酶 5 mL, 充分振荡涡旋, 隔 20 min 和 120 min 分别取出 0.25 mL 酶解液置于 10 mL 66%的乙醇中灭酶, 然后涡旋混匀。酶解液在 4000 r/min 条件下离心 5 min, 采用 GOPOD 法测定葡萄糖含量^[11]。计算公式如下:

$$\text{葡萄糖含量}\% = \frac{A_t \times V_t \times C \times D}{A_s \times W_t} \times 100$$

A_t —测试溶液的吸光值;

V_t —测试溶液的总容积;

C —标准葡萄糖的浓度, mg/mL;

A_s —标准葡萄糖的吸光值;

W_t —样品的重量;

D —稀释倍数 40。

其中, 快消化淀粉(rapidly digestible starch, RDS)、慢消化淀粉(slowly digestible starch, SDS)、抗性淀粉(resistant starch, RS)的计算如下列公式所示。

$$RDS(\%) = G_{20} \times 0.9 / TS;$$

$$SDS(\%) = (G_{120} - G_{20}) \times 0.9 / TS;$$

$$RS(\%) = [TS - (RDS + SDS)] / TS;$$

TS —样品总淀粉含量, mg。

2.2.7 数据分析

各组实验数据均至少重复 3 次测定, 使用 SPSS 18.0 软件, 采用 Duncan 检验($P < 0.05$)对数据进行统计分析; 使用 Origin 9 进行作图。

3 结果与分析

3.1 颗粒形貌分析

原米粉和去纤维米粉的扫描电镜和光学显微镜图如图 1 和图 2 所示。从图 1 中可以看出, 原米粉颗粒被纤维所包裹, 呈现类似“微胶囊”的形态^[12]。不同颗粒长度的冰湖野米粉微观形貌特征并无太大差异。去除纤维冰湖野米粉颗粒粒径减小(图 1)。

从图 2 中可以看出, 冰湖野米粉在显微镜下呈现淡黄色或者铁红色, 这是由于内源纤维的包裹所致, 而早籼米粉呈现出晶莹剔透的形貌特征。与原米粉相对比, 去纤维米粉淡黄色或者铁红色大部分消失, 变得晶莹剔透(图 2)。

3.2 X 射线衍射图谱分析

图 3 为原米粉和去纤维的米粉的 X-射线衍射图谱。从图 3 中可以看出, 所有样品的 15° 、 17° 、 18° 和 23.5° 处都有强衍射峰, 属于典型的 A 型晶体结构^[10]。此外, 去纤维米粉比原米粉均表现出较高的结晶度, 归因于去除纤维后样品中总淀粉的含量升高, 导致结晶度呈现增加的趋势。影响淀粉结晶度大小的因素除了直链淀粉的含量之外, 还有淀粉的支链淀粉链长分布、淀粉的含水量、植物生长条件等因素。整体来看, 与早籼米粉相比, 冰湖野米粉的结晶度较低。

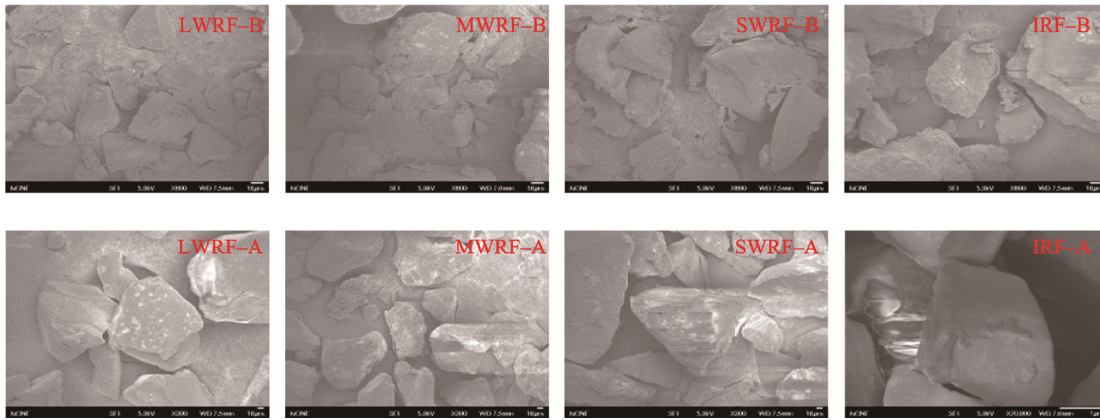


图 1 原米粉和去纤维米粉的扫描电子显微镜图
Fig.1 Scanning electron microscopy of native rice flour and fiber-free rice flour

