

# 不同生物制备方法对玉米皮膳食纤维组成和功能特性的影响

胡叶碧, 王 璋\*

(江南大学食品学院 教育部食品科学与安全重点实验室, 江苏 无锡 214036)

**摘 要:** 采用不同  $\alpha$ -淀粉酶和蛋白酶从玉米皮中制备了总膳食纤维 (TDF) 含量分别为 88.0% 和 82.8% 的两种膳食纤维 (DF)——DF1 和 DF2, DF1 的 TDF、IDF 和 SDF 分别是玉米皮的 135%、134% 和 172%, DF2 的 TDF、IDF 和 SDF 分别是玉米皮的 127%、126% 和 106%。考察了纤维素酶和木聚糖酶对 DF2 的组成和功能特性的影响。经纤维素酶处理得到膳食纤维 DF3, 其可溶性膳食纤维 (SDF) 含量是 DF2 的 4.02 倍, 其溶胀性 (SW) 和持油性 (OBC) 也得到了显著改善 ( $p < 0.05$ ), 但 HPLC 测定发现 DF3 对胆酸盐的体外结合能力没有得到提高。经木聚糖酶处理制得的 DF4 的不溶性膳食纤维 (IDF) 比 DF2 提高 12%, 其持水性 (WHC)、SW 和 OBC 也都得到显著提高 ( $p < 0.05$ ), 而且 DF4 体外对胆酸钠 (C)、鹅脱氧胆酸钠 (CDC)、脱氧胆酸钠 (DC) 和牛磺胆酸钠 (TC) 的束缚分别是 DF2 的 117%、578%、316% 和 126%。研究发现, 不同方法制备的玉米皮膳食纤维具有不同的 SW、WHC、OBC 和对胆酸盐的结合能力, 淀粉酶、蛋白酶和木聚糖酶复合处理对这些功能特性的改进作用最大。

**关键词:** 生物制备方法; 玉米皮; 膳食纤维; 组成; 功能特性

## Effects of Different Bio-preparations on the Composition and Functional Properties of Corn Bran Dietary Fibers

HU Ye-bi, WANG Zhang\*

(Key Laboratory of Food Science and Safety, Ministry of Education, School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China)

**Abstract:** Two dietary fibers (DF) — DF1 and DF2 were extracted from corn bran using different  $\alpha$ -amylases and proteases, of which the content of total dietary fiber (TDF) were 88.0% and 82.8%. Then the effects of cellulase and xylanase on the composition and functional properties of DF2 were studied. The content of soluble dietary fiber (SDF) of the fiber DF3 made from DF2 by cellulase hydrolysis increased to 402%. The swelling capacity (SW) and oil-binding capacity (OBC) of DF3 increased significantly ( $p < 0.05$ ). But there was no promotion of the binding of bile acids in vitro by DF3 through the determination of HPLC. The content of insoluble dietary fiber (IDF) of the fiber DF4 made from DF2 through xylanase hydrolysis increased to 112% of DF2. The water-holding capacity (WHC), SW and OBC of DF4 all increased significantly ( $p < 0.05$ ). The average binding of Sodium cholate (C), Sodium chenodeoxycholate (CDC), Sodium deoxycholate (DC) and Sodium taurocholate (TC) in vitro by DF4 was 1.66 fold of DF2, especially the binding of hydrophobic bile acids of DC and CDC increased by 316% and 478%. The functional properties of binding of bile acids, SW, WHC and OBC of the dietary fibers made by different methods were quite different as well as their composition. The combination of  $\alpha$ -amylase, protease and xylanase improved these functional properties significantly.

