

## 羧甲基豆渣膳食纤维的制备及其性能研究\*

赵国华 曾凯红 阚健全 陈宗道

(西南农业大学食品科学学院 北碚 400176)

**摘 要** 豆渣膳食纤维的最佳制备工艺为:分离提取溶剂 1.0 mol/L 氢氧化钠,料液比 1 g:6 mL,温度 60℃,时间 3 h。脱脂溶剂为丙醇,料液比 1 g:4 mL,温度 25℃,时间 10 h。产品膳食纤维含量 85.39%,产品中的脂肪含量低于 0.98%。羧甲基豆渣膳食纤维制备条件为:温度 40℃,固体氢氧化钠用量为 0.3 mol/L 反应液,一氯醋酸用量为 0.25 mol/L 反应液,碱化 1 h,醚化 2 h。羧甲基取代度为 0.9 时,豆渣膳食纤维中水溶性膳食纤维的含量为 25.03%(约为 1:4)。动物实验表明,羧甲基豆渣纤维比原豆渣纤维有更强的降血糖作用。

**关键词** 豆渣,膳食纤维,羧甲基,降血糖

现代营养学和医学的研究已充分表明,膳食纤维对降血脂、降低食物血糖生成指数、防止便秘与结肠癌有良好的效果<sup>[1]</sup>。且水溶性膳食纤维所占比例为 25%时效果最好。豆渣是大豆制品的主要副产物,其中膳食纤维的含量高达 68%(干基),但常规生产的豆渣膳食纤维一般水溶性很差,这也严重限制了豆渣膳食纤维保健功能的发挥。本研究对豆渣膳食纤维进行了羧甲基化改性处理,并对其物理化学性能和降血糖功能进行了测试,以期生产良好水溶性的高品质豆渣膳食纤维提供实验依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与试剂

新鲜豆渣,由重庆市北碚区五一研究所豆腐加工厂提供;色拉油,重庆油脂公司红蜻蜓牌菜籽色拉油;实验动物,昆明种小白鼠,体重 18~22 g, Wistar 大鼠,体重 200~250 g,由重庆市中药研究所提供。所用试剂均为分析纯。

### 1.2 主要仪器

粘度计(NDJ-79,同济大学机电厂),离心机(LD5-2A,北京医用离心机厂),电子天平(JA2003,上海精密科学仪器有限公司),恒温磁力搅拌器(78HW-1,杭州仪表电机厂)精密 pH 计(DHS-3B,上海精科出品),血糖仪(One Touch Two,美国制造)。

### 1.3 膳食纤维的制备

豆渣膳食纤维制备的工艺为:

新鲜大豆渣→湿热处理→碱解→中和→漂洗→过滤脱水→干燥粉碎过筛→脱脂→漂洗→过滤脱水

→干燥粉碎过筛→漂白→漂洗→过滤脱水→干燥粉碎过筛→成品

### 1.4 水溶性膳食纤维含量的测定

按 AACC32-06 方法测定。

### 1.5 羧甲基化膳食纤维的制备<sup>[2]</sup>

取 1.5 g 豆渣膳食纤维分散悬浮在 5 mL 体积分数 75% 乙醇中,搅拌均匀,然后加入一定量固体 NaOH,激烈搅拌下碱化,加入一定量的氯乙酸,搅拌 30 min 后加热醚化。醚化完成后用乙酸中和至 pH 5.0,置于透析袋中对水透析 3 d 后,将透析内液真空浓缩至最小体积,加 4 倍体积乙醇沉淀,沉淀用无水乙醇反复洗涤,挥发乙醇后,研磨,过筛,得白色粉末状羧甲基豆渣膳食纤维。