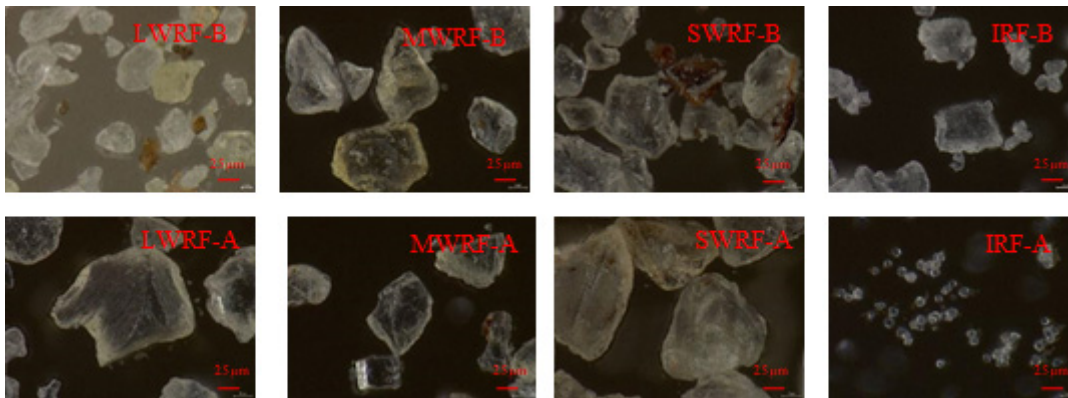
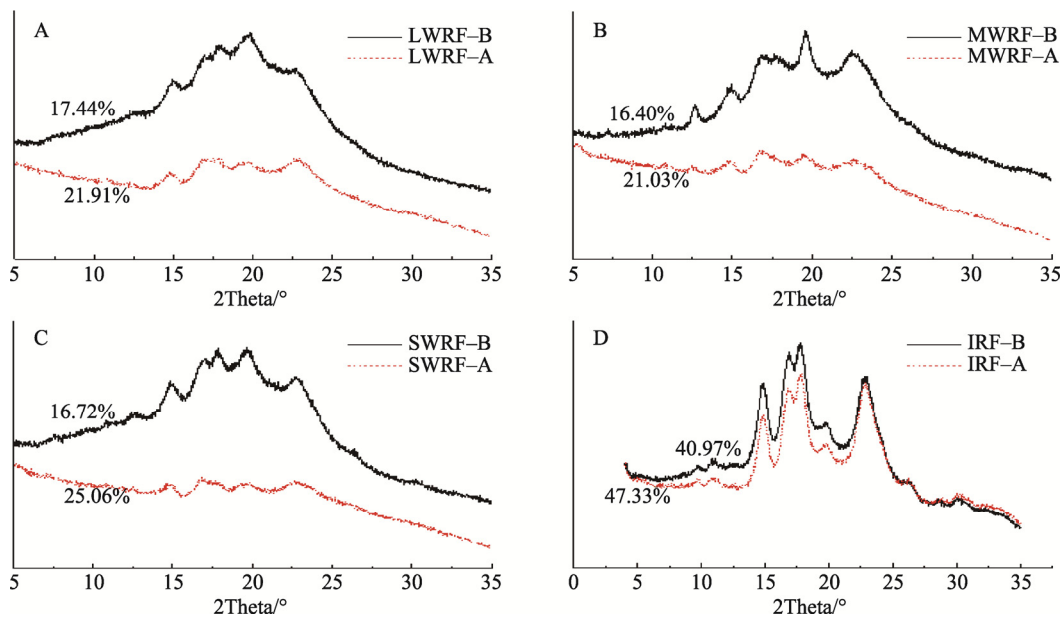


图 2 原米粉和去纤维米粉的光学显微镜图
Fig.2 Light microscopy of native rice flour and fiber-free rice flour



注: A: 长粒冰湖野米; B: 中粒冰湖野米; C: 短粒冰湖野米; D: 早籼米。

图 3 原米粉和去纤维米粉的米粉的 X-射线衍射图谱

Fig.3 X-ray diffraction of native rice flour and fiber-free rice flour

3.3 粘度特性分析

原米粉和去纤维米粉的粘度曲线和粘度特征值如图 4 和表 1 所示。从图中可以看出, 与原米粉样品相比, 去纤维后的米粉糊化温度降低, 峰值粘度升高。这种现象归因于冰湖野米粉中内源纤维会抑制淀粉颗粒的膨胀, 从而降低体系的粘度。去纤维后的冰湖野米粉的粘度增大, 说明冰湖野米的纤维对其淀粉糊化有抑制作用。此外, 与早籼米粉和去纤维早籼米粉相比, 原冰湖野米粉及其去纤维样品糊化温度升高, 峰值粘度降低, 可能归因于以下 2 个方面: (1) 冰湖野米粉中内源蛋白质和纤维含量高于早籼米, 对淀粉颗粒膨胀的抑制作用要强于早籼米^[9]; (2) 淀粉的粘度与直链淀粉含量有关, 直链淀粉含量越高, 粘度会越低, 冰湖野米的直链淀粉含量比早籼米的直链淀粉含量高^[13]。

