

改性条件对米糠不溶性纤维功能性质的影响

祁静, 李玥, 钟芳*

(江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 为了探讨碱处理浓度对米糠不溶性纤维成分的影响以及化学组成与纤维物理性质之间的关系, 采用酸碱结合的方法从米糠中提取不溶性纤维。结果显示, 随着碱质量浓度增大, 淀粉、蛋白和半纤维素的水解率逐渐增大, 所得米糠不溶性纤维的持水力逐渐降低, 持油力逐渐升高, 膨胀力先升高后降低。为改善米糠不溶性纤维的亲水性与可溶性, 提高其对淀粉酶和胰脂酶的抑制作用, 进一步采用羧甲基改性, 考察了羧甲基改性前后的米糠纤维样品的理化性质以及对淀粉酶和胰脂酶的抑制作用变化。结果表明: 羧甲基化改性显著提高了米糠不溶性纤维的持水力和膨胀力, 而且通过羧基与酶之间的静电相互作用, 显著增强了纤维对胰脂酶的抑制作用。

关键词: 米糠; 不溶性纤维; 改性; 理化性质; 淀粉酶抑制作用; 胰脂酶抑制作用

中图分类号: TS 210.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673—1689(2017)11—1137—08

Effects of Different Treatments and Modification on the Functional Properties of Rice Bran Dietary Fiber

QI Jing, LI Yue, ZHONG Fang*

(School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: A series of rice bran dietary fiber, which possess different physicochemical properties, were obtained by treating defatted rice bran with different concentrations of potassium hydroxide (KOH). The relationship between composition and physicochemical properties were discussed. Moreover, the effects of successive carboxymethylation on the physicochemical properties and subsequent influence on the α -amylase and lipase inhibition capacity of selected rice bran fiber were comparatively investigated. An increase in the oil binding capacity but the decrease in the water holding capacity with the incremental KOH concentration was observed, which was mainly due to the reduced hydration groups with the removal of starch, protein and partial hemicelluloses. The hydration capacities and oil binding capacity as well as the inhibiting capacities to lipase of rice bran dietary fiber were significantly enhanced after carboxymethylation.

Keywords: Rice bran, dietary fiber, modification, physicochemical properties, α -amylase inhibition property; lipase inhibition property

收稿日期: 2015-09-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(31171686); 江苏省自然科学基金项目(BK2012556)。

作者简介: 祁静(1983—), 女, 河北石家庄人, 工学博士, 主要从事食品化学方面的研究。E-mail: qijingxs@163.com

* 通信作者: 钟芳(1972—), 女, 河南新乡人, 工学博士, 教授, 博士研究生导师, 主要从事食品化学方面的研究。E-mail: fzhong@jiangnan.edu.cn

引用本文: 祁静, 李玥, 钟芳. 改性条件对米糠不溶性纤维功能性质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2017, 36(11): 1137-1144.

米糠含有 25%~30% 的膳食纤维, 是一种较为理想的膳食纤维来源^[1-4], 但其可溶性膳食纤维的质量分数较低, 大约为 2%~4%, 不溶性纤维质量分数约为 25%~27%^[5-7]。为了充分利用米糠不溶性膳食纤维, 需对其进行有效的提取。据报道, 提取不溶性膳食纤维最常用的方法是酸碱法^[8]。金建昌^[9]采用酸碱法提取茭白壳中不溶性膳食纤维, 研究了酸碱浓度和处理时间对茭白不溶性纤维得率及纯度的影响。最终得出在最适酸碱浓度和温度下, 能够使茭白不溶性纤维的得率达到 59.26%, 且纯度达到 91.35%, 并证实了, 酸碱法提取不溶性膳食纤维的过程主要是去除淀粉、蛋白质和脂肪的过程。但是对于酸碱处理程度与不溶性膳食纤维理化性质之间的相关性分析还未见有相关的报道, 所以有必要探讨酸碱处理的不同参数对不溶性纤维理化性质的影响。

据相关研究, 不溶性膳食纤维调节血糖和血脂的功能主要通过吸附淀粉酶和脂肪酶, 抑制酶的扩散, 阻碍酶与底物的接触, 从而降低淀粉和脂肪的消化率以达到降低血糖和血脂水平的目的^[10]。而可溶性膳食纤维主要通过增加消化体系的黏度来抑制葡萄糖或脂肪酸的扩散, 降低小肠壁对这些物质的吸收率, 从而达到降低血糖和血脂的目的。由于可溶性纤维被证实能更有效地降低血糖水平^[11], 因此将不溶性膳食纤维改性, 增加其可溶性和持水力是目前提高不溶性膳食纤维功能性质的发展方向。羧甲基化被认为是改善不溶性纤维素及其他天然高分子化合物水溶性的有效方法^[12]。在已有的报道中, 证实了大麦膳食纤维经羧甲基改性后, 其可溶性、持水力和膨胀力均有所提高^[13]。然而, 目前未见有对米糠不溶性膳食纤维进行羧甲基改性及其功能性质研究的报道。

