

麦麸及麦麸膳食纤维常规粉碎和超微粉碎物化特性比较

施建斌, 隋勇, 蔡沙, 何建军, 熊添, 范传会, 陈学玲, 王少华, 蔡芳, 梅新

(湖北省农业科学院农产品加工与核农技术研究所, 湖北武汉 430064)

摘要: 为明确普通粉碎和超微粉碎对麦麸和麦麸膳食纤维物化特性影响, 对处理后的麦麸和麦麸膳食纤维持水性、持油性、吸水膨胀性、黏度、阳离子交换能力及对油脂、胆固醇、胆酸钠和葡萄糖吸附能力进行了测定。结果表明: 麦麸膳食纤维比麦麸具有更高的 WHC 和 OHC, 而超微粉碎处理可进一步提升麦麸膳食纤维 WHC 和 OHC, 分别为 4.99 g/g 和 6.30 g/g; 在胆酸钠浓度为 3 mg/mL 时, 超微粉碎麦麸及麦麸膳食纤维胆酸钠吸附量最高, 分别为 40.58 mg/g 和 46.08 mg/g; 在葡萄糖浓度为 50~100 mmol/L 范围内, 超微粉碎后麦麸及麦麸膳食纤维葡萄糖吸附量亦明显上升。pH 7 时, 普通粉碎处理后麦麸胆固醇吸附能力低于麦麸膳食纤维, 而超微粉碎处理后麦麸胆固醇吸附能力高于麦麸膳食纤维。普通粉碎的麦麸对不饱和脂肪酸和饱和脂肪酸吸附量最高, 分别达到 1.56 g/g 和 1.13 g/g。研究表明麦麸及麦麸膳食纤维表通过处理后现出不同物化特性, 这将为麦麸食品化利用及对食品体系物化特性影响提供理论依据。

关键词: 麦麸; 膳食纤维; 普通粉碎; 超微粉碎; 物化特性

文章编号: 1673-9078(2021)01-150-156

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.01.0597

Comparison of Physicochemical Properties of Wheat Bran and Its Dietary Fiber Subjected to Conventional Crushing and Superfine Grinding

SHI Jian-bin, SUI Yong, CAI Sha, HE Jian-jun, XIONG Tian, FAN Chuan-hui, CHEN Xue-ling, WANG Shao-hua, CAI Fang, MEI Xin

(Institute of Agro-product Processing and Nuclear-Agricultural Technology, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064, China)

Abstract: To compare clarify the effect of ordinary crushing and superfine grinding on the physicochemical properties of wheat bran and wheat bran dietary fiber, the water-holding capacity (WHC), oil-holding capacity (OWC), water-swelling capacity, viscosity, cation exchange capacity, and adsorption capacities for lipids, cholesterol, bile salts and glucose were determined. The results showed that wheat bran dietary fiber had higher WHC and OWC than wheat bran. Superfine grinding could further increase the WHC and OWC of wheat bran dietary fiber (4.99 mg/g and 6.30 mg/g, respectively). At a sodium bile acid concentration of 3 mg/mL, the capacities of ultrafine wheat bran and wheat bran dietary fiber for sodium bile acid adsorption were the highest (40.58 mg/g and 46.08 mg/g, respectively). The absorption capacities of wheat bran and wheat bran dietary fiber for glucose (in the range of 50~100 mmol/L) increased significantly after superfine grinding. At pH 7, the cholesterol absorption capacity of wheat bran subjected to conventional crushing was lower than that of conventionally crushed wheat bran dietary fiber, whilst the cholesterol absorption capacity of wheat bran after ultrafine grinding was higher than that of ultrafine wheat bran dietary fiber. The conventionally crushed wheat bran had the highest adsorption capacities for unsaturated fatty acids and saturated fatty acids (1.56 g/g

引文格式:

施建斌, 隋勇, 蔡沙, 等. 麦麸及麦麸膳食纤维常规粉碎和超微粉碎物化特性比较[J]. 现代食品科技, 2021, 37(1): 150-156

SHI Jian-bin, SUI Yong, CAI Sha, et al. Comparison of physicochemical properties of wheat bran and its dietary fiber subjected to conventional crushing and superfine grinding [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(1): 150-156

收稿日期: 2020-06-29

基金项目: 湖北省中央引导地方科技发展专项 (2018ZYD011); 湖北省农业科技创新中心团队项目 (2016-620-000-001-25)

作者简介: 施建斌 (1984-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 粮食加工及副产物加工利用

通讯作者: 梅新 (1978-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 粮食加工及副产物加工利用

and 1.13 g/g, respectively). This research showed that the wheat bran and the wheat bran dietary fiber table exhibited different physicochemical properties after the treatments, which provides a theoretical basis for the food utilization of wheat bran and studies on its influences on the physicochemical properties of the resulting food systems.