3.4 膨胀度分析

图 5 表示原米粉和去纤维米粉膨胀度结果。从图 5 中可以看出, 与早籼米粉相比, 冰湖野米粉的膨胀度显著降低。去纤维的米粉样品均比原米粉样品的膨胀度高, 说明纤维对冰湖野米和早籼米的膨胀度抑制作用较强^[14]。

3.5 体外消化性分析

原米粉和去纤维米粉中 RDS、SDS 及 RS 含量如表 2 示。早籼米粉中的 RDS 含量比 3 种冰湖野米都要高, 3 种野米中 MWRF-B 的 RDS 含量最低, LWRF-B 和 SWRF-B 相差不大; 早籼米粉的 SDS 含量最高, 3 种野米中, MWRF-B 的 SDS 含量最高; 3 种野米粉的 RS 含量都远高于早籼米粉, 其中 SWRF-B 的 RS 含量略高于其他两种冰湖野米粉。较早籼米, 3 种冰湖野米均具有较低的淀粉消化速率, 食用有利于预防糖尿病以及各种心脑血管病的发生^[15]。

表 1 原米粉和去纤维米粉的粘度特征值
Table 1 Pasting characteristics of native rice flour and fiber-free rice flour

样品	起糊温度/°C	峰值粘度/BU	热糊粘度/BU	冷糊粘度/BU	崩解值/BU	回生值/BU
LWRF-B	-	7	7	12	0	5
MWRF-B	-	6	6	8	0	2
SWRF-B	-	4	4	6	0	2
IRF-B	78.6	116	82	139	34	57
LWRF-A	88.5	44	38	52	6	14
MWRF-A	86.5	31	30	38	1	8
SWRF-A	90.7	41	40	48	1	8
IRF-A	74.6	102	66	101	36	35

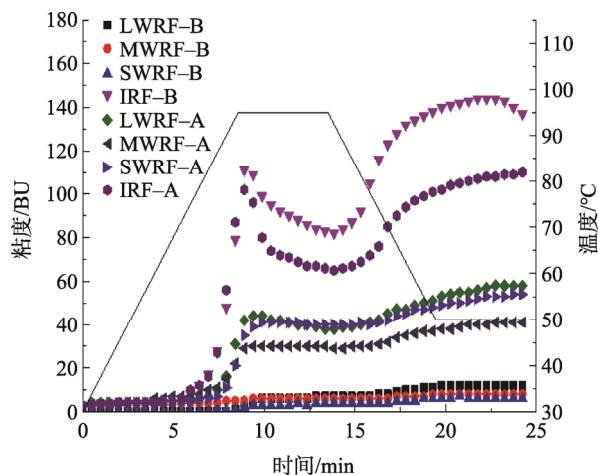


图 4 原米粉和去纤维米粉的粘度曲线图
Fig.4 Pasting profiles of native rice flour and fiber-free rice flour

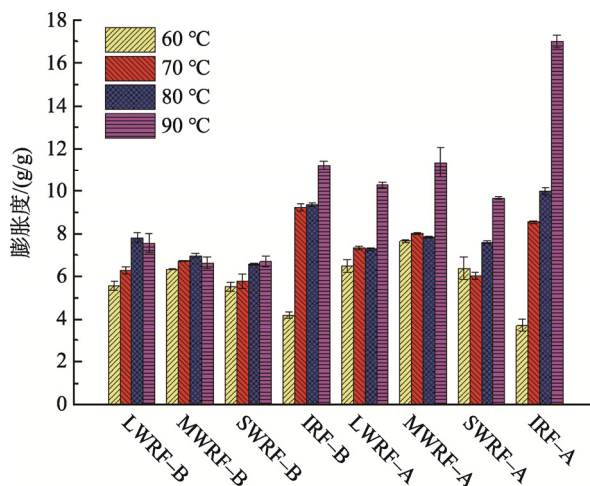


图 5 原米粉和去纤维米粉在不同温度下的膨胀度(n=3)
Fig.5 Swelling power of native rice flour and fiber-free rice flour (n=3)

