

# 豆渣水溶性膳食纤维特性研究

刘昊飞

(黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**通过红外光谱仪、粘度计等对豆渣水溶性膳食纤维(SDF)的特性进行了研究。结果表明:豆渣水溶性膳食纤维为多糖类物质,其持水力为 $8.25\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,溶胀力为 $9.38\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ,结合水力 $7.11\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,阳离子交换能力为 $0.73\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 。豆渣水溶性膳食纤维溶液粘度随剪切速率的增加而降低,呈现假塑性流体。豆渣水溶性膳食纤维有吸附胆酸钠的作用,其添加量越多,溶液中胆酸钠被吸附的量也越多,吸附平衡所花的时间越长。

**关键词:**豆渣; 水溶性膳食纤维; 特性

**中图分类号:**TS209      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2015.01.0122

## Characteristics of Soybean Soluble Dietary Fiber

LIU Hao-fei

(Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** The characteristics of SDF were studied by infrared spectrometer, viscometer and other methods. The results showed that SDF were polysaccharides and the SDF content were about 91.12%. The SDF characteristics were as follows: water holding capacity was  $8.25\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ , swelling capacity was  $9.38\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ , water binding capacity was  $7.11\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ , and cation-exchange capacity was  $0.73\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ . The solution of SDF from soybean dregs were pseudoplastic fluid which viscosity decreased with the increasing of shear rate. The SDF had a certain degree of adsorption of sodium cholate and the experiments showed that the more of the addition of SDF, the more increasing of adsorption, the longer time to be used for adsorption equilibrium. The effects of the concentration, temperature and pH on viscosity and solubility of SDF were also discussed in this paper.

**Key words:** Soybean dregs; Soluble dietary fiber; Characteristics

膳食纤维是在小肠中不能被消化和吸收,在大肠中能被微生物全部或部分利用的植物性食品成分<sup>[1]</sup>。有大量资料表明,高血压、高血脂、肥胖症、冠心病、糖尿病、便秘、结肠癌等都与膳食纤维的摄入量不足有关,膳食纤维在维持人体健康方面有着不可替代的生理作用<sup>[2-4]</sup>。因此,很多科学家将膳食纤维推崇为是继蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素、矿物质和水之后的第七大营养素<sup>[5]</sup>。

从豆渣中提取的水溶性膳食纤维是由多种非淀粉类多糖大分子组成的,是一种多糖混合物。大豆水溶性膳食纤维的化学性质较为稳定,它的功能性主要取决于理化特性,而理化特性又与多糖链的形状和链间的作用力有密切关系<sup>[6]</sup>。因此,本文通过红外光谱仪、粘度计等对豆渣水溶性膳食纤维(SDF)的特性进行了研究,旨在了解大豆水溶性膳食纤维产品的理化特性,为其进一步应用奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及仪器设备

豆渣水溶性膳食纤维(自制)。NDJ-1 旋转式

黏度计 NO. 8222,控温电动搅拌器 JB-3,扫描电镜 S-3400N,FTIR-8400S 红外光谱仪。

### 1.2 方法

1.2.1 豆渣水溶性膳食纤维的制备 称取定量豆渣粉,在 $50^{\circ}\text{C}$ ,pH7.0的条件下酶解1.5 h(1%中性蛋白酶),沸水浴10 min灭酶,冷却后加入水和纤维素酶液(恒温水浴振荡1.5 h),沸水浴(pH3.0)提取2 h,离心过滤,滤液浓缩并以4倍无水乙醇沉淀(静置1 h),离心过滤后干燥<sup>[7]</sup>。

1.2.2 电镜观察 采用离子溅射方法镀金,通过扫描电子显微镜进行分析和观察<sup>[8]</sup>。

1.2.3 红外光谱分析 称取10 mg干燥除水后的SDF样品并与KBr混合研细后压片,在 $400\sim 4\,000\text{ cm}^{-1}$ 区间进行红外光谱扫描<sup>[9-10]</sup>。

1.2.4 功能特性的研究 (1)持水性的测定:豆渣SDF浸泡液(样品1.000 g,过40目筛,蒸馏水75 mL,室温浸泡1 h),过滤待水滴干后称重<sup>[11]</sup>。

$$\text{持水性(WHC)} = \frac{\text{样品湿重(g)} - \text{样品干重(g)}}{\text{样品干重(g)}}$$

(2)溶胀性的测定:豆渣SDF(0.100 g,过40目筛)置于量筒并准确移取5.00 mL蒸馏水,室温

(18±3)℃放置 24 h,读取液体中膳食纤维的体积<sup>[11]</sup>。

溶胀性(SW) = 
$$\frac{\text{溶胀后体积(mL)} - \text{干品体积(mL)}}{\text{样品干重(g)}}$$

(3)结合水力测定:豆渣 SDF 浸泡液(样品 100 mg,4℃的蒸馏水 25 mL)4 500 r·min<sup>-1</sup>离心 1 h,残留物静止(G-2 砂芯坩埚,1 h),称重并干燥(120℃,2 h),再次称重,二者差值即为所结合的水重量<sup>[12]</sup>。