**Key words:** bio-preparation; corn bran; dietary fiber; composition; functional property

中图分类号: TS201.23

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2006)10-0096-04

收稿日期: 2006-08-14

\*通讯作者

作者简介: 胡叶碧 (1972-), 女, 在读博士, 主要从事功能食品的开发和研究。

近年来随着生活水平的提高,人们的膳食结构发生了改变,以动物蛋白为主的高蛋白食品摄入量过多,谷物食品摄取的精细度提高,膳食纤维(DF)摄入比例减少。很多与膳食结构有关的“文明病”发病率上升,例如胆结石、Ⅱ型糖尿病、动脉硬化、高血脂症、肥胖症、顽固性便秘等。上世纪70年代以来,科学家们发现,大量摄入膳食纤维含量高的食品与低的西方文明病发病率有关<sup>[1]</sup>。近年来的研究表明,上述疾病甚至于严重威胁生命的结肠癌都与DF的摄入量不足有关<sup>[2,3]</sup>。

为了制取谷物中的食用纤维,国外从上世纪80年代兴起了食用纤维加工业,大量产品上市。但目前产业化的膳食纤维制备一般采用化学方法,强烈的溶剂处理导致几乎100%水溶性纤维,50%~60%半纤维素和10%~30%纤维素被溶解损失掉,可事实上膳食纤维中起重要生理功能的却是可溶性纤维和半纤维素<sup>[4]</sup>,因此该法使所得纤维的主要生理活性物质损失很大<sup>[5]</sup>,而且环境污染严重。生物方法则因其条件温和,能最大限度地回收有效成分,并且无污染。但膳食纤维不同制备工艺对纤维成品的组成影响较大,不同制备工艺与产品功能间的深层研究至今仍很不充分。本研究采用淀粉酶、蛋白酶及非淀粉多糖酶等不同酶制剂组合的生物方法从玉米皮中制备膳食纤维,初步探讨了不同酶法对玉米皮膳食纤维的组成以及溶胀性、持油力、对胆酸盐的结合等功能特性的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

玉米皮 河南郸城县财鑫集团;水解蛋白酶ALCANASE 3.0L 诺维信中国有限公司;高温-淀粉酶、中温-淀粉酶、糖化酶、1398蛋白酶 无锡酶制剂厂;酸性纤维素酶AE80、中性木聚糖酶NCB77 湖南尤特生化有限公司;胆酸钠(C)、脱氧胆酸钠(DC)、牛磺胆酸钠(TC)、鹅脱氧胆酸钠(CDC) Sigma公司;甲醇为色谱纯,其它试剂为分析纯。

1525 高效液相色谱仪、2996 型二极管阵列检测器 Waters公司;501 型超级恒温器 上海市实验仪器厂;DZG-6050 型真空烘箱 上海森信实验仪器有限公司;DFY-500 型中药粉碎机 温岭市林大机械有限公司;J-26XPI 型高速离心机 贝克曼公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 复合酶法 1

主要工艺路线:原料玉米皮 粉碎过60目筛 浸泡2h 0.4%(对底物干重,后同)中温-淀粉酶、0.12%糖化酶,pH4.5,65℃,1h pH9.0,0.33%水解蛋白酶,50℃,3h 脱色过滤 烘干。所得膳食纤维记为DF1<sup>[6]</sup>。

#### 1.2.2 复合酶法 2

主要工艺流程:原料玉米皮 粉碎过60目筛 浸泡2h 高温-淀粉酶0.2%,100℃,30min pH4.2,0.6%糖化酶,60℃,1h pH7.5,1.33%中性蛋白酶,45℃,1h 95%乙醇收集 过滤、烘干。所得膳食纤维记为DF2<sup>[4]</sup>。

#### 1.2.3 复合酶法 3

主要工艺路线:以DF2为原料 pH4.5,0.5%纤维素酶,50℃,2h 脱色 95%乙醇收集 过滤、烘干。所得膳食纤维记为DF3。

#### 1.2.4 复合酶法 4

主要工艺路线为:以DF2为原料 pH6.4,0.5%木聚糖酶,50℃,4h 脱色 95%乙醇收集 过滤、烘干。所得膳食纤维记为DF4。

#### 1.2.5 膳食纤维成分测定

可溶性膳食纤维(SDF)、不溶性膳食纤维(IDF)、总膳食纤维(TDF)采用AACC32-07法<sup>[7]</sup>;脂肪含量测定采用GB/T5009.6-2003法;水分含量测定采用GB/T5009.3-2003法;蛋白质含量测定采用GB/T5009.5-2003法;淀粉含量测定采用GB/T5009.9-2003法。