### 1.6 羧甲基膳食纤维取代度的测定<sup>[2]</sup>

取 10 mg 羧甲基膳食纤维样品,在 100℃ 干燥 1 h 后转入一锥形瓶中,加入 3 mL 体积分数 70% 的 CH<sub>3</sub>OH,混合后放置 3~5 min。在分别加入 10 mL 水,50 mL 0.5 mol/L 的 NaOH,混合后振荡 3~5 h,直至样品溶解。然后用 0.1 mol/L HCl 滴定,用酚酞显示终点,计算每克羧甲基膳食纤维所需的 HCl 的毫摩尔数(A):

$$A = [V_0 M_0 - (V_2 - V_1)M] / W$$

式中:

$V_0$ ——加入的 NaOH 的体积, mL;

$V_2$ ——样品测定所消耗 HCl 的体积, mL;

$V_1$ ——空白测定所消耗 HCl 的体积, mL;

$M_0$ ——加入的 NaOH 的浓度, mol/L, 本实验中为 0.5 mol/L;

第一作者:博士,副教授。

\* 重庆市科技攻关计划项目资助(No.7812)

收稿时间 2003-03-21

$M$ ——测定所用  $\text{HCl}$  的浓度 ( $\text{mol/L}$ ), 本实验中为  $0.1 \text{ mol/L}$ ;

$W$ ——测定所用样品的质量  $\text{g}$ ;

羧甲基取代度 ( $DS$ ) 按下式计算:

$$DS = 0.162A \div (1 - 0.058A)$$

### 1.7 羧甲基化豆渣膳食纤维物理化学性能的测定<sup>[3]</sup>

羧甲基化膳食纤维的持水力、结合水力、膨胀力、乳化活性和乳化稳定性、粘度和阳离子交换能力按文献 [3] 的方法测定。

### 1.8 羧甲基豆渣膳食纤维降血糖功能测定<sup>[4]</sup>

参考徐淑云及 Harnden 介绍的方法建立大鼠糖尿病模型。将实验性糖尿病大鼠随机分成 6 组, 即空白对照组、阳性对照组和 4 个试验组。单笼饲养, 饮水、饲料采取渐加、渐减的办法, 以次日几乎无剩余为度, 适应 4 d, 从第 5 天起, 每日上午定时在测量血糖后灌喂。其中试验组剂量  $2.5 \text{ mg/kg} \cdot \text{d}$ , 对照组生理盐水  $3 \text{ mL/kg} \cdot \text{d}$ , 阳性对照组盐酸二甲双胍片  $125 \text{ mg/kg} \cdot \text{d}$ , 试验期限 21 d。将 One Touch Two 血糖仪调试好后, 用小刀在大鼠尾部静脉上割一小口, 血顺口流出, 取血充满血糖试纸小孔, 45 s 后读数、记录。取血口应从尾尖部依次向尾根部移动, 一侧用完换另一侧。每日早上同一时间采血, 可粗略认为此时血糖为餐后血糖。

### 1.9 羧甲基豆渣膳食纤维 $LD_{50}$ 测定

选取体重  $18 \sim 20 \text{ g}$  的健康昆明种小鼠, 每组 10 只, 雌雄各半。给样前禁食 16 h。采用等比剂量灌喂一次性给予样品, 7 ~ 14 d 内观察小鼠死亡情况。用改良寇氏法计算  $LD_{50}$ 。

$$LD_{50} = \log^{-1} [\lg M - \lg \alpha (\sum p - 0.05)]$$

式中:

$M$ ——最大给样剂量  $\text{mg/kg} \cdot \text{d}$ ;

$\alpha$ ——剂量之间相差倍数;

$p$ ——每组小鼠死亡率。

### 1.10 数据分析

利用 SPSS 软件系统进行反复比较。Duncoms 极差分析表水平设定为  $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.001$ , 实验数据取 3 次平均值。

## 2 结果与讨论

### 2.1 豆渣膳食纤维的制备

对豆渣膳食纤维的制备工艺进行了优化研究, 研究结果表明, 提取豆渣膳食纤维的最佳工艺参数为: 提取溶剂  $1.0 \text{ mol/L NaOH}$  料液比  $1 \text{ g}:6 \text{ mL}$ , 温度  $60^\circ\text{C}$ , 提取时间  $3 \text{ h}$ , 产品膳食纤维含量  $85.39\%$ 。膳食纤维脱脂的最佳工艺参数为: 脱脂溶剂丙酮, 料液

