

## 挤压法生产可溶性燕麦纤维的研究

王常青

朱志昂

(山西大学生命科学系 太原 030006) (山西省粮油科学研究所 太原 030001)

**摘 要** 实验结果显示,当在燕麦麸中加入有机酸时,一部分燕麦淀粉转化为可溶解的膳食纤维(SDF)。正交试验表明,柠檬酸添加量和挤压温度对加工燕麦麸的 SDF 含量有显著影响。如果要获得高 SDF 的燕麦麸产品,挤压条件应控制温度在 180℃,柠檬酸添加量 1%,控制水分在 14%~22%。

**关键词** 可溶性燕麦纤维 挤压蒸煮 正交试验

燕麦是世界八大粮食作物之一,也是我国北方各省重要的小杂粮作物。燕麦(oats)不但营养价值高,而且医学研究证明,常吃燕麦有降血脂、降血糖和减少心血管疾病的作用。所以美国食品和药物管理局许可在商标或广告上宣传燕麦的降低胆固醇、预防心脏病的作用。国内外科学研究认为<sup>[1]</sup>,燕麦的保健功能主要归功于燕麦中可溶性燕麦纤维—— $\beta$ -葡聚糖。它是对人体健康十分有益的一种可溶性膳食纤维(SDF)。这种可溶成分在燕麦麸中的含量远高于燕麦胚乳,在燕麦麸中为 6.6%~11.3%,在去皮的燕麦粉中为 3.0%~5.4%<sup>[2]</sup>。因此,如果将过去认为是废物的燕麦麸进行深加工利用,对开发保健食品或功能食品具有十分广阔的前景。

本文着重研究了不同添加剂在不同挤压蒸煮条件下对燕麦中可溶性膳食纤维含量的影响,为高含量的  $\beta$ -葡聚糖燕麦功能食品的开发奠定了基础。

### 1 试验方法

#### 1.1 试验材料与设备

##### 1.1.1 材 料

燕麦麸,从山西省农科院购得;蛋白酶,(P3910)为美国 Sigma 公司产品;高温  $\alpha$ -淀粉酶(2 万 U/mL)和高转化糖化酶(10 万 U/mL),为无锡星达生物工程有限公司产品;其

他化学试剂均为国产分析纯。

##### 1.1.2 仪器与设备

超级恒温水浴器(501 型),由上海实验仪器厂出品;单螺杆挤压膨化机,由本课题组设计组装,转速 100 r/min,螺杆直径 35 mm,长径比为 8:1,电机功率 4.5 kW;其他设备均为常规。

### 1.2 分析方法

#### 1.2.1 水分测定

按照 GB/T5009.3—1996 测定。

#### 1.2.2 灰分测定

按照 GB/T5009.4—1996 测定。

#### 1.2.3 脂肪测定

按照 GB/T5009.6—1996 测定。

#### 1.2.4 蛋白质测定

按照 GB/T5009.5—1996 测定。

#### 1.2.5 淀粉测定

按照 GB/T5009.9—1996 测定。

#### 1.2.6 可溶性膳食纤维(SDF)的测定

称取烘干恒重的燕麦麸或试样,加入 4 倍的丙酮萃取脱脂 2 次,每次 2 h。然后按照文献[3]中的方法,精确称取样品 0.5 g(精确到 1 mg),加入 20 mL 蒸馏水和 20 mL 浓度为 2 mol/L 的醋酸盐缓冲液。置于具塞试管中,在 120℃(0.1 Mpa)下蒸煮 60 min。取出后加入耐热淀粉酶 200  $\mu$ L,沸水加热 30 min,然后用多孔玻璃坩锅过滤,在得到的滤液中

滴加浓度为 2 mol/L 的醋酸钠,使溶液 pH 值为  $5.1 \pm 0.1$ ,加入 50  $\mu\text{L}$  糖化酶,在 60℃ 下具塞水浴 30 min;用质量分数 0.5% 的 NaOH 调 pH 值到 6.8~7.0 后,加入 20  $\mu\text{L}$  蛋白酶,在 60℃ 具塞水浴 60 min;将酶处理后的样液在 2000 r/min 下离心 20 min,取上清液,残渣水洗后再次离心取上清液,2 次上清液用分子截留为 5000 的透析袋对水透析。