#### 1.2.6 胆酸盐结合实验

以各膳食纤维样品及玉米皮为吸附质,以胆酸钠(C)、脱氧胆酸钠(DC)、牛磺胆酸钠(TC)、鹅脱氧胆酸钠(CDC)为吸附底物,考察各底物对不同吸附底物结合能力的差异。

##### 1.2.6.1 胆酸盐溶液的制备

将相应胆酸盐溶于pH6.3的生理盐水中制成20μmol/ml的胆酸盐溶液。

##### 1.2.6.2 体外结合试验

准确称取40mg底物,加入1ml 0.01N HCl,于37℃振荡培养1h,调pH6.3,加入相应胆酸盐溶液5ml(100μmol),密封,置37℃振荡培养1h后,于42000×g离心15min。按同样方法制作空白样品<sup>[8,9]</sup>。

取上清液进行HPLC分析测定溶液中未被膳食纤维束缚住的胆酸盐含量。以空白样品上清液为外标,采用峰面积计量。底物结合能力的计算公式为:

结合量(μmol/100mg干吸附质) = (空白峰面积 - 待测样品峰面积) / 空白峰面积 × 100 × 100 / 40 / (1.0 - 样品水分含量)

##### 1.2.6.3 HPLC 条件

色谱柱 Waters Sunfire C<sub>18</sub>柱(颗粒大小为5μm,4.6mm × 150mm);柱温35℃;进样量10μl;检测波长220nm监测C、DC和CDC,205nm监测TC;流速0.8ml/min;流动相洗脱C、DC和CDC采用甲醇/20%甲醇/三氟乙酸(85:15:0.04),洗脱TC采用甲醇/0.04%

KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(80:20)。

1.2.7 持水性(WHC)测定 采用文献[10]的方法。

1.2.8 溶胀性(SW)测定 采用文献[10]的方法。

1.2.9 持油力(OBC)测定 采用文献[11]的方法。

1.2.10 数据分析

采用 SPSS 13.0 软件的 One-Way ANOVA 进行数据分析, 显著性采用 t - 检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 四种膳食纤维的主要组成

表1 各种方法制得的膳食纤维的组成(各指标除水分外均以干基计)  
Table 1 Main composition of the dietary fibers made by different methods(percentage of dry matter basis except water)

品名	TDF (%)	IDF (%)	SDF (%)	蛋白质 (%)	淀粉 (%)	脂肪 (%)	水分 (%)
DF1	88.03	88.18	1.00	4.07	0.95	2.17	8.01
DF2	82.76	82.9	0.62	5.55	1.26	2.04	6.73
DF3	91.53	89.69	2.49	2.94	0.88	1.79	5.28
DF4	93.86	92.71	2.02	3.19	0.42	0.49	5.42
玉米皮	65.38	65.68	0.58	10.32	17.50	2.65	8.00

各种方法制得的膳食纤维组成见表1。由表1可知, 经酶处理后玉米皮纤维得到了较高的纯化, 其中的TDF、IDF和SDF的最大提高率分别为43.6%、41.2%和42.9%; DF1、DF2、DF3和DF4的残留淀粉分别为5.4%、7.2%、5.0%和2.4%, 说明所用复合酶方法都能有效的去除原料玉米皮中的淀粉, 效果远高于文献报道26.1%的残留<sup>[4]</sup>。酶解后的膳食纤维蛋白质残留不到原料的40%; 脂肪含量下降23.0%以上, 分析其原因有二: (1) 热和碱性条件处理去掉了部分脂肪; (2) 有些脂肪可能为玉米皮细胞脂蛋白的成分, 在蛋白酶水解过程中随蛋白质水解而被除去。