为了合理利用米糠膳食纤维, 明确其成分和结构变化对其理化性质的影响, 本文作者采用酸碱结合的方法提取米糠不溶性纤维, 研究不同碱浓度对米糠不溶性纤维成分的影响, 探讨成分和结构的变化对其理化性质的影响。并采用羧甲基化方法对米糠不溶性纤维进行改性, 以期提高米糠不溶性纤维的可溶性及亲水性, 从而提高其调节血糖和血脂的能力。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

新鲜米糠: 购于江苏省盐城市大阳大米有限公司; α -淀粉酶(A3176, 来源于猪胰脏): 购于 Sigma 试剂公司; 胰脂酶(L3126, 来源于猪胰脏): 购于 Sigma 试剂公司; 葡萄糖试剂盒(氧化酶-过氧化物酶法): 购于上海荣盛生物药业有限公司; 正己烷, 聚乙烯醇, 硫酸, 氢氧化钾, 氢氧化钠, 95%乙醇, 石油醚, 无水乙醇, 冰醋酸, 氯乙酸, 异丙醇, 酚酞: 均由广州化学试剂厂生产。

1.2 仪器与设备

90-2 型定时恒温磁力搅拌器: 上海沪西分析仪器有限公司产品; UV-1600 紫外可见分光光度计: 上海美谱达仪器有限公司产品; TDL-5-A 型低速大容量离心机; 上海安亭科学仪器厂制造; DFY-200 高速万能粉碎机: 浙江温岭市林大机械有限公司产品; MP-501A 超级恒温槽: 上海一恒科学仪器有限公司产品; IS10 傅立叶红外光谱仪: 美国 Nicolet 公司产品。

1.3 方法

1.3.1 原料成分分析 淀粉含量测定: 参照 GB/T5009.9-2008; 蛋白质含量测定: 参照 GB 5009.5-2010; 半纤维素和纤维素含量测定: 分别参照熊素敏等人^[14]报道的 2 mol/L 盐酸水解法和质量分数 72% 浓硫酸法。

1.3.2 米糠膳食纤维的制备 参照苗欣等^[15]的方法, 将新鲜干燥的米糠过 40 目筛, 取筛上部分, 采用正己烷, 以料液比 1:5 (g/mL) 的比例于室温下浸提 12 h 进行脱脂, 并重复 2 次。将脱脂后的米糠放于通风橱中风干残余正己烷, 然后置于 60 °C 干燥箱中干燥 12 h。准确称取 400 g 干燥的脱脂米糠于烧杯中, 加入 4 L 煮沸的质量分数 1.25% 的 H_2SO_4 溶液, 在微沸状态下不断搅拌反应 30 min 后, 滤布过滤, 用大约 70 °C 热水洗涤滤渣至中性。然后将滤渣置于烧杯中, 继续加 4 L 一定质量浓度的 (0.2%, 0.8%, 1.25 g/dL) 煮沸的 KOH 溶液, 在微沸状态下搅拌反应 30 min, 过滤, 热水洗涤滤渣至中性。最后分别用 500 mL 的体积分数 95% 乙醇和石油醚洗涤滤渣 2 次。将得到的滤渣置于 60 °C 干燥箱中干燥 12 h 后, 高速粉碎机粉碎, 过 40 目和 60 目筛, 得到粒径比较均一的米糠不溶性纤维。

1.3.3 米糠膳食纤维的羧甲基化改性 将酸碱提取的米糠不溶性纤维进一步进行羧甲基化改性。准确称取 5.0 g 米糠不溶性纤维置于 250 mL 的锥形瓶中,加入 150 mL 异丙醇,室温下搅拌反应 30 min 后,缓慢加入 6.3 mL 13 g/dL 的 NaOH(持续 15 min),继续搅拌反应 90 min。然后逐滴加入质量分数 15% 的氯乙酸 6.3 mL,50 °C 下磁力搅拌反应 3 h。其后用冰乙酸调节溶液 pH=7.0,过滤,弃去滤液。用无水乙醇洗涤滤渣 3 次,每次 100 mL,最后将所得改性纤维先置于通风橱中风干残余有机试剂,再置于 50 °C 干燥箱中烘干^[13]。