比  $1 \text{ g}:4 \text{ mL}$ , 温度  $25^\circ\text{C}$ , 时间  $10 \text{ h}$ , 产品中的脂肪含量低于  $0.98\%$ 。经过此工艺制备的豆渣膳食纤维为浅黄色, 有些研究者研究了膳食纤维的漂白工艺, 本研究认为此工艺完全可以省略。

### 2.2 羧甲基豆渣膳食纤维的制备

对羧甲基豆渣膳食纤维的制备工艺参数进行了研究, 研究发现改性温度为  $40^\circ\text{C}$ , 固体  $\text{NaOH}$  用量为  $0.3 \text{ mol/L}$  反应液, 一氯醋酸用量为  $0.25 \text{ mol/L}$  反应液, 碱化  $1 \text{ h}$ , 醚化  $2 \text{ h}$ ,  $\text{NaOH}$  和一氯醋酸的添加方式是先添加  $1/3$  用量的  $\text{NaOH}$ , 碱化后再将剩余的  $\text{NaOH}$  和一氯醋酸同时加入。上述条件下可制备出取代度为  $1.11$  的羧甲基豆渣膳食纤维。

### 2.3 羧甲基化对豆渣膳食纤维水溶性的影响

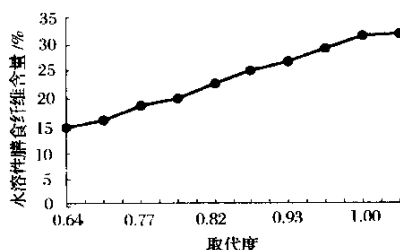


图 1 羧甲基化对豆渣膳食纤维水溶性的影响

由图 1 可知, 随着豆渣膳食纤维羧甲基化程度的不断提高, 其水溶性也得到显著提高, 当取代度达到  $1.0$  时, 水溶性豆渣纤维所占的比例高达  $31.75\%$ 。由此可见, 羧甲基化对改善豆渣膳食纤维的水溶性效果明显。取代度为  $0.9$  时, 水溶性膳食纤维的含量为  $25.03\%$  (约为  $1:4$ ), 以下研究就以取代度为  $0.9$  的羧甲基豆渣膳食纤维为试样进行测试。

### 2.4 羧甲基化对豆渣膳食纤维物理化学性能的影响

表 1 羧甲基化对豆渣膳食纤维物化性质的影响

理化性质	原豆渣纤维	羧甲基豆渣纤维
持水力/ $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	$3.5 \pm 0.19$	$5.6 \pm 0.13^{**}$
结合水力/ $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	$5.25 \pm 0.15$	$6.36 \pm 0.09^{**}$
膨胀力/ $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	$7.0 \pm 0.07$	$5.3 \pm 0.15^{**}$
结合油力/ $\text{mL} \cdot \text{g}^{-1}$	$4.54 \pm 0.07$	$4.32 \pm 0.12$
乳化活性/%	$18.43 \pm 0.16$	$19.87 \pm 0.08$
乳化稳定性/%	$16.73 \pm 0.09$	$16.54 \pm 0.12$
粘度/ $\text{mPa} \cdot \text{s}$	$2.26 \pm 0.05$	$5.57 \pm 0.04^{**}$
阳离子交换力/ $\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1}$	$0.32 \pm 0.04$	$0.67 \pm 0.03^{**}$