DF1的TDF、IDF和SDF分别是玉米皮的135%、134%和172%, DF2的TDF、IDF和SDF分别是玉米皮的127%、126%和106%。与复合酶法1和2相比, 纤维素酶和木聚糖酶通过增加膳食纤维的IDF和SDF而使TDF得到提高, 这与李凤敏报道的结论一致<sup>[12]</sup>。经纤维素酶处理制得的DF3的SDF含量最高, 分别是玉米皮、DF2和DF4的42.9%、40.2%和12.3%; 而经木聚糖酶处理后制得的DF4的IDF含量最高, 分别是玉米皮、DF2和DF3的141%、112%和103%, 说明纤维素酶对SDF的贡献大于木聚糖酶, 但木聚糖酶提高IDF的能力优于纤维素酶, 由此可推测: 纤维素酶主要是将不溶性纤维素降解成可溶性的葡低聚糖, 木聚糖酶则将不溶性细胞壁半纤维素降解成分子量相对小一些的可溶性半纤维素、不溶性半纤维素和低聚木糖。纤维素酶

和木聚糖酶都在提高SDF的同时促进了淀粉和脂肪从细胞上的分离, 因而相应地提高了IDF纯度, 当然一部分DF4中的IDF可能是细胞壁被木聚糖酶降解而产生的不溶性半纤维素。

纤维素酶和木聚糖酶处理都能降低总蛋白质含量, 说明玉米皮细胞壁上可能存在结构蛋白多糖, 这些蛋白质随细胞壁的部分降解而被释放。

### 2.2 物理性能

表2 不同方法制得的膳食纤维的物理性能(以样品干基计)

Table 2 Physical properties of the dietary fibers made by different methods(on dry matter basis)

制备方法	溶胀性(ml/g)	持水性(g/g)	持油力(g/g)
DF1	1.83±0.07 <sup>bc</sup>	5.16±0.04 <sup>b</sup>	2.67±0.04 <sup>bc</sup>
DF2	1.73±0.08 <sup>ab</sup>	5.01±0.13 <sup>b</sup>	2.50±0.21 <sup>ab</sup>
DF3	2.01±0.13 <sup>c</sup>	5.22±0.11 <sup>b</sup>	2.83±0.20 <sup>bc</sup>
DF4	2.35±0.10 <sup>d</sup>	6.04±0.03 <sup>c</sup>	3.03±0.04 <sup>c</sup>
玉米皮	1.56±0.06 <sup>a</sup>	4.56±0.0 <sup>a</sup>	1.93±0.08 <sup>a</sup>

注: 同一列中带不同字母的表示在5%水平上差异显著(n=3)。

四种方法制备的膳食纤维的持水性、溶胀性及持油力列于表3。从表3中可看出, 两种淀粉酶和蛋白酶复合处理的方法都能显著地提高持水性, 复合酶法1还使DF1的溶胀性和持油力得到显著改善(p<0.05)。与DF2相比, 纤维素酶能较显著地增加产品DF3的溶胀性和持油力(p<0.05), 表明纤维素酶对玉米皮纤维的部分降解作用使得纤维结构变得膨松、溶胀, 更多的疏水基团得到暴露, 从而提高溶胀性和持油力, 但纤维与水的相互作用力并没有得到加强, 所以其持水性变化不大。

经木聚糖酶进一步处理后, DF4的溶胀性、持水性和持油力均显著高于DF2(p<0.05), 说明木聚糖酶对玉米皮细胞壁中的半纤维素存在降解作用, 这一方面使细胞壁结构变得膨松、大量的极性和非极性基团都得到暴露, 同时形成更多的毛细管, 显著地改善纤维与水 and 油的相互作用, 从而提高了溶胀性、持水和持油能力。