(4)阳离子交换能力测定:豆渣 SDF 浸泡液(样品 300 mg,0.01 mol·L<sup>-1</sup>HCl 溶液 30 mL,4℃下过夜),0.02 mol·L<sup>-1</sup>KOH 进行滴定(以酚酞作指示剂),溶液微红时停止滴定,振摇褪色后继续滴定,如振摇 5 min 仍不褪色则视为终点,计算其阳离子交换能力<sup>[13]</sup>。

1.2.5 粘度特性的研究 (1)粘度测定<sup>[14]</sup>:NDJ-1 旋转式粘度计(2 号转子,60 r·min<sup>-1</sup>)。

(2)剪切作用对豆渣 SDF 溶液粘度的影响:将豆渣 SDF 溶液(浓度为 4%,剪切时间为 5 min)不同剪切速率下的粘度与剪切后放置 30min 的粘度进行对比;将豆渣 SDF 溶液(浓度为 4%,剪切速率为 200 r·min<sup>-1</sup>)剪切一定时间后立即测定其粘度。

(3)浓度对豆渣 SDF 溶液粘度的影响:在 20℃条件下,分别测定豆渣 SDF 溶液(浓度为 2%、4%、6%、8%、10%、12%)的粘度。

(4)温度对豆渣 SDF 溶液粘度的影响:在浓度为 4%的条件下,分别测定豆渣 SDF 溶液(10~90℃,间隔 5℃)的粘度。

(5)pH 对豆渣 SDF 溶液粘度的影响:在浓度为 4%、20℃条件下,分别测定豆渣 SDF 溶液(pH 为 2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0)的粘度。

(6)食盐对豆渣 SDF 溶液粘度的影响:在浓度为 4%、20℃条件下,分别测定豆渣 SDF 溶液(NaCl 浓度为 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1%)的粘度。

(7)蔗糖对豆渣 SDF 溶液粘度的影响:在浓度为 4%、20℃条件下,分别测定豆渣 SDF 溶液(蔗糖浓度为 10%、20%、30%、40%、50%、60%)的粘度,并与空白组进行对比。

(8)酸性条件下加热对豆渣 SDF 溶液粘度的影响:分别在 70 和 100℃,pH 为 3.0、4.0、5.0、6.0 的条件下,测定豆渣 SDF 溶液(浓度为 4%,加热时间分别为 10、20、30、40、50、60 min,冷却至 20℃)粘度的变化。

1.2.6 溶解特性的研究 (1)溶解度的测定:将样品定量溶解在水中,室温搅拌 30 min,离心(3 000 r·min<sup>-1</sup>,20 min)并将上清液倒入已恒重的铝盒,90℃水浴蒸干,105℃烘至恒重<sup>[15]</sup>。

溶解度(S)% = 
$$\frac{\text{定量上清液干燥后的固形物含量(g)}}{\text{所取水体积(mL)}}$$

(2)温度对豆渣水溶性膳食纤维溶解度的影响:在 20~100℃范围内每隔 10℃进行 1 次溶解度测定。

(3)pH 对豆渣水溶性膳食纤维溶解度的影响:在 pH 分别为 3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0 的条件下,进行溶解度测定。

1.2.7 对胆酸钠吸附特性的研究 不同豆渣 SDF(1.0、2.0 及 3.0 g)溶液(0.15 mol·L<sup>-1</sup>NaCl 溶液 100 mL,含 0.2 g 胆酸钠,pH 为 6.0),37℃恒温下电磁搅拌反应 1、2、3、4、5、6 h 后,移取 1 mL 样液,测定其中胆酸钠的浓度并计算反应前后溶液中胆酸钠的浓度差,同时做空白试验。胆酸钠含量测定采用糠醛比色法<sup>[16]</sup>。

1.3 数据处理

采用 SAS 8.0 和 Excel 2007 对数据进行处理分析,所有数据均采用 3 次重复平均值。

2 结果与讨论

2.1 电镜观察

如图 1 所示,自制的豆渣 SDF,颗粒微小、结构疏松,颗粒的表面积较大,因此,推测其可能具有良好的持水性、溶解性和吸附能力。



图 1 豆渣水溶性膳食纤维电镜观察  
Fig. 1 The electron micrographs of SDF from soybean dregs

2.2 红外光谱分析

豆渣 SDF 红外扫描结果如图 2 所示,样品红外图谱经过 OMNIC 软件与标准图库进行对比分析,结果表明样品为典型的纤维素特征红外图谱,与标准图库中纤维素特征红外图谱匹配度达 75.55%,样品具有多糖特征吸收峰,在 3 500~3 200 cm<sup>-1</sup>处有宽展圆滑强吸收峰,为-OH 伸缩振动,存在分子间和分子内的氢键。3 000~2 800 cm<sup>-1</sup>处有吸收峰,为 CH<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>、CH 等的 C-H 伸缩振动;在 1 700~1 550 cm<sup>-1</sup>处有吸收峰,为 C=O 伸缩振动;在 1 400~1 200 cm<sup>-1</sup>处有吸收峰,为 CH<sub>3</sub>、CH<sub>2</sub>、CH 等的 C-H 弯曲振动,在这区域的峰是糖类的特征峰。