Key words: wheat bran; dietary fiber; conventional crushing; superfine grinding; physicochemical properties

小麦是我国第二大粮食作物, 据 FAO 统计 2018 年我国小麦产量约 1.31 亿 t, 其中超过 75% 用于面粉加工。麦麸 (wheat bran, WB) 是小麦加工面粉过程中的主要副产物, 约占小麦籽粒的 20%, 据此估算我国麦麸年产量约 2600 万 t。麦麸主要由含有大量纤维的皮层组织和胚乳、麦胚组成, 是膳食纤维的重要来源, 其中膳食纤维含量约占 45%, 此外还含有大约 40% 的淀粉和蛋白^[1]。麦麸膳食纤维主要由聚阿拉伯糖木糖 (52%~70%)、纤维素 (20%~24%) 和 β -(1,3)-(1,4) 葡聚糖 (约 6%) 组成^[2]。膳食纤维 (dietary fiber, DF) 的概念自 20 世纪 50 年代提出后, 前人对不同来源膳食纤维的制备工艺、物化特性、营养特性等方面进行了系统研究^[3,4]。现在已明确膳食纤维具有多种生理功效, 可有效防止便秘、降低肥胖及肠道癌症发病率、降低血清胆固醇、调节血糖和血脂、促进肠道益生菌生长^[5-11]。

在前人研究中, 依据麦麸中淀粉及蛋白质去除手段, 可将麦麸膳食纤维制作工艺概括为物理法、化学法、生物酶法等几种, 然而, 因受到工艺繁复、成本高、效益低以及废液量大等问题困扰, 严重阻碍了麦麸膳食纤维规模化生产, 更影响到麦麸膳食纤维作为食品资源在食品工业中的推广和应用。近年来, 随着人们生活水平提高和消费观念改变, 全谷物食品越来越受到人们青睐, 麦麸富含淀粉、蛋白质、膳食纤维等多种营养成分, 可作为全谷物食品制作原料用于食品工业中, 这也成为目前麦麸综合利用的一个主流方向。麦麸中膳食纤维含量较高, 极大影响了麦麸及麦麸膳食纤维为主要原料的食品体系物化特性; 其生产的产品口感粗糙, 难以被消费者接受。超微粉碎可极大程度降低原料粒径, 改变原料吸水性、比表面积、孔隙率等特性, 进而改善产品口感。目前, 有关超微粉碎对麦麸膳食纤维水合特性和吸附特性的影响研究较多, 而比较普通粉碎和超微粉碎下麦麸及麦麸膳食纤维水合特性、吸附特性差异的研究尚未见报道。本研究拟采用普通粉碎和超微粉碎两种不同粉碎方式对麦麸及麦麸膳食纤维进行处理, 比较不同粒度麦麸及麦麸膳食纤维特性差异, 为麦麸及麦麸膳食纤维食品化利用及产品开发提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验原料

麦麸由湖北省潜江同光面粉有限责任公司提供; 麦麸膳食纤维自制: 麦麸粉碎后过 40 目筛, 在一定料液比和 pH 条件下, 先后经高温 α -淀粉酶、中性蛋白酶酶解, 去除酶解液, 残渣经干燥即为麦麸膳食纤维; 鸡蛋、花生油、猪油市售; 其余试剂均为分析纯。

麦麸经普通粉碎、超微粉碎后分别过 80 目、400 目筛, 得样品分别记为 WB1 和 WB2, 粒径 $D_{[3,2]}$ 分别为 135.78 μm 和 25.32 μm ; 麦麸膳食纤维经普通粉碎、超微粉碎后分别过 80 目、400 目筛, 得样品分别记为 DF1 和 DF2, 粒径 $D_{[3,2]}$ 分别为 145.56 μm 和 24.35 μm 。

经测定麦麸中膳食纤维、淀粉和蛋白质含量分别为: 45.22、16.95、16.55 (g/100 g, DW); 麦麸膳食纤维中膳食纤维、淀粉和蛋白质含量分别为: 86.49、0.61、4.93 (g/100 g, DW)。

1.2 主要仪器设备

万能粉碎机, FW-100, 天津泰斯特仪器有限公司; 气流型超微粉碎机, TLFS100, 昆山天龙粉碎设备有限公司; 紫外分光光度计, UV-2800, 尤尼柯 (上海) 仪器有限公司; 黏度计, DV2T, 美国博勒飞; Winner 3003 动态颗粒图像分析仪; 济南微纳颗粒技术有限公司; 其它常规实验室设备。

1.3 方法

1.3.1 超微粉碎操作

将麦麸和膳食纤维干燥水至分小于 8%, 以 12 kg/h 的进料速度加入气流粉碎机中, 工作压力为 0.7 MPa, 通气量为 3 m^3/min , 收集粉碎后的样品并过 400 目筛网。