### 2.3 对胆酸盐的结合

膳食纤维降血脂功能的主要原因是它在肠道内能与胆酸盐和其它脂类物质结合, 从而抑制后者在肠道的吸收并使其排出体外, 这样需要有额外的胆固醇在体内通过代谢转化成胆酸, 以补偿那些被排掉的部分, 从而减少体内胆固醇, 降低血脂<sup>[13]</sup>。脱氧胆酸钠是疏水性最强的胆汁酸盐, 根据文献统计, 牛磺胆酸钠较难为膳食纤维结合, 而结合牛磺胆酸钠能力强的膳食纤维往往对人体中含量更大的甘氨酸胆酸盐的结合能力更强<sup>[8]</sup>。

原料玉米皮和四种膳食纤维对胆酸盐的结合见图1。由图可知, DF1对胆酸钠、鹅脱氧胆酸钠、脱氧胆酸钠和牛磺胆酸钠的结合能力分别是玉米皮的30%、

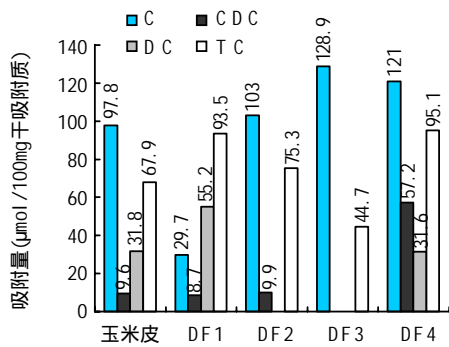


图1 玉米皮及不同方法制备的膳食纤维对胆酸盐的吸附量

Fig.1 The adsorption quantity of corn bran and corn bran dietary fibers made by different methods to bile salt

91%、174%和138%，可见，经中温-淀粉酶、糖化酶和碱性蛋白酶处理后，玉米皮对疏水性较强的次级胆酸盐和结合型胆酸盐的结合能力得到了加强，但对游离型初级胆酸盐的结合却被削弱了。DF2对胆酸钠、鹅脱氧胆酸钠、脱氧胆酸钠和牛磺胆酸钠的结合能力分别是玉米皮的105%、103%、0%和111%，说明高温-淀粉酶、糖化酶和中性蛋白酶复合处理一方面改善了玉米皮膳食纤维对初级结合型胆酸盐的结合能力，同时也使其丧失了对次级胆酸盐脱氧胆酸钠的结合能力。

DF3对胆酸钠的结合提高到了DF2的1.25倍，但它对鹅脱氧胆酸钠和牛磺胆酸钠的束缚都比DF2低，说明纤维素酶虽然能提高DF3的IDF、SDF、溶胀性、持水性和持油力，但对胆酸盐结合这一生理功能却没有积极的贡献。DF4对胆酸盐的整体结合能力最强，优于Story、J. T. S. Kahlon等报道的Alfalfa、木质素、大豆等多种豆类、麦麸等的结合能力<sup>[8,9][14]</sup>。DF4对胆酸钠、鹅脱氧胆酸钠、脱氧胆酸钠和牛磺胆酸钠的结合力分别是玉米皮的124%、596%、99%和140%，是DF2的117%、578%、316%和126%，可见，研究用木聚糖酶能同时有效地改善玉米皮膳食纤维对结合型和游离型胆酸盐的结合，尤其是结合疏水性较强的胆酸盐的能力。由此也不难推理出：膳食纤维束缚胆酸盐的能力与其IDF、SDF的绝对含量不呈比例关系，和溶胀性、持水性、持油力等功能性质之间也没有必然联系，而是由其IDF和SDF的具体组成决定的；对同一来源的膳食纤维来说，其IDF部分和SDF部分组成的差异与其加工工艺密切相关。

膳食纤维与胆酸盐间的相互作用较为复杂<sup>[9]</sup>，本研究中能结合牛磺胆酸钠的DF2和DF3均不能束缚脱氧胆酸钠，DF2对鹅脱氧胆酸钠的结合也不高，说明这两种膳食纤维与胆酸盐之间可能以亲水相互作用为主；原料玉米皮、DF1和DF4能同时结合脱氧胆酸钠和牛磺胆酸钠，说明它们能同时通过疏水相互作用和亲水相互作用