1.3.4 羧甲基化前后的米糠膳食纤维红外光谱分析 将制备的米糠不溶性纤维样品置于 60 °C 干燥箱中干燥至恒重,称取约 2 mg 干燥的样品于玛瑙研钵中,加入约 200 mg 干燥的 KBr 粉末混匀,研细后进行压片处理。将压好的片放进红外光谱(FTIR)分析仪的样品槽中进行测定,扫描波长为 400~4 000 cm⁻¹。

1.3.5 持水力的测定 准确称取 0.5 g 米糠不溶性纤维置于 100 mL 的烧杯中,加入蒸馏水 35 mL,室温下电磁搅拌 12 h,用滤布过滤掉多余的水,收集残渣至干燥恒质量的铝盒中,称质量(湿质量)。然后置于 105 °C 干燥箱中干燥至恒质量(干质量),持水力以每克纤维所吸收水的克数表示^[16]。其计算公式如下式(1):

$$I(\text{g/g})=(m_1-m_0)/m_0 \quad (1)$$

式(1)中, I 为持水力, m_1 为湿质量, m_0 为干质量。

1.3.6 持油力的测定 准确称取 0.5 g 米糠不溶性纤维与适量玉米油于 50 mL 的离心管中混匀,室温下放置 30 min,每隔 5 min 摇动 1 次。然后将混合物在 3 500 r/min 下离心 20 min,弃去上层油脂,擦干离心管壁内外所附着的油脂和水分,称沉淀质量^[16]。持油力以每克纤维所持油的克数表示,其计算公式如下式(2):

$$N(\text{g/g})=(M_1-M_0)/M_0 \quad (2)$$

式(2)中, N 为持油力, M_1 为沉淀质量, M_0 为干品质量。

1.3.7 膨胀力的测定 米糠不溶性纤维膨胀力的测定采用陈存社等人^[17]的方法。准确称取 0.3 g 样品于 10 mL 量筒中,震荡均匀后,读取量筒中干品体积数。准确加入蒸馏水 5 mL,振荡均匀,室温下放置 5 h 后读取量筒中物料膨胀后的体积数。膨胀力以每克纤维吸水膨胀后的体积(mL)表示,其计算公

式如下式(3):

$$T(\text{mL/g})=(W_1-W_2)/W_0 \quad (3)$$

式(3)中, T 为膨胀力, W_1 为膨胀后体积, W_2 为干品体积, W_0 为干品质量。

1.3.8 对淀粉酶的抑制作用 准确称取 0.2 g 米糠不溶性纤维置于酶反应器中,然后加入 0.03 g/mL 的 α -淀粉酶溶液 5 mL,在 37 °C 水浴中磁力搅拌反应 30 min 后,加入 20 mL 1 g/dL 的淀粉溶液(用 0.05 mol/L pH=6.5 的磷酸盐缓冲液配置)混合均匀。37 °C 水浴中磁力搅拌反应 60 min。最后加入 20 mL 0.1 mol/L 的 NaOH 灭酶,滤纸过滤,取滤液,采用葡萄糖试剂盒测定滤液中生成的葡萄糖含量。对照组不添加米糠纤维,其他操作同上^[18]。米糠不溶性纤维对淀粉酶的抑制率表示如下(4):

$$A(\%)=\frac{(A_0-A_1)}{A_0} \times 100\% \quad (4)$$

式(4)中, A 为抑制率, A_0 为对照组葡萄糖生成量, A_1 为样品组葡萄糖生成量。

1.3.9 对胰脂酶的抑制作用 根据 Yang 等^[19]的方法来测定米糠不溶性纤维对胰脂酶的活性抑制率。准确称取 0.5 g 米糠不溶性纤维置于酶反应器中,加入 1 mL 0.2 mg/mL 的胰脂酶液,8 mL 橄榄油乳液(4 g/dL 的聚乙烯醇溶液 150 mL 加 50 mL 橄榄油,25 000 r/min 高速均质 6 min)和 5 mL 磷酸盐缓冲液(0.1 mol/L,pH=7.2)混匀。在 37 °C 水浴中,磁力搅拌反应 1 h 后加入体积分数 95% 的乙醇 15 mL 终止酶反应。滴入 2 滴酚酞指示剂(10 g/L),以 0.01 mol/L 的 NaOH 溶液滴定体系中的脂肪酸浓度。同时做阴性对照和阳性对照。阴性对照设不添加酶液,其余反应溶液和操作同上。阳性对照组不添加米糠不溶性纤维,其余反应溶液和操作同上。米糠不溶性纤维对胰脂酶的抑制率计算方法如下:

$$B(\%)=\frac{B_0-(B_1-B_2)}{B_0} \times 100\% \quad (5)$$

式(5)中, B 为抑制率; B_0 为阳性对照组脂肪酸生成量(mol); B_1 为样品组脂肪酸生成量(mol); B_2 为阴性对照组脂肪酸量(mol)。

2 结果与讨论

2.1 碱质量浓度对米糠不溶性纤维组成成分的影响

米糠不溶性纤维的成分测定结果表明酸碱处理后,米糠纤维中的淀粉和蛋白质残留质量分数显

著下降,见表1。在初步的酸处理后,淀粉和蛋白质去除率分别为78.79%和33.88%,在进一步的碱处理中,继续被水解,且随着碱质量浓度的增大,淀粉残留质量分数由10.6%显著降低至4.4%,蛋白质残留质量分数则由15.3%显著降低至4.2%。由此说明酸碱处理过程主要是去除淀粉、蛋白质等非纤维性物质的过程^[20]。与此同时,部分半纤维素和纤维素也会被水解除去。由表1可知,与米糠原料相比,初步的酸处理使半纤维素与纤维素的质量分数均显著

升高,其原因在于随着淀粉和蛋白质等杂质的去除,纤维的纯度提高,半纤维素和纤维素在制备的米糠不溶性纤维样品中所占比例升高,所以半纤维素和纤维素质量分数在初步的酸处理后质量分数均显著增加。在进一步的碱处理过程中,半纤维素相对于纤维素较易被水解,所以随着碱质量浓度增大,半纤维素的水解率逐渐增大,以致其质量分数逐渐降低。则使纤维素所占比重增大,因此半纤维素与纤维素的比例显著下降。

表1 不同碱浓度处理的米糠不溶性纤维干基的化学组成

处理方法	淀粉	蛋白质	半纤维素	纤维素
米糠原料	49.79±2.06 ^a	23.17±1.34 ^a	10.65±1.05 ^a	9.32±2.12 ^a
0.0 g/dL KOH	10.56±1.02 ^b	15.32±0.05 ^b	15.52±2.01 ^b	32.67±2.04 ^b
0.2 g/dL KOH	8.27±0.17 ^{bc}	4.19±0.04 ^{cc}	11.05±1.12 ^a	50.96±1.05 ^c
0.8 g/dL KOH	5.26±0.25 ^{cd}	2.12±0.01 ^d	8.67±0.67 ^a	53.45±1.04 ^c
1.25 g/dL KOH	4.35±0.04 ^d	2.07±0.02 ^d	7.14±0.35 ^a	54.37±0.86 ^c

注:同一列中,不同的上标小写字母表示同一列中数值具有显著性差异($P<0.05$)。

通过对上述米糠不溶性纤维的成分组成进行分析得出,酸碱处理的参数不同,淀粉和蛋白质等杂质的去除率不同,半纤维素和纤维素被水解的程度不同,由此会不同程度地改变米糠不溶性纤维结构,从而影响纤维的持水力、持油力和膨胀力及其生理功能^[21]。

2.2 碱质量浓度对米糠不溶性纤维物理性质的影响

在上述对米糠不溶性纤维成分随碱处理程度的变化规律进行分析的基础上,在此总结了米糠不溶性纤维的物理性质随着与其成分变化之间的关系,见表2。

表2 不同碱质量浓度对米糠不溶性纤维物理性质的影响

Table 2 Effects of different alkaline concentrations on the physical properties of rice bran insoluble fiber

处理方法	持水力/(g/g)	持油力/(g/g)	膨胀力/(mL/g)
0.0 g/dL KOH	21.35±0.91 ^a	3.48±0.10 ^a	2.65±0.37 ^a
0.2 g/dL KOH	16.04±1.69 ^b	4.83±0.08 ^b	3.33±0.08 ^a
0.8 g/dL KOH	13.68±1.59 ^b	4.92±0.10 ^b	5.89±0.12 ^b
1.25 g/dL KOH	12.77±0.37 ^b	6.72±0.45 ^c	4.43±0.35 ^c

注:同一列中,上标不同小写字母表示同一列中数值具有显著性差异($P<0.05$)。

米糠不溶性纤维的持水力随着碱处理程度的增大,呈下降趋势。这可能是由于碱处理强度增大,

米糠纤维中具有吸水溶胀能力的半纤维素逐渐被水解,质量分数下降,纤维的亲水基团逐渐减少,则持水力呈现下降趋势。另外,高质量浓度的碱处理,使纤维完整的组织结构断裂而变得太松散,以致其不能稳定地持留所吸收的水分,这也可能是纤维持水力下降的一个原因,但与其他研究中报道的麦麸膳食纤维的持水力(2.5~4.5 mL/g)^[20]相比,米糠不溶性纤维仍表现出较高的持水能力。此外,反复浸泡冲洗和频繁的热处理,会使可溶性纤维质量分数降低,这也可能是导致膳食纤维的持水力和膨胀力明显降低的原因^[22-23]。