将透析液倒入中性坩锅,105℃ 干燥 18~20 h,恒重,称重坩锅总重  $W_1$ ;在 525℃ 灰化样品 4 h 后,再次称重坩锅重量  $W_2$ 。

$$\text{SDF}(\%) = \frac{W_1 - W_2 - \text{空白值}}{\text{样品重}} \times 100\%$$

空白值 = 净坩锅重量 + 空白对照残渣 - 灰化后的坩锅重量

### 1.2.7 不溶性膳食纤维(IDF)含量计算

$$\text{IDF}(\%) = \frac{\text{样品总重量} - (\text{蛋白质} + \text{脂肪} + \text{淀粉} + \text{灰分} + \text{SDF})}{\text{样品总重量}} \times 100\%$$

### 1.2.8 膨化比的测定

称取 5.0 g 膨化物,放入盛有 100 mL 小米的量筒内,使小米均匀淹没膨化物,此时得到总体积  $V_1$ ,膨化物的体积  $V_2 = V_1 - 100$ ,如果膨化前 5.0 g 物料的体积为  $V_3$ ,则该物料的膨化比为  $V_1 - 100/V_3$ 。

### 1.3 高浓度 SDF 燕麦的制备工艺

燕麦→溶剂脱脂→溶剂回收→配料混合→挤压蒸煮→冷却→粉碎→密封保存。

#### 1.3.1 脱脂

由于燕麦麸中含有 10%~12% 的脂肪及不饱和脂肪酸,为避免它们在加工与贮存中氧化变质并提高膨化度,将燕麦麸用高沸程石油醚在 50~55℃ 下萃取 2 次,每次 1 h。

#### 1.3.2 挤压膨化(蒸煮)

当膨化模具加热到试验要求的温度时,向挤压机中均匀加入经过处理的燕麦麸配料,进料速度保持 10 kg/h。

### 1.4 实验条件的初步筛选

#### 1.4.1 挤压燕麦麸含水量实验

将脱脂燕麦麸调制成 12%~30% 的含

水量,然后,在 165℃ 下挤压,观察挤压膨化物的物理性质。

#### 1.4.2 挤压温度实验

将含水量 16% 的燕麦麸在 140~200℃ 下挤压膨化,观测挤压膨化物的物理性质和 SDF 的含量

#### 1.4.3 加酸挤压膨化试验

分别用质量浓度为 0.5% 的不同食用酸味剂,加入不同配方的燕麦麸中,搅拌均匀并静置 1 h 后,进行挤压、膨化。

### 1.5 正交试验设计

根据初步筛选的实验结果,拟定了  $L_9(3^4)$  正交试验方案(如表 1 所示)。为了简化实验,未考虑因素之间的交互作用。

表 1  $L_9(3^4)$  正交试验方案设计

水 平	样品含水量/%	柠檬酸含量/%	挤压温度/℃
	A	B	C
1	14	0.2	145
2	18	0.5	160
3	22	1.0	180

## 2 结果与讨论

### 2.1 初筛实验条件的确定

#### 2.1.1 原料含水量的确定

初筛试验结果(如表 2 所示)表明,燕麦麸含水量为 12% 时,挤压物会出现焦糊现象,且膨化效果差;水分在 24% 以上时,膨化效果也不佳。因此,将试验限定在含水量 14%~22% 范围内。

表 2 燕麦麸含水量初步试验结果

含水量/%	挤压物颜色	挤压物气味	膨化状态(膨化比)
12	黄棕	有焦糊味	差(1.3:1)
18	灰白	无异味	尚可(1.8:1)
24	灰白	无异味	差(1.2:1)
30	灰	无异味	无法膨化

#### 2.1.2 挤压温度的确定

初步试验表明,挤压温度在 180℃ 以下时,挤压物没有明显的焦糊现象,在此范围内随着温度上升,膨化比和 SDF% 呈上升趋势(如表 3 所示),挤压温度过低不利于 SDF 的增加及挤压操作。因此,挤压温度在 145~