1.3.2 粒径测定

取样品分散在无水乙醇中, 置于粒度仪中超声分散 3 min, 记录不同样品表面积平均粒径 (μm), 表面积平均粒径记为 $D_{[3,2]}$ 。

1.3.3 持水性

取一定量样品 W_1 (g), 按 1:10 (m/V) 比例加入蒸馏水, 室温下搅拌混匀 30 min, 2500 r/min 离心 20 min, 弃上清液, 沉淀称重 W_2 (g), 样品持水性 (WHC) 计算公式如下:

$$WHC/(g/g) = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

1.3.4 持油性

将定量滤纸置于花生油中浸泡 20 min, 取出悬挂 30 min 至无油滴出, 恒重后称重 W_1 (g); 称取 0.2 g 样品 W (g), 用定量已吸油恒重的滤纸包裹并在花生油中浸泡 20 min, 取出悬挂 3 h 至恒重, 称取质量为 W_2 (g), 样品持油性计算公式如下:

$$OHC/(g/g) = \frac{W_2 - W_1 - W}{W}$$

1.3.5 吸水膨胀性

取一定量样品 W (g) 于刻度试管中, 记录体积 V_1 (mL), 后按 1:10 (m/V) 比例加入蒸馏水, 充分混匀后于室温下放置 24 h, 记录体积 V_2 (mL), 样品吸水膨胀性 (SWC) 计算公式如下:

$$SWC/(mL/g) = \frac{V_2 - V_1}{W}$$

1.3.6 黏度测定

取一定量样品, 分别配制成浓度为 2%、5%、10%、15% (m/V) 的样品悬浊液, 30 °C 下续搅拌 1 h, 采用旋转型黏度计 30 °C 下测定黏度。

1.3.7 阳离子交换能力

麦麸及麦麸膳食纤维阳离子交换能力参照陆世广^[12]的方法并做少许修改。取一定量样品, 按 1:10 (m/V) 比例加入 0.1 mol/L 的 HCl 溶液, 混匀后于 37 °C 下静置 48 h, 后于 4000 r/min 下离心 15 min, 弃上清液, 以去离子水清洗沉淀至清洗液中不含氯离子, 沉淀真空干燥后备用。准确称取 0.25 g 上述沉淀, 与 100 mL 5% (m/V) 的氯化钠溶液混合, 并搅拌均匀, 以 0.01 mol/L 的 NaOH 溶液滴定, 每消耗 0.2 mL NaOH 溶液记录 1 次样品悬浮液的 pH 值, 制作 pH 值随 NaOH 溶液消耗量的变化曲线。在混合和滴定过程中, 始终通过水浴保持待测样品混合液温度于 37 °C, 并不停搅拌。

1.3.8 胆固醇吸附能力

采用 Bragado 等的方法并做少许修改测定麦麸及麦麸膳食纤维胆固醇吸附能力 (CAC)^[13]。取市售鲜鸡蛋蛋黄, 加入 9 倍体积蒸馏水充分搅打成乳液, 采用邻苯二甲醛法测定乳液中胆固醇总量 (标准曲线: $Y=1.773X+0.101$, $R=0.9931$), 记为 P_1 。取一定量麦麸及麦麸膳食纤维样品 W (g), 按固液比 1:20 (m/V) 加入上述稀释后蛋黄液, 充分搅拌, 分别调节 pH 值至 2 和 7, 室温振荡 2 h, 4000 r/min 离心 20 min, 取上清液, 稀释 10 倍后, 再次测定上清液中胆固醇总量, 记为 P_2 , 样品 CAC 计算公式为:

$$CAC/(mg/g) = \frac{P_1 - P_2}{W}$$

1.3.9 油脂吸附能力

参照郭增旺的方法测定样品对油脂的吸附能力^[14]。取一定量的样品 W_1 (g), 按一定质量体积百分比分别与花生油、猪油混合, 充分搅拌后于 37 °C 放置 2 h, 5000 r/min 下离心 15 min, 弃上层油脂, 沉淀用滤纸吸去游离油脂并称重 W_2 (g), 样品不饱和脂肪和饱和脂肪吸附能力计算公式如下:

$$\text{不饱和脂肪/饱和脂肪吸附能力}(g/g) = \frac{W_2 - W_1}{W_1}$$

1.3.10 胆酸钠吸附能力

采用糠醛比色法测定样品对胆酸钠的吸附能力^[13]。以吸光值为纵坐标, 以胆酸钠含量为横坐标, 制得标准曲线为: $Y=6.622X+0.0356$ ($R=0.9995$)。