由表2可知,米糠不溶性纤维的持油力随着碱质量浓度的增大而显著提高,这可能与亲水基团的减少和更多疏水区的暴露有关。因为较高质量浓度的碱处理,具有亲水能力的部分半纤维素被水解,亲水性基团减少,则纤维的疏水性增加,有利于吸附油脂。另外淀粉和蛋白质的去除使纤维紧实的结构变得松散,产生更多的毛细孔,有益于更多的油进入纤维的疏水区,从而使纤维表现出更高的持油力,这与黄冬云等^[24]的研究结果相似。并且,与其他研究中报道的果蔬纤维的持油力相比,米糠不溶性纤维的持油力显著高于果蔬纤维^[25-28],这使得米糠不溶性纤维呈现出更高的调节血脂的潜在能力。

米糠不溶性纤维的膨胀力随着碱处理强度的增大,呈现出先升高后下降的趋势。其升高的原因可能在于更多的淀粉和蛋白质被较高质量浓度的碱水解去除后,纤维的组织结构变得松散,孔隙率增加,从而有利于纤维溶胀^[21]。但是过高质量浓度的碱处理导致半纤维素和纤维素水解过度,纤维组织结构被过度破坏,纤维断裂成更小的片段以致没有稳定的结构吸水膨胀,从而使纤维膨胀力降低。有关报道^[29]证实了,对不溶性膳食纤维含量较高的物料进行适度的超微粉碎后,会使其孔隙率相对增大,则膨胀力随之增大。但是,过度的超微粉碎会使纤维的网状结构被破坏,从而致使纤维膨胀力有减小的趋势。

总体而言,KOH 质量浓度过低或过高均不能使米糠不溶性纤维的持水力、持油力和膨胀力达到比较平衡的水平。由结果可得 0.8 g/dL 的 KOH 处理制备的米糠不溶性纤维的综合性质最佳,其持水力、持油力和膨胀力都达到了较理想的水平。

2.3 羧甲基化改性对米糠不溶性纤维结构的影响

纤维羧甲基化是将纤维表面的羟基进行醚化,引入羧甲基,从而增加纤维的亲水性和可溶性。在对上述所得米糠不溶性纤维的物理性质进行分析总结的基础上,为了显著改善米糠不溶性纤维的亲水性与可溶性,以此提高其功能性质,最终选择了持水力最差的纤维样品进行羧甲基化改性。

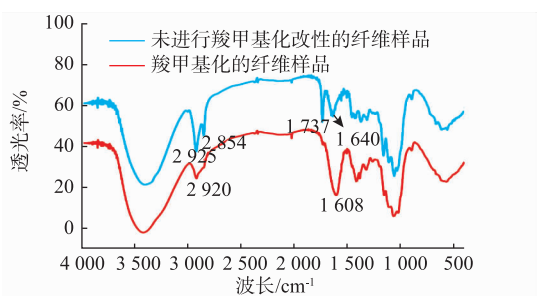


图1 米糠不溶性纤维羧甲基化前后的红外图

Fig. 1 FTIR spectra of rice bran insoluble fiber before and after carboxymethylation

由于米糠不溶性纤维的功能性质与其结构有密切关系,因此本试验中首先对羧甲基化前后的米糠不溶性纤维的微结构进行了红外光谱分析。如图1所示,在米糠纤维的红外图谱中,2 925 cm^{-1} 和 2 854 cm^{-1} 处的特征峰表示 C-H 伸缩振动和弯曲振动的吸收峰。经过羧甲基化改性后,2 925 cm^{-1} 处

的特征峰向低波数方向移动,而 2 854 cm^{-1} 的特征峰几乎消失,这表明羧甲基化使米糠纤维中亚甲基数量有所改变。与未经羧甲基改性的米糠纤维的红外图谱相比,在羧甲基化米糠纤维的图谱中,代表羰基吸收峰的 1 737 cm^{-1} 和 1 640 cm^{-1} 处的特征峰^[30]均未出现,而在 1 608 cm^{-1} 处产生了新的代表羧基的特征峰^[31],表明米糠膳食纤维经过羧甲基化后,羧基数量有所增加,羧甲基化成功。