180℃ 范围内较为适宜。

表 3 燕麦麸挤压温度的初步试验结果

挤压温度/°C	挤压物颜色	挤压物气味	SDF/%	膨化比
140	灰白	无异味	13.3	1.3:1
160	灰白	无异味	13.9	1.8:1
180	黄	略有焦糊味	15.0	2.7:1
200	棕	焦糊味严重	10.8	1.7:1

### 2.1.3 酸味剂的确定

据文献报道<sup>[4,5]</sup>,盐酸、磷酸等无机酸及柠檬酸均可在高温挤压反应中做为淀粉水解物合成聚葡萄糖的催化剂。本文分别观察了盐酸、磷酸、柠檬酸和酒石酸 4 种酸对挤压(165℃)蒸煮燕麦麸中 SDF 含量的影响,结果表明(如图 1 所示),以柠檬酸和酒石酸的催化作用最好,而盐酸效果最差。柠檬酸和酒石酸在 0.5% 的添加量时,挤压燕麦麸中 SDF 含量分别为 28.0% 和 29.3%,比加盐酸的挤压燕麦麸(13.2%)增加了 112.11% 和 121.97%。由于酒石酸的苦涩味较重,样品口感差,所以最终选定柠檬酸为挤压燕麦麸的催化剂。

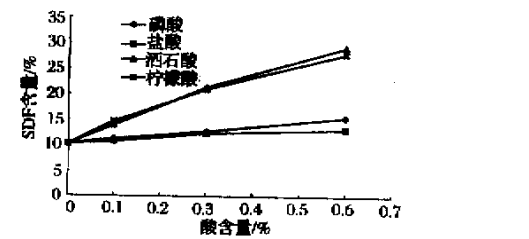


图 1 4 种酸不同添加量对 SDF 含量的影响

### 2.2 正交试验结果分析

一些研究认为<sup>[6,7]</sup>挤压温度和物料含水量都是影响膳食纤维中的不溶部分向可溶部分转化的因素,但通过正交试验及试验的方差分析(如表 4、表 5 所示)可知,物料含水量在 14%~22% 范围时,对挤压燕麦中 SDF 的含量并无显著性影响( $P > 0.05$ ),这与文献[6]报道不同。本试验的方差分析显示,挤压膨化温度对燕麦麸 SDF 含量有显著性影响, $P < 0.05$ ,温度越高,SDF 含量也越高(如图 2 所示)。可能是随着温度升高,纤维素、木聚糖等不溶性纤维裂解为可溶性小分子的速度加快所致。由表 5 的结果可知,柠檬酸对 SDF 含量有显著性影响( $P < 0.05$ );且 SDF 随着柠檬酸添加量的增加而迅速上升(如图 2 所示),但作用机理尚不清楚。极差分析也显示,影响 SDF 含量的主要因素是柠檬酸的添加量和挤压温度。

表 4 正交试验结果

序 号	水平号			SDF /%
	含水量	柠檬酸加量	挤压温度	
1	1	1	1	20.2
2	1	2	2	17.6
3	1	3	3	30.8
4	2	1	2	23
5	2	2	3	28.3
6	2	3	1	26.2
7	3	1	3	24.6
8	3	2	1	25
9	3	3	2	27.9
均值 $K_1$	26.2	22.6	23.8	
均值 $K_2$	25.83	26.97	26.17	
均值 $K_3$	25.83	28.30	27.90	
极差 R	0.37	5.70	4.10	

表 5 方差分析表

方差来源	变差平方和	自由度	方 差	$F_{0.05}(f_1, f_2)$	F 值	显著性	最佳水平
A	0.27	2	0.13	19.00	0.24		$A_1$
B	53.34	2	27.00	19.00	48.39	*	$B_3$
C	25.42	2	12.71	19.00	23.06	*	$C_3$
试验误差	1.10	2	0.55				
总 合	80.39	8					