取一定量胆酸钠 W_1 (g), 分别配置 100 mL 浓度为 2 mg/mL、3 mg/mL 的胆酸钠 NaCl (0.15 mol/L) 溶液, 调节 pH 至 7。取一定量样品 W_2 (g) 与上述不同浓度胆酸钠 NaCl 溶液混合, 于 37 °C 下水浴震荡 2 h 后于 4000 r/min 下离心 20 min, 测定上清液中胆酸钠含量 W_3 (g), 样品对胆酸钠吸附能力计算公式如下:

$$\text{胆酸钠吸附能力}(mg/g) = \frac{W_1 - W_3}{W_2}$$

1.3.11 葡萄糖吸附能力

参照 Ou 等^[15]的方法测定麦麸及麦麸膳食纤维葡萄糖吸附能力 (GAC)。取一定量样品 W (g) 分别与 20 mL 初始浓度为 5、10、50、100 mmol/L (C_0) 葡萄糖混合, 37 °C 下水浴搅拌 6 h 后于 4000 r/min 下离心 20 min, 采用 DNS 法测定上清液中葡萄糖浓度 C_1 (mmol/L), 样品 GAC 计算公式如下:

$$GAC/(mmol/g) = \frac{(C_0 - C_1) * 0.02}{W}$$

1.4 数据处理

所有试验重复 3 次, 结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 采用 origin 2018 对所得数据进行处理。

2 结果与讨论

2.1 麦麸及麦麸膳食纤维的持水性、持油性和吸水膨胀性

麦麸及麦麸膳食纤维通过普通粉碎和超微粉碎后 WHC、OHC、SWC 如表 1 所示。从表可以看出, 普

通粉碎和超微粉碎下, 麦麸膳食纤维的 WHC 和 OHC 均高于麦麸; 超微粉碎处理麦麸膳食纤维 WHC 约为麦麸 4 倍、OHC 约为麦麸 1.9 倍; 普通粉碎下, 麦麸膳食纤维 SWC 高于麦麸; 而超微粉碎下, 麦麸膳食纤维 SWC 低于麦麸。相比于普通粉碎, 超微粉碎可提高麦麸的 OHC 和 SWC, 麦麸膳食纤维的 WHC、OHC; 超微粉碎后麦麸 WHC 无明显变化, 麦麸膳食纤维 SWC 下降。超微粉碎处理后麦麸 WHC、OHC、SWC 分别为 1.23 g/g、3.36 g/g、2.67 mL/g; 麦麸膳食纤维 WHC、OHC、SWC 分别为 4.99 g/g、6.30 g/g、2.40 mL/g。麦麸膳食纤维具有多孔网状结构, 赋予其良好的 WHC 和 OHC。超微粉碎处理后, 麦麸及麦麸膳食纤维粒径减小、比表面积增大, 单个颗粒与水、油接触面积增大, WHC 和 OHC 提升。然而, 超微粉碎过程中, 膳食纤维网状结构被破坏导致 SWC 降低^[16], 麦麸中淀粉、蛋白质亲水基团更多暴露出来, 提升了其 SWC^[17]。

表 1 麦麸及麦麸膳食纤维常规粉碎和超微粉碎后 WHC、OHC 和 SWC

Table 1 WHC、OHC and SWC of wheat bran and dietary fiber treated with conventional crushing and superfine grinding

	WHC/(g/g)	OHC/(g/g)	SWC/(mL/g)
WB1	1.22±0.38	2.42±0.51	1.85±0.32
DF1	3.39±0.06	4.65±1.19	2.70±0.07
WB2	1.23±0.16	3.36±0.48	2.67±0.10
DF2	4.99±0.17	6.30±1.67	2.40±0.27

2.2 麦麸及麦麸膳食纤维的黏度

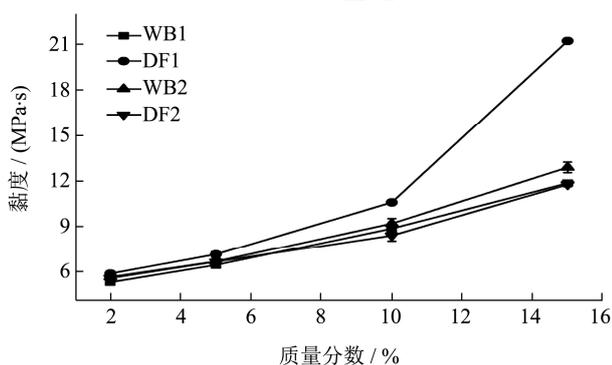


图 1 麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后黏度曲线

Fig.1 Viscosity curve of wheat bran and dietary fiber treated with conventional crushing and superfine grinding

麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后黏度随浓度的变化曲线如图 1 所示。从图中可以看出, 随着麦麸及麦麸膳食纤维浓度升高, 普通粉碎及超微粉碎麦麸和麦麸膳食纤维黏度均呈上升趋势。在相同

浓度条件下, 普通粉碎麦麸膳食纤维黏度值最高; 普通粉碎麦麸、超微粉碎麦麸及麦麸膳食纤维三个样品黏度值没有明显差异, 黏度随浓度呈现线性增加趋势, 具有牛顿立体特性。普通粉碎麦麸膳食纤维质量分数超过 10% 时, 黏度上升幅度明显高于其他几种样品, 在质量分数为 15% 时黏度达到最大值, 为 21.20 mPa·s, 呈现胀塑性流体特性。有研究表明, 样品比表面积越小、分子结构越紧密, 其黏度随浓度上升幅度较小; 比表面积越大、结构越疏松, 其黏度随浓度上升幅度较大^[18]。普通粉碎麦麸中淀粉和蛋白质含量高、结构紧密, 超微粉碎麦麸及麦麸膳食纤维比表面积大但结构被破坏, 故其黏度随浓度上升幅度较小; 而通过普通粉碎的麦麸膳食纤维, 虽然比表面积未极大增加, 但是通过脱除淀粉和蛋白使其结构更加疏松, 黏度随之升高。