2.4 羧甲基化改性对米糠不溶性纤维理化性质的影响

持水力和膨胀力是评价膳食纤维功能性质的2个重要指标。很多研究表明,具有较高持水力的膳食纤维可以增加人体排便的体积和速度,使毒物迅速排出体外,减轻直肠内压力,同时也减轻泌尿系统的压力,从而缓解诸如膀胱炎、膀胱结石和肾结石这类泌尿系统疾病的症状^[31]。膳食纤维的膨胀力大则会在机体肠道内产生较大的容积作用,引起饱腹感,起到防治肥胖症的作用。此外,膳食纤维具有较高的持油力,可以有效吸附膳食中的油脂,降低人体热量的摄入量,从而起到预防肥胖的作用。纤维的功能基团和结构的变化势必会对其理化性质产生影响,由此,本试验总结并分析了羧甲基化对米糠不溶性纤维的持水力、持油力和膨胀力的影响,见表3。

表3 羧甲基化改性对米糠不溶性纤维物理性质的影响

Table 3 Effect of carboxymethylation on the physical properties of rice bran insoluble fiber

处理方法	持水力/ (g/g)	持油力/ (g/g)	膨胀力/ (mL/g)
质量分数 1.25% H_2SO_4 + 1.25 g/dL KOH	12.77±0.37	6.72±0.45	4.43±0.35
羧甲基化	25.42±3.19	7.51±0.08	7.18±0.20

由表3可知,米糠不溶性纤维经羧甲基化后,持水力、持油力和膨胀力均有所提高,尤其持水力提高了约1倍,膨胀力提高了62.1%,持油力提高了11.8%。羧甲基化使米糠不溶性纤维持水力和膨胀力提高的原因在于纤维表面的某些羟基与羧甲基发生醚化反应后引入了羧基,羧基具有较强的亲水性,从而有利于纤维结合更多的水而充分溶胀^[33]。此外,亚甲基的引入,增加了纤维的疏水区,有利于更多的油渗入,因此羧甲基化的米糠不溶性纤维也表现出较高的持油力。

2.5 羧甲基化对米糠不溶性纤维抑制淀粉酶和胰脂酶活性的影响

糖尿病主要指身体失去了正常消化和使用来自食物的糖分以及淀粉的能力,而导致血液中出现异常数值的现象。因此控制葡萄糖和淀粉的摄入量或降低淀粉的消化率成为目前防治糖尿病的主要手段。同理,抑制脂肪酶的活性,最终降低脂肪的消化吸收率,可以有效控制肥胖症的发病率。本文作者利用米糠不溶性纤维作为酶抑制因子,并采用羧甲基改性方法,改善米糠不溶性纤维的物理性质,以期提高其对淀粉酶和胰脂酶的抑制作用。

米糠不溶性纤维羧甲基化前后对淀粉酶和胰脂酶的作用结果如表4所示。米糠不溶性纤维经羧甲基化后,对淀粉酶活性的抑制率降低了66.66%,这与Park等^[13]报道的羧甲基化前后的大麦膳食纤维对淀粉酶的作用结果类似。其可能原因在于羧甲基化使纤维的可溶性增加,作用于淀粉酶的不溶性膳食纤维总量减少,以致对淀粉酶的抑制作用减弱。由此说明,可溶性较高的纤维防治糖尿病的主要机理可能并不在于抑制淀粉酶的活性,而在于增加消化体系的黏度,阻碍淀粉与淀粉酶的接触和葡萄糖的扩散。

表4 羧甲基化前后米糠不溶性纤维对淀粉酶和胰脂酶抑制作用的变化

Table 4 Effect of carboxymethylation on the inhibiting capacities of rice bran insoluble fiber against α -amylase and porcine pancrease lipase

处理方法	淀粉酶活性抑制率/%	胰脂酶活性抑制率/%
质量分数 1.25% H ₂ SO ₄ + 1.25 g/dL KOH	57.35±2.08	24.40±1.2
羧甲基化	19.12±2.08	86.73±2.7

参考文献:

- [1] ABDUL H A, LUAN Y S. Functional properties of dietary fiber prepared from defatted rice bran[J]. *Food Chemistry*, 2000, 68(1):15-19.
- [2] WANG Weihua, HUANG Li, LIU Chengmei, et al. Effect of rice bran dietary fiber on texture properties of fortified rice[J]. *Food & Machinery*, 2011, 27(3):16-18, 31. (in Chinese)
- [3] KIM J S, GODBER J S, PRINAYWIWATKUL W. Restructured beef roasts containing rice bran oil and fiber influences cholesterol oxidation and nutritional profile[J]. *Journal of Muscle Foods*, 2000, 11(2):111-127.
- [4] KIM K M, YU K W, KANG J H, et al. Anti-stress and anti-fatigue effects of fermented rice bran[J]. *Phytotherapy Research*, 2002, 16(7):700-702.
- [5] XU Shulai. Influence of extrusion on diet fiber indefatted rice bran[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*,