### 2.3 最佳试验条件下的试验结果及比较

正交试验得出的最佳水平为  $A_1B_3C_3$ ,因此,最终确定最佳试验条件为物料含水量

14%,柠檬酸添加量 1.0%,挤压温度为 180℃。对在该条件下生产的挤压燕麦进行的成分分析,结果表明(如表 6 所示)(1)样

品Ⅲ的SDF比原料燕麦麸Ⅰ提高了195.1%(2)样品Ⅲ的SDF含量比样品Ⅱ提高了96.1%,淀粉含量比样品Ⅱ明显减少,说明前者比后者提高的SDF部分,主要是由于柠檬酸的催化,使部分淀粉转变为可溶性聚葡萄糖所致(3)样品Ⅱ和样品Ⅲ中的不溶性膳食纤维(IDF)均比原料Ⅰ减少,说明挤

压过程可促使部分不溶性膳食纤维(如纤维素等)分解,转化为可溶性膳食纤维。

以上样品及数据均按绝对干物料计算。

试验表明,含1%柠檬酸的燕麦麸在180℃下挤压加工,可获得30%左右的可溶性燕麦纤维,而可溶性膳食纤维的增加既有不溶性纤维转化的因素,也有淀粉分解物在柠檬酸下催化合成的因素。因此本试验为燕麦的深加工提供了依据。

### 参 考 文 献

- 1 Welch Robert W. The Oat Crop Production and Utilization. London: Chapman & Hall, 1995. 285~286
- 2 Uusitupa M I, Miettinen T A, Sarkkinen E S et al. Eur. J. Clin. Nutr. 1997, 51(9): 607~611
- 3 郑建仙. 功能性食品. 北京: 轻工出版社, 1995. 66~72
- 4 Rennhard H H. U.S. Patent 3766165. 1973
- 5 Hwang Jae-hwam. Starch 1998, 50(2~3): 104~107
- 6 钱建亚, 丁霄霖. 食品与发酵工业, 1995, 21(6): 25~26
- 7 Parker J K, Hassell G M, Mottram D S et al. J. Agric. Food Chem. 2000, 48(8): 3497~3506

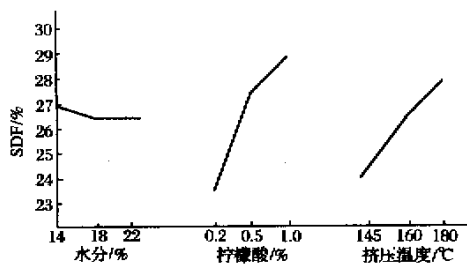


图2 因素指标关系图

表6 燕麦麸挤压前后的成分变化表

编 号	样 品	蛋白质	脂肪 /%	淀粉 /%	灰分 /%	SDF /%	IDF /%
I	未挤压麦麸	21.8	4.2	50.2	3.5	10.3	8.3
II	挤压麦麸 (未加柠檬酸)	21.6	4.5	49.9	3.5	15.5	3.2
III	挤压麦麸 (最佳条件)	22.0	4.4	35.4	3.7	30.4	2.9

## Study on the Extruding Production Method of Soluble Oats Fiber

Wang Changqing<sup>1</sup> Zhu Zhiang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Department of Life Science Shanxi University, Taiyuan, 030006)

<sup>2</sup>(Shanxi Institute of Cereal and Oil Food Science, Taiyuan, 030001)

**ABSTRACT** The results showed that a part of the oats starch had been converted to soluble dietary fiber(SDF) when the organic acid were added to oats bran during extruding and cooking. The orthogonality experiment showed that temperature and the content of citric acid effect markedly for extruding the SDF content of extruding oats bran. If would get the SDF in oats bran to higher, it is necessary to undertake extruding temperature 180℃, 1% of citric acid and 14% of water content.

**Key words** soluble oats fiber, extruding and cooking, orthogonality experiment

## 日本用甘薯叶、茎、根酿制保健酒

日本发明者利用白甘薯的叶、茎、根块作原料,加入适量糖分酿造营养丰富的蒸馏酒与发酵保健酒。

甘薯的茎、叶、根块中富含B族维生素、叶绿素及矿物元素钾、钙、镁等。为保留这些有益成分,先不蒸煮甘薯,而是将其磨碎成浆糊状,压榨成汁,离心分离或过滤,经反复榨汁加酵母一起发酵。或将薯叶、茎、块(切细)蒸煮,糖化发酵酿造蒸馏酒。