2.3 麦麸及麦麸膳食纤维阳离子交换能力

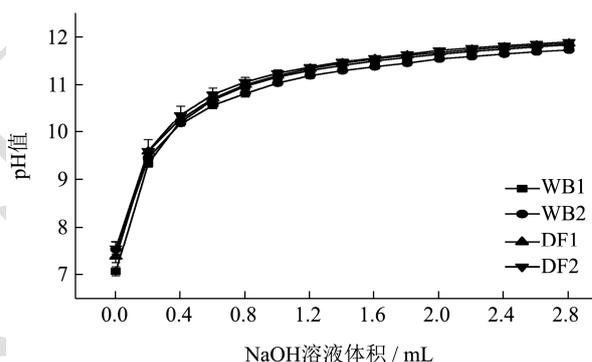


图 2 麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后阳离子交换能力

Fig.2 Cation exchange capacity of wheat bran and dietary fiber treated with conventional crushing and superfine grinding

麦麸及麦麸膳食纤维中含有羧基、羟基、氨基等多种官能团, 均可与阳离子尤其是有机阳离子进行可逆交换, 如在人体消化道内可实现 Na^+ 与 K^+ 间的交换, 吸附 Na^+ 使之随粪便排出, 减少人体对 Na^+ 的吸收^[19]。这一吸附阳离子过程瞬间改变了消化道内离子浓度, 对消化道内 pH 及氧化还原电位产生了影响, 呈现一种缓冲的环境^[20]。阳离子交换能力与 pH 值成反比, pH 值越大, 阳离子交换能力越小, 反之越大。麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后阳离子交换能力如图 2 所示。从图中可以看出, 粉碎方式对麦麸及麦麸膳食纤维的阳离子交换能力无明显影响; 相同粉碎方式下, 麦麸及麦麸膳食纤维之间阳离子交换能力亦无明显差异。在未滴加 NaOH 时, 溶液的 pH 值 7.06~7.56; 随着滴定所耗 NaOH 溶液体积升高, 几种样品溶液 pH 值均呈先急剧上升后缓慢上升最终趋于

稳定, 滴定所耗 NaOH 溶液体积为 2.8 mL 时, 样品溶液 pH 值趋于稳定, pH 值大约为 11.8。张国真等^[19]研究发现, 超微粉碎对麦麸阳离子交换能力无明显影响, 而对超微粉碎后麦麸按粒径大小进行分级处理后发现, 粒径越大、阳离子交换能力越强。李焕霞等^[21]研究粒径对膳食纤维阳离子交换能力影响表明, 120 目时, 膳食纤维阳离子交换能力达最大值。膳食纤维适度粉碎可将一些基团暴露于溶液中, 提高其阳离子交换能力, 而过度粉碎在暴露基团的同时也会造成结构破坏, 或者由于结构上的空间位阻效应导致阳离子交换能力下降。

2.4 麦麸及麦麸膳食纤维胆固醇吸附能力

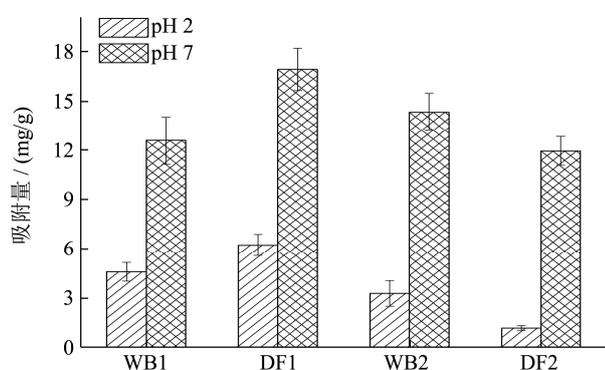


图3 麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后胆固醇吸附能力

Fig.3 Cholesterol absorbing capacity of wheat bran and dietary fiber treated conventional crushing and superfine grinding

麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后对胆固醇吸附能力如图3所示。从图中可以看出, pH对麦麸及麦麸膳食纤维胆固醇吸附能力有明显的影 响, 麦麸及麦麸膳食纤维在 pH 7 条件下对胆固醇吸附能力明显高于 pH 2 条件下, 由此推断在模拟小肠环境下麦麸及麦麸膳食纤维对胆固醇吸附能力强于在模拟胃的环境。在 pH 7 时, 普通粉碎的麦麸胆固醇的吸附量为 12.60 mg/g, 而膳食纤维的吸附量为 16.92 mg/g; 通过粉碎后其对麦麸对胆固醇的吸附增加, 而膳食纤维对胆固醇的吸附减小, 分别为 14.35 mg/g 和 11.95 mg/g。在 pH 为 2 时, 普通粉碎的麦麸胆固醇的吸附量为 4.58 mg/g, 而膳食纤维的吸附量为 6.21 mg/g; 而通过超微粉碎后麦麸和膳食纤维对胆固醇吸附量下降, 分别为 3.27 mg/g 和 1.17 mg/g。有研究认为经超微粉碎处理后, 膳食纤维比表面积增大、毛细血管作用更加明显, 更容易形成凝胶和粘膜层, 对胆固醇吸附量亦随之增加^[14], 但是过度的粉碎会使其蜂窝状结构受到极大破坏, 降低胆固醇的吸附。而在麦麸中含有较多的淀粉和蛋白质, 通过普通粉碎和超微粉碎可

以暴露不同的功能基团, 进而影响其在不同 pH 下的对胆固醇的吸附能力。

2.5 麦麸及麦麸膳食纤维胆酸钠吸附能力

胆酸钠在肠道中快速吸收, 可加快胆固醇分解, 降低血清和肝脏中胆固醇含量, 也防止和降低过量胆汁酸在肠道益生菌作用下产生致癌次生代谢产物^[22,23]。麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后胆酸钠吸附能力如图4所示。从图中可以看出, 麦麸和麦麸膳食纤维在不同胆酸钠浓度下吸附能力有明显差异。这表明麦麸和麦麸膳食纤维对胆酸钠吸附是一种动态平衡, 在浓度高时有较高的吸附能力, 在低浓度下吸附能力降低, 进而维持脂肪的正常代谢。胆酸钠浓度为 2 mg/mL 时, 麦麸通过超微粉碎处理后对胆酸钠的吸附能力几乎不变, 而麦麸膳食纤维经超微粉碎后对胆酸钠的吸收从 8.50 mg/g 增加到 14.86 mg/g; 但当胆酸钠浓度为 3 mg/mL 时, 相同处理下膳食纤维对胆酸钠的吸附高于麦麸, 而且超微粉碎也可以增加麦麸和膳食纤维对胆酸钠的吸附能力, 超微粉碎麦麸膳食纤维对胆酸钠的吸附量最高 (46.08 mg/g)。

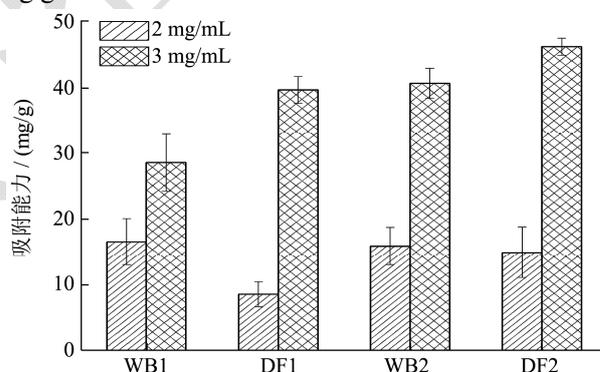


图4 麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后胆酸钠吸附能力

Fig.4 Sodium bile acid absorbing capacity of wheat bran and dietary fiber treated with conventional crushing and superfine grinding

2.6 麦麸和麦麸膳食纤维不饱和脂肪和饱和脂肪吸附能力

麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后不饱和脂肪与饱和脂肪吸附量如图5所示。从图中可以看出, 四个样品对饱和脂肪吸附量高于对不饱和脂肪吸附量。Lin 等^[24]研究也发现, 麦麸膳食纤维对饱和脂肪吸附能力明显高于对不饱和脂肪吸附能力。这主要是因为相比饱和脂肪, 不饱和脂肪内含双键结构,

具有电子云空间位阻效应对其与膳食纤维吸附作用产生负面影响^[25]。麦麸通过常规粉碎和超微粉碎,其对饱和脂肪及不饱和脂肪吸附量没有明显变化,其吸附量在 0.9 和 0.4 g/g 附近;而麦麸膳食纤维对饱和脂肪和不饱和脂肪吸附量均明显下降,饱和脂肪吸附量从 1.56 g/g 下降到 0.86 g/g,而不饱和脂肪吸附量从 1.13 g/g 下降到 0.51 g/g。相同粉碎方式下,普通粉碎麦麸对饱和脂肪和不饱和脂肪吸附量明显低于麦麸膳食纤维;超微粉碎麦麸与麦麸膳食纤维对饱和脂肪和不饱和脂肪吸附量没有明显差异。普通粉碎麦麸膳食纤维对饱和脂肪和不饱和脂肪吸附量均最高,分别达到 1.56 g/g、1.13 g/g。