由表4可知,米糠不溶性纤维经羧甲基化改性后,对胰脂酶的活性抑制率提高了255.45%。由此可知,羧甲基的引入可以使米糠不溶性纤维更加有效地抑制胰脂酶的活性,并且显著高于Chau等^[32]报道的采用超微粉碎法改性的胡萝卜不溶性纤维。羧甲基改性提高米糠不溶性纤维对胰脂酶的抑制能力的可能机理有:羧基的引入使纤维容易酶发生静电相互作用,增加纤维对酶的吸附作用,阻碍酶与底物的接触,降低酶的作用能力。另外,静电相互作用也会改变酶的天然构象,从而使酶的活性降低。此外,羧甲基化改性使纤维亲水性增加,则纤维对油脂体系的吸附能力相对减弱,抑制了底物与酶的接触,从而降低了酶对底物的水解率^[33]。

3 结语

本文作者采用酸碱处理方法,通过研究不同质量浓度的碱处理对米糠成分和物理性质的影响,发现随着碱质量浓度的增大,米糠中的淀粉和蛋白质逐渐被水解去除,部分半纤维素被水解,米糠纤维的亲水基团减少,从而使所得米糠不溶性纤维持水力逐渐降低。相反地,随着淀粉和蛋白质的水解,纤维的结构变得疏松,有利于更多的油渗入纤维疏松的疏水区,从而使其持油力逐渐升高。米糠不溶性纤维经过羧甲基改性后,其较差的持水力和膨胀力得到了显著提高,而且持油力也有所提高。并且由于羧基的引入,增强了米糠不溶性纤维与胰脂酶之间的静电相互作用,增加了纤维对胰脂酶的吸附能力,抑制了酶与底物的接触几率,并且酶的天然构象也被改变,从而使羧甲基化米糠不溶性纤维对胰脂酶的抑制作用更强。然而,羧甲基改性的米糠不溶性纤维对淀粉酶的抑制作用减弱,可能与作用于淀粉酶的膳食纤维总量减少有关。