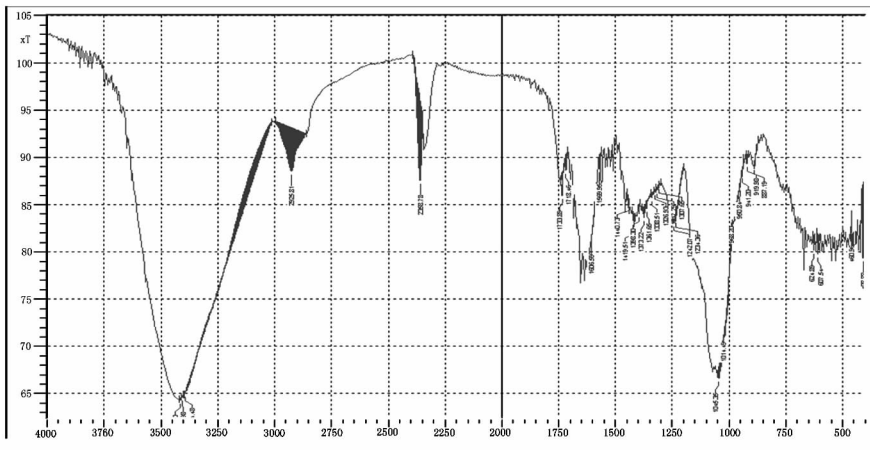


图2 豆渣水溶性膳食纤维的红外图谱图

Fig. 2 Infrared spectrogram of SDF from soybean dregs

2.3 功能特性的研究

由表1可知,豆渣 SDF 的持水力为  $8.25\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,溶胀力为  $9.38\text{ mL}\cdot\text{g}^{-1}$ ,结合水力为  $7.11\text{ g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。豆渣 SDF 的高持水性有利于形成产品的组织结构以防脱水收缩,可以应用在肉制品和焙烤等食品当中,以减少水分和香味的散失。此外,表1的结果还表明豆渣 SDF

具有一定的阳离子交换能力,这种阳离子交换能力可以改变离子的瞬间浓度,起到稀释作用并延长它们的转换时间,从而对消化道的 pH 渗透压以及氧化还原电位产生影响,并出现一个更缓冲的环境以易于人体的消化吸收<sup>[17-18]</sup>。

表1 豆渣水溶性膳食纤维功能特性

Table 1 The function characteristics of SDF from soybean dregs

特性 Characteristics	阳离子交换能力 Cation - exchange capacity/ $\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$	持水力 Water holding capacity/ $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	溶胀力 Swelling capacity/ $\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$	结合力 Water binding capacity/ $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
SDF	$0.73\pm0.02$	$8.25\pm0.21$	$9.38\pm0.15$	$7.11\pm0.18$

2.4 豆渣水溶性膳食纤维溶液的粘度特性

2.4.1 剪切作用对粘度的影响 根据公式  $\eta = \varepsilon^n \times A$  ( $\eta$ ,粘度; $\varepsilon$ ,剪切速率; $A$ ,粘性常数),当  $0 < n < 1$  时,流体为假塑性流体,即表观粘度随剪切速率的增大而减小,也称剪切稀化<sup>[19]</sup>。从图3可知,豆渣 SDF 溶液粘度随着剪切速率的增大而减小,这符合食物性学中假塑性流体的特点。剪切稀化有利于食品加工,它可以改进食物物料的泵送等工艺,使

能量消耗减少。从图3还可看出当消除剪切作用时,溶液静置一段时间后,其溶液粘度与未受剪切作用时相比较接近,表明豆渣 SDF 溶液对剪切具有较好的稳定性。

由图4可以看出剪切时间对豆渣 SDF 溶液的粘度有较大影响,且在剪切最初阶段较明显,主要是由于在剪切力不断作用下纤维多糖缠结的分子结构逐渐被拉直,缠结点逐渐减少,从而表现为粘度下降<sup>[20]</sup>。

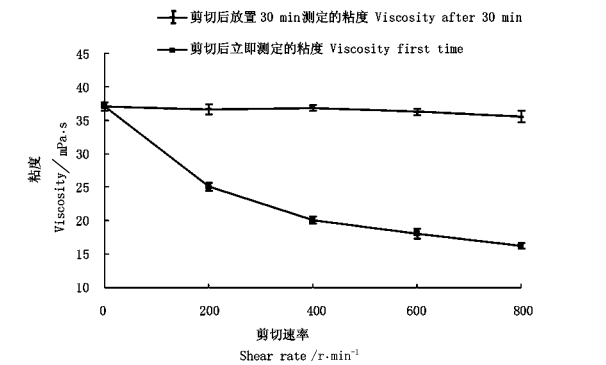


图3 剪切速率对豆渣水溶性膳食纤维溶液粘度的影响  
Fig. 3 Effect of shear rate on the viscosity of SDF solution from soybean dregs