与胆酸盐结合；但造成这四种膳食纤维对所考察胆酸盐结合能力差异的具体机理仍有待进一步探讨。

### 3 结论

淀粉酶和蛋白酶结合处理能有效地去除玉米皮中的淀粉、蛋白质等非纤维成分，提高膳食纤维含量；同时，研究用纤维素酶能显著提高玉米皮膳食纤维DF3的溶胀性、持油力和SDF ( $p < 0.05$ )，但不能提高DF3对胆酸盐的体外结合能力；木聚糖酶能使DF4的IDF、持水性、溶胀性和持油力显著地提高 ( $p < 0.05$ )，而且使DF4束缚胆酸钠、鹅脱氧胆酸钠、脱氧胆酸钠和牛磺胆酸钠的能力也得到提高，尤其是对疏水性胆酸盐脱氧胆酸钠和鹅脱氧胆酸钠的结合分别比DF2提高了316%和478%。本研究发现，不同方法制备的玉米皮膳食纤维具有不同的持水性、溶胀性、持油力和结合胆酸盐的能力；淀粉酶、蛋白酶和木聚糖酶复合处理对这些功能性性质的改进作用最大。

### 参考文献：

- [1] Mark L Dreher. Dietary fiber overview in: dietary fiber in health and disease, handbook of dietary fiber[M]. New York: Marcel Dekker, Inc, 2001.
- [2] Position of American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber[J]. Journal of the American Dietetic Association, 2002, 102 (7): 993-1000.
- [3] Burkitt DP. Effect of dietary fibre on stools and transit-times, and its role in the causation of disease[J]. Lancet, 1972, 30: 1408.
- [4] 王遂, 刘芳. 高活性玉米膳食纤维的制备、性质与应用[J]. 食品科学, 2000, 21(7): 22-24.
- [5] 王遂, 李桂春, 宫晓波. 酶法脱淀粉技术用于膳食纤维制取工艺的研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1999, (3): 73-77.
- [6] 张钟, 董永清, 徐丽红, 等. 糯玉米皮渣中膳食纤维的提取、纯化及理化性质研究[J]. 粮食与饲料工业, 2004, (3): 20-22.
- [7] AACC 32-07. Approved methods of the american association of cereal chemists (10th. ed.). St. Paul, MN: The Association, 2000[S].
- [8] Story J, Kri tchevsky D. Comparison of the binding of various bile acids and bile salts in vitro by several types of fiber[J]. J Nutr, 1982, 106: 1292-1294.
- [9] T S Kahlon, G E Smith. In vitro binding of bile acids by bananas, peaches, pineapple, grapes, pears, apricots and nectarines[J]. Food Chemistry, 2006.
- [10] 邵佩兰, 李雯霞, 徐明. 不同提取方法对麦麸膳食纤维特性的影响[J]. 食品科技, 2003, (11): 98-100.
- [11] Sangnark A, Nookhorm A. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fiber prepared from sugar cane bagasse[J]. Food Chemistry, 2003, 80: 221-225.
- [12] 李凤敏. 微生物酶法生产高活性膳食纤维的研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2003. 23.
- [13] 吴雁, 王亦农, 马建标. 水溶性壳聚糖降血脂作用的化学机理(1)—水溶性壳聚糖及其衍生物对胆酸盐的结合能力研究[J]. 高等学校化学学报, 2004, 25(4): 757-761.
- [14] T S Kahlon, G E Smith. In vitro binding of bile acids by blueberries (*Vaccinium* spp.), plums (*Prunus* spp.), prunes (*Prunus* spp.), strawberries (*Fragaria x ananassa*), cherries (*Malpighia punicifolia*), cranberries (*Vaccinium macrocarpon*) and apples (*Malus sylvestris*) [J]. Food Chemistry, 2006.