表2 原米粉和去纤维米粉的体外消化性(n=3)

Table 2 *In vitro* digestibility of native rice flour and fiber-free rice flour (n=3)

样品	快消化淀粉/%	慢消化淀粉/%	抗性淀粉/%
LWRF-B	70.90±0.50 ^d	8.28±0.10 ^d	20.82±0.65 ^{ab}
MWRF-B	63.80±0.41 ^c	15.85±0.41 ^a	20.35±0.45 ^b
SWRF-B	68.30±0.70 ^d	9.23±0.69 ^{cd}	22.47±0.19 ^a
IRF-B	78.24±0.74 ^b	17.19±0.29 ^a	4.57±1.25 ^d
LWRF-A	75.14±1.25 ^c	12.57±1.14 ^b	12.29±1.41 ^c
MWRF-A	76.89±1.69 ^{bc}	10.84±2.57 ^b	12.27±0.69 ^c
SWRF-A	77.82±0.29 ^{bc}	10.27±0.61 ^c	11.91±0.47 ^c
IRF-A	89.71±1.57 ^a	8.94±0.71 ^{cd}	1.35±0.12 ^c

去纤维之后,早籼米和3种冰湖野米的RDS含量显著上升,RS含量显著下降。表明无论是早籼米还是冰湖野米,全谷物粉要比精致后的粉中淀粉的消化速率更低,能满足人体的营养和健康需求。内源纤维对淀粉消化性的影响可能有2方面的原因:一方面,部分纤维聚集在淀粉的表面,产生了物理性的包埋作用,阻碍了淀粉酶对淀粉的酶解作用,直接影响淀粉的消化性;另一方面,纤维与淀粉之间存在的氢键等作用力,两者形成复合结构,使其理化性质发生了改变(如黏度、膨胀度等),间接影响了淀粉的消化性。

4 结论

本实验深入研究冰湖野米中内源纤维对冰湖野米粉理化、功能和消化特性的影响机制。以早籼米作为对照,探究冰湖野米粉的功能和营养特性。研究表明,不同颗粒长度的冰湖野米粉的形貌特征、结晶结构和粘度特性均无太大差异,中粒冰湖野米粉慢消化淀粉含量最高,短粒冰湖野米粉抗性淀粉含量最高。与早籼米相比,冰湖野米粉起糊温度升高,峰值粘度降低,膨胀度降低,快消化淀粉含量降低,抗性淀粉含量升高。与原冰湖野米粉相比,去除纤维后,样品结晶度升高,起糊温度降低,峰值粘度升高,膨胀度升高,快消化淀粉含量升高,抗性淀粉含量降低。总之,冰湖野米粉中内源纤维对冰湖野米粉粘度特性,结晶结构及消化性有显著的影响,内源纤维的物理包埋以及与淀粉之间的相互作用,会共同抑制淀粉颗粒的膨胀和糊化,降低淀粉的消化酶速率。研究结果将为开发具有含慢消化或抗性淀粉的低GI的食物提供理论指导。

参考文献

- [1] Wang L, Gao P, Zhang M, *et al.* Prevalence and ethnic pattern of diabetes and prediabetes in China in 2013 [J]. *Jama*, 2017, 317(24): 2515.
- [2] 赵琳, 李宗军, 吴硕, 等. 全谷物对II型糖尿病干预机理的研究进展[J].

粮油食品科技, 2014, 22(4): 34-37.