- 2009,24(2):134-138.(in Chinese)
- [6] NIU Guangan,ZHANG Fuqiang,WANG Qunxue, et al. [J]. **Cereals and Oils Processing**,2009(10):104-107.(in Chinese)
- [7] LI Lun,ZHANG Hui,GAO Yunzhong. Studies on compositions and physico-chemical properties of dietary fiber in different particle sizes prepared from defatted rice bran[J]. **Cereal & Feed Industry**,2008(12):17-19.(in Chinese)
- [8] MIN Rui,HE Yunhai,YAO Xiaomin. Present situation and prospect on study of dietary fiber[J]. **Journal of Shanghai Teachers University (Natural Sciences)**,1998,27(3):68-74.(in Chinese)
- [9] 金建昌. 茭白壳中不溶性膳食纤维的研究[D]. 杭州:浙江大学,2006.
- [10] CHAU C F,HUANG Y L,LEE M H. In vitro hypoglycemic effects of different insoluble fiber-rich fractions prepared from the peel of *citrus sinensis* L. cv.Liucheng[J]. **Agricultural and Food Chemistry**,2003,51:6623-6626.
- [11] OU S Y,KWOK K C,LI Y, et al. In vitro study of possible role of dietary fiber in lowering postprandial serum glucose[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2001,49:1026-1029.
- [12] WANG Yiyi,LIN Weichuang,GAI Chunhui, et al. Optimization of technology for preparing dietary fiber from defatted rice bran [J]. **China Oils and Fats**,2009,34(10):62-65.(in Chinese)
- [13] PARK K H,LEE K Y,LEE H G. Chemical composition and physicochemical properties of barley dietary fiber by chemical modification[J]. **International Journal of Biological Macromolecules**,2013,60:360-365.
- [14] XIONG Sumin,ZUO Xiufeng,ZHU Yongyi. Determination of cellulose,hemi-cellulose and lignin in rice hull[J]. **Cereal & Feed Industry**,2005,8:40-41.(in Chinese)
- [15] MIAO Xin,ZHANG Hui,LI Lun, et al. Optimization of dietary fiber extraction from defatted rice bran by response surface methodology[J]. **China Oils and Fats**,2009,34(6):64-68.(in Chinese)
- [16] SANGNARK A,NOOMHORM A. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse[J]. **Food Chemistry**,2003,80(2):221-229.
- [17] CHEN Cunshe,LIU Yufeng. Effect of super micro-milling on physical and chemical property of wheat germ dietary fiber[J]. **Food Science and Technology**,2004(9):88-90.(in Chinese)
- [18] YEH H Y,SU N W,LEE M H. Chemical compositions and physicochemical properties of the fiber-rich materials prepared from *Shoyu* mash residue[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,2005,53:4361-4366.
- [19] YANG J J,MA X X,ZHANG Z S, et al. Lipase immobilized by modification-coupled and adsorption-cross-linking methods:A comparative study[J]. **Biotechnology Advances**,2010,28:644-650.
- [20] SHAO Peilan,LI Wenxia,XU Ming. Different extracting method influences on the property of dietary fiber from wheat bran[J]. **Food Science and Technology**,2003,11:98-100.(in Chinese)
- [21] CHEN J J,ZHAO Q S,WANG L W, et al. Physicochemical and functional properties of dietary fiber from maca (*Lepidium meyenii* Walp.) liquor residue[J]. **Carbohydrate Polymers**,2015,132:509-512.
- [22] ZHANG Yuqian,ZHAO Naifeng,WANG Chengzhong, et al. Research on functional properties and modification of dietary fiber [J]. **Grain Processing**,2010,35(5):37-39.(in Chinese)
- [23] TU Zongcai,LI Jinlin,WANG Jingqin, et al. The research in the development of highly active soybean dietary fiber with microorganism fermentation method[J]. **Science and Technology of Food Industry**,2005(5):49-51.(in Chinese)
- [24] HUANG Dongyun,QIAN Haifeng,YUAN Huaning, et al. Study on xylanase enzyme modified the rice bran dietary fiber and its functional properties[J]. **Food and Fermentation Industries**,2013,39(12):30-34.(in Chinese)
- [25] FEMENIA A,LEFEBVRE C,THEBAUDIN Y, et al. Physical and sensory properties of model foods supplemented with cauliflower fiber[J]. **Journal of Food Science**,1997,62:635-639.
- [26] FIGUEROLA F,HURTADO M L,ESTEVEZ A M, et al. Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment[J]. **Food Chemistry**,2005,91:395-401.
- [27] GOMEZ O E,JIMENEZ E A,RUPEREZ P. Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the north-western Spanish coast[J]. **Food Research International**,2010,43:2289-2294.
- [28] LOPEZ G,ROS G,RINCON F, et al. Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble fiber of artichoke[J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,1996,44:2773-2778.
- [29] LI Li,WANG Baiou,LUO Cangxue, et al. The study on the modification of dietary fiber[J]. **Fruit and Vegetable Processing**,

- 2007, 3:47-48. (in Chinese)
- [30] CORRALES F, VILASECA F, LLOP M, et al. Chemical modification of jute fibers for the production of green-composites[J]. **Journal of Hazardous Materials**, 2007, 144: 730-735.
- [31] GE Bangguo, WU Maoyu, HE Fatao, et al. Study on the modification apple pomace dietary fiber[J]. **Food Science and Technology**, 2007, 10: 234-237. (in Chinese)
- [32] CHAU C F, WANG Y T, WEN Y L. Different micronization methods significantly improve the functionality of carrot insoluble fibre[J]. **Food Chemistry**, 2007, 100: 1402-1408.
- [33] YE P, HAN Z P, XU Y J, et al. Effect of support surface chemistry on lipase adsorption and activity[J]. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, 2013, 94: 69-76.

科技信息

加拿大从食品添加剂列表中删除环氧乙烷

2017年10月12日,据加拿大卫生部消息,加拿大卫生部发布通告,将环氧乙烷(Ethylene Oxide)定义为农药,移出食品添加剂列表。

据了解,加拿大卫生部曾于6月1日发布相关公告,并设立了75天的评议期。

在完成相关评估后,加拿大卫生部决定将环氧乙烷(Ethylene Oxide)移出《其它用途食品添加剂列表》,将其定为熏蒸剂类农药,按照《杀虫剂法案》进行监管。

1971年10月5日,加拿大将环氧乙烷作为香料熏蒸剂,用于抑制一些病原微生物。之后,在1976年按照《杀虫剂法案》的要求,环氧乙烷仅限香料灭菌与熏蒸。

2013年,加拿大害虫管理局再次对环氧乙烷的安全性进行评估,认为有必要将环氧乙烷移出食品添加剂列表。

本次最新规定自2017年10月12日起生效。

[信息来源]食品伙伴网. 加拿大从食品添加剂列表中删除环氧乙烷 [EB/OL]. (2017-10-16). <http://news.foodmate.net/2017/10/446255.html>