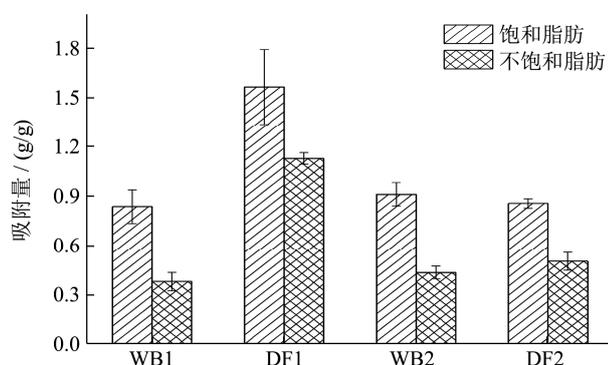


图5 麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后脂肪吸附量

Fig.5 Oil and fat absorbing capacity of wheat bran and dietary fiber treated with conventional crushing and superfine grinding

2.7 麦麸及麦麸膳食纤维葡萄糖吸附能力

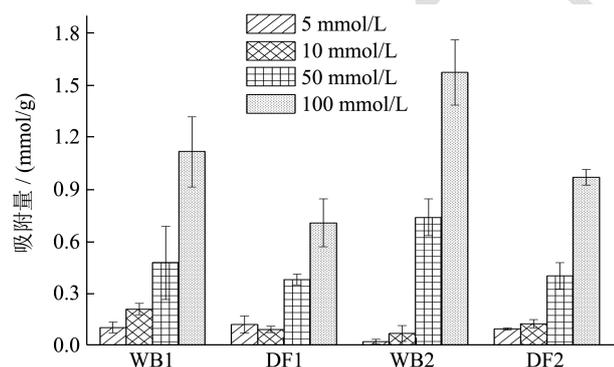


图6 麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后葡萄糖吸附量

Fig.6 Glucose absorbing capacity of wheat bran and dietary fiber treated with conventional crushing and superfine grinding

膳食纤维对葡萄糖的吸附可延迟或减少葡萄糖在胃肠道消化吸收,控制餐后血糖快速上升。麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后葡萄糖吸附能力如图6所示。从图中可以看出,葡萄糖浓度超过 10 mmol/L 时,葡萄糖浓度与麦麸及麦麸膳食纤维对葡萄

糖吸附量呈明显正相关。葡萄糖浓度超过 50 mmol/L 时,相同粉碎处理下,麦麸对葡萄糖吸附量明显高于麦麸膳食纤维;且相比于普通粉碎,超微粉碎可明显提升麦麸及麦麸膳食纤维对葡萄糖吸附量。葡萄糖浓度为 100 mmol/L 时,超微粉碎麦麸对葡萄糖吸附量最大为 1.57 mmol/g。Kurek 等^[26]研究认为,麦麸及麦麸膳食纤维对葡萄糖吸附量与其基本成分、黏度、气孔率和比表面积有极大相关性。麦麸中除了膳食纤维外,还含大量淀粉和蛋白质,其可与葡萄糖通过氢键、范德华力等方式键合,提高葡萄糖吸附量。此外,超微粉碎可增加麦麸或麦麸膳食纤维颗粒比表面积,进而提升其葡萄糖吸附能力。

3 结论

本研究比较了普通粉碎和超微粉碎麦麸及麦麸膳食纤维水合能力以及吸附能力。结果表明:相同粉碎条件下,麦麸膳食纤维具有较高 WHC 和 OHC;而通过超微粉碎可进一步提升麦麸膳食纤维 WHC 和 OHC,分别为 4.99 g/g 和 6.30 g/g。处理方式对麦麸及麦麸膳食纤维阳离子交换能力无明显影响。麦麸及麦麸膳食纤维在 pH 7 下对胆固醇的吸附能力明显高于 pH 2;而在 pH 7 下,普通粉碎处理后麦麸胆固醇吸附能力低于麦麸膳食纤维,而超微粉碎处理后麦麸胆固醇吸附能力高于麦麸膳食纤维。麦麸及麦麸膳食纤维对胆酸钠的吸附是一个动态过程;胆酸钠浓度为 3 mg/mL 时,相同处理下膳食纤维对胆酸钠的吸附能力高于麦麸,而且超微粉碎也可以增加麦麸和膳食纤维对胆酸钠的吸附能力,其吸附量分别为 40.58 mg/g 和 46.08 mg/g。麦麸及麦麸膳食纤维对饱和脂肪的吸附量高于对不饱和脂肪吸附量;普通粉碎下麦麸膳食纤维对饱和脂肪和不饱和脂肪的吸附量最高,分别为 1.56 g/g、1.13 g/g。高浓度(50~100 mmol/L)葡萄糖条件下,超微粉碎可明显提升麦麸及麦麸膳食纤维葡萄糖吸附量,且相同粉碎条件下,麦麸对葡萄糖吸附量高于麦麸膳食纤维。前人认为麦麸通过超微粉碎处理后麦麸 WHC、OHC 显著下降,而 SWC 和胆固醇吸收能力显著上升,阳离子交换能力不变化不明显^[19],而膳食纤维通过超微粉碎后水合和吸附特性均有明显改良作用^[13],本研究表明麦麸及麦麸膳食纤维通过常规粉碎和超微粉碎后特性呈不同的变化,因此需进一步的进行研究。

参考文献

- [1] 汤葆莎,沈恒胜.麦麸膳食纤维制备及研究进展[J].中国农学通报,2009,25(12):53-57

- TANG Bao-sha, SHEN Heng-sheng. Processing of wheat bran dietary fibre and researches for its development [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(12): 53-57
- [2] Johannes Hell, Wolfgang Kneifel, Thomas Rosenau, et al. Analytical techniques for the elucidation of wheat bran constituents and their structural features with emphasis on dietary fiber - a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2014, 35(2): 102-113
- [3] M Elleuch, D Bedigian, O Roiseux, et al. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review [J]. Food Chemistry, 2011, 124(2): 411-421
- [4] D Mudgil, S Barak. Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: a review [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2013, 61: 1-6
- [5] M Lahaye, B Kaeffèr. Seaweed dietary fibres: structure, physico-chemical and biological properties relevant to intestinal physiology [J]. Sciences Des Aliments, 1997, 17(6): 563-584
- [6] P B Devi, R Vijayabharathi, S Sathyabama, et al. Health benefits of finger millet (*Eleusine coracana* L.) polyphenols and dietary fiber: a review [J]. Journal of Food Science and Technology-Mysore, 2014, 51(6): 1021-1040
- [7] P Gunness, M J Gidley. Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble dietary fibre polysaccharides [J]. Food & Function, 2010, 1(2): 149-155
- [8] Y Maphosa, V A Jideani. Dietary fiber extraction for human nutrition-a review [J]. Food Reviews International, 2016, 32(1): 98-115
- [9] C J Rebello, C E O'neil, F L Greenway. Dietary fiber and satiety: the effects of oats on satiety [J]. Nutrition Reviews, 2016, 74(2): 131-147
- [10] A J Wanders, J Van Den Borne, C De Graaf, et al. Effects of dietary fibre on subjective appetite, energy intake and body weight: a systematic review of randomized controlled trials [J]. Obesity Reviews, 2011, 12(9): 724-739
- [11] Marc P Mcrae. Dietary fiber intake and type 2 diabetes mellitus: an umbrella review of meta-analyses [J]. Journal of Chiropractic Medicine, 2018, 17(1): 44-53
- [12] 陆世广.超细大豆皮膳食纤维性质的研究[D].武汉:武汉工业学院,2008
- LU Shi-guang.The study of ultra-fine soybean dietary fiber property [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008
- [13] María J Bragado, Luis J García, María A López, et al. Protective effect of long term high fiber diet consumption on rat exocrine pancreatic function after chronic ethanol intake [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2001, 12(6): 338-345
- [14] 郭增旺,马萍,刁静静,等.超微型大豆皮水不溶性膳食纤维理化及吸附特性[J].食品科学,2018,39(5):106-112
- GUO Zeng-wang, MA Ping, DIAO Jing-jing, et al. Physicochemical and adsorption properties of ultramicro insoluble dietary fiber from soybean hull [J]. Food Science, 2018, 39(5): 106-112
- [15] Shiyi Ou, Kin-chor Kwok, Yan Li, et al. *In vitro* study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(2): 1026-1029
- [16] Ling Yan, Tian Li, Changhong Liu, et al. Effects of high hydrostatic pressure and superfine grinding treatment on physicochemical/ functional properties of pear pomace and chemical composition of its soluble dietary fibre [J]. LWT, 2019, 107: 171-177
- [17] 刘卫平.竹笋老茎膳食纤维的提取、超微处理及其应用研究[D].福州:福建农林大学,2013
- LIU Wei-ping. Study on the extraction, ultra-micronization and application of bamboo shoot dietary fiber [D]. Fuzhou: Fujian Sgriculture and Forestry University, 2013
- [18] 张晶晶,张红建,李晓月,等.超细水不溶性大豆皮膳食纤维理化特性的研究[J].食品工业科技,2014,35(20):147-149, 154
- ZHANG Jing-jing, ZHANG Hong-jian, LI Xiao-yue, et al. Study on physico-chemical properties of ultrafine insoluble dietary fiber derived from soybean skin [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(20): 147-149, 154
- [19] 张国真,何建军,姚晓玲,等.超微粉碎麦麸及其不同组分基本成分和物化特性分析[J].食品科技,2014,39(7):147-152
- ZHANG Guo-zhen, HE Jian-jun, YAO Xiao-ling, et al. Analysis of proximate composition and physicochemical properties of micronization wheat bran and its different component [J]. Food Science and Technology, 2014, 39(7): 147-152
- [20] 孙颖.小麦麸皮膳食纤维的脱色及超微粉碎加工[D].无锡:江南大学,2008
- SUN Ying. Study on the decoloration and micronization of wheat bran dietary fiber [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2008