- [3] Zhao L, Li ZJ, Wu S, *et al.* Research progress in interfering mechanism of whole cereal food on type II diabetes [J]. *Sci Technol Cereal Oil Food*, 2014, 22(4): 34-37.
- [4] 袁蒲, 孙经, 杨丽, 等. 全谷物食品对糖尿病的干预控制研究进展[J]. *糖尿病新世界*, 2017, 20(14): 199-200.
- [5] Yuan P, Sun J, Yang L, *et al.* Research progress of intervention control of whole cereal food on diabetes [J]. *Diabet New World*, 2017, 20(14): 199-200.
- [6] Tikapunya T, Zou W, Yu W, *et al.* Molecular structures and properties of starches of Australian wild rice [J]. *Carbohydr Polym*, 2017, (172): 213.
- [7] 罗凯云. 膳食纤维-淀粉拟谷粒结构体的构建及其对肥胖抑制和血糖平衡作用机制的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
- [8] Luo KY. Anti-obesity and glucose homeostasis regulation by dietary fiber and starch in a whole-grain like structural form [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [9] 常丰丹. 颗粒态淀粉脂质复合物的制备、理化性质及其形成机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
- [10] Chang FD. Preparation, properties, and mechanism of granular starch-lipid complex [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [11] Xu C, He X, Zhang B, *et al.* Structure, physicochemical and *in vitro* digestion properties of ternary blends containing swollen maize starch, maize oil and zein protein [J]. *Food Hydrocolloid*, 2017, (76): S0268005X 17306987.
- [12] 陈旭. 蛋白和脂质对淀粉消化特性的影响机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [13] Chen X. Mechanism for the digestion properties of starch influenced by lipid and protein [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [14] Xu C, He X, Xiong F, *et al.* *In vitro* digestion and physicochemical properties of wheat starch/flour modified by heat-moisture treatment [J]. *J Cereal Sci*, 2015, (63): 109-115.
- [15] Jane JL, Chen YY, Lee LF, *et al.* Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch [J]. *Cere Chem*, 1999, 76(5): 629-637.
- [16] Chen X, He XW, Zhang B, *et al.* Effects of adding corn oil and soy protein to corn starch on the physicochemical and digestive properties of the starch [J]. *Int J Biol Macromol*, 2017, 104(A): 481-486.
- [17] Chen X, He X, Fu X, *et al.* Complexation of rice starch/flour and maize oil through heat moisture treatment: Structural, *in vitro* digestion and physicochemical properties [J]. *Int J Biol Macromol*, 2017, (98): 557-564.
- [18] 李航. 不同直链淀粉含量玉米淀粉的羟丙基氧化改性及其理化性质的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [19] Li H. Physicochemical properties of hydropropyl oxidized cornstarches varying in amylose content [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.
- [20] 许维娜. 豆渣及膳食纤维对马铃薯淀粉特性影响的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [21] Xu WN. Study on the effect of okara and dietary fiber on the properties of potato starch [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [22] 毕玉. 成熟度对香蕉粉理化性质及其淀粉消化性和精细结构的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
- [23] Bi Y. Effect of ripening on physicochemical properties, starch digestibility

and starch fine structure of banana flour [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



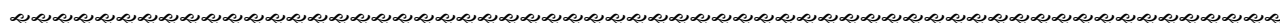
陈 旭, 博士, 讲师, 主要研究方向为功能碳水化合物和食品组分互作。
E-mail: chenxu@dgut.edu.cn



朱 杰, 副教授, 主要研究方向为食品碳水化合物结构修饰与品质控制。
E-mail: zhujie@dgut.edu.cn



李 琳, 教授, 主要研究方向为食品加工基础、碳水化合物修饰及多糖生物安全。
E-mail: lilin@dgut.edu.cn



“功能性食品微生物”专题征稿函

随着经济的发展和人们生活水平的不断提高, 人们对食品的要求已从单纯的温饱转向了“功能、营养和健康”的新要求; 膳食结构和组成是影响健康和疾病发生的重要因素, 在人们多年以来追求中医、西医或中西医结合预防和治疗疾病模式外, 渐渐转“医补”为“食疗”, 期望利用食品的功能性达到促进健康和干预疾病的目的。因此, 以功能性食品微生物为核心的功能性食品如益生菌、乳酸菌、微生物源 PUFA、红曲等已逐渐深入人心, 这也推动了功能性食品微生物资源开发与应用的发展。在 21 世纪生物技术大发展的时代背景下, 利用食品微生物的特定功能性质, 开发系列健康的功能食品成为重要的发展趋势。目前, 以功能性微生物为核心的技术与产品已广泛用于食品、保健品、医药和饲料行业, 应用前景十分广阔。

功能性食品微生物是一类通过菌体细胞或代谢产物能够赋予食品具有特定功能性质、或者显著改进和优化食品制造工艺的微生物。鉴于此, 本刊特别策划了“功能性食品微生物”专题, 由江南大学食品学院的 **田丰伟 教授** 担任专题主编, 围绕 **(1) 功能性食品微生物的资源发掘、高效筛选、分离鉴定, (2) 功能性食品微生物的生物性质、功能机理与作用机制, (3) 基于功能性食品微生物的食品生物加工与制造的基础和应用研究, (4) 功能性食品微生物的评价与优化方面** 或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在 2020 年 **1 月份出版**。

鉴于您在该领域的成就, 本刊主编 **吴永宁 研究员** 及专题主编 **田丰伟 教授** 特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 **2019 年 12 月 1 日** 前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

感谢您的参与与支持!

投稿方式: (请注明功能性食品微生物专题)

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部