注:  $^{**}$ :  $P < 0.01$ ,  $^{*}$ :  $P < 0.05$ 。

由表 1 可以看出, 羧甲基化对豆渣膳食纤维的结合油力、乳化活性、乳化稳定性无明显的影响, 可以使持水力、结合水力、粘度和阳离子交换能力显著

提高( $P < 0.01$ ,  $P < 0.05$ ),但使其膨胀力有所下降 ( $P < 0.05$ )。 2.5 羧甲基豆渣膳食纤维的降血糖作用

表2 羧甲基豆渣膳食纤维降血糖作用

试 样	剂 量	动物数(个)	血糖浓度/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$		降低率/%
			实验前	实验后	
生理盐水	3 mL/kg·d	6	22.13 ± 0.42	21.98 ± 0.75	0.68
盐酸二甲基双胍	125 mg/kg·d	6	23.7 ± 50.69	10.17 ± 0.98 *	57.18
原豆渣纤维	25 mg/kg·d	6	24.18 ± 0.72	18.32 ± 0.72 *	23.23
羧甲基豆渣纤维	25 mg/kg·d	6	25.45 ± 0.68	12.83 ± 0.67 *	49.59

注: \* :  $P < 0.01$ , \* :  $P < 0.05$ 。

由表2可知,原豆渣膳食纤维具有显著降低实验型糖尿病大鼠血糖浓度的作用,经过羧甲基化改性后,豆渣膳食纤维的降血糖作用显著增强,可高达49.54%。这证明羧甲基豆渣膳食纤维是良好的降血糖活性物质<sup>[5]</sup>。

## 2.6 羧甲基豆渣膳食纤维的安全性

表3 豆渣膳食纤维 LD<sub>50</sub>

样 品	原豆渣膳食纤维	羧甲基豆渣膳食纤维
LD <sub>50</sub> /mg·kg <sup>-1</sup>	5 069.76	4 997.89

采用急性毒性实验,测定了原豆渣膳食纤维和羧甲基豆渣膳食纤维的 LD<sub>50</sub>。由表3可知,羧甲基化改性使豆渣膳食纤维的 LD<sub>50</sub>略有下降,但都远远高于1 g/kg,属于安全无毒物质。

## 3 结 论

羧甲基化是提高豆渣纤维作用的良好方法,动物实验也证明,通过改良的增强水溶性的豆渣膳食纤维,其降血糖作用明显加强,且羧甲基化对豆渣纤维的安全性无明显的影响。本研究的成果为进一步高效利用豆渣,开发高品质膳食纤维提供了一条可行的途径。

## 参 考 文 献

- 何锦凤. 食品与发酵工业,1997,5:63~68
- 陈 铃. 食品工业科技,1997,2:9~12
- 郑建仙. 食品科学,1996,7:17~21
- 李八方. 营养学报,1998,1:59~64
- Michael H, Davidson A. Human Nutri Metabol, 1998, 128:1927~1932



## 德国人均果汁消费保持世界第一

据德果汁工业协会(VdF)统计,2002年德果汁销售额为33亿欧元,同比增长6.5%;德国人均年果汁消费量达40.2L,比2001年(40.5L)略有下降,但仍保持人均果汁消费世界第一。西方工业国家人均年果汁消费量为24.4L,美国为35.7L。

2002年德共有463家果汁生产企业,7 500名员工,共加工水果80万t,生产果汁45亿L,进口果汁8亿欧元,出口果汁6亿欧元。德国人最爱喝苹果汁,人均年消费量近12L;其次为橙汁,人均年消费量9.5L。2002年果汁汽水(果汁与苏打水混合成的饮料)在德国销量增长最快,其次为保健饮料和维生素ACE饮料。

## 百事投资3000万美元在华建立非碳酸饮料生产基地

2003年5月20日,百事(中国)投资有限公司宣布,将斥资3 000万美元在广州经济技术开发区建设一座百事在中国最大的非碳酸饮料生产基地。该生产基地将是其在华建立的首家非碳酸饮料基地,用于生产百事公司旗下的果汁、果汁饮料和其他非碳酸系列饮料。

基地占地超过14万m<sup>2</sup>,目前计划安装5条生产线,年生产能力将达到1 000万标箱,产品包括果汁、果汁饮料和其他非碳酸系列饮料。该项目建成后,将成为中国乃至亚洲最大的非碳酸饮料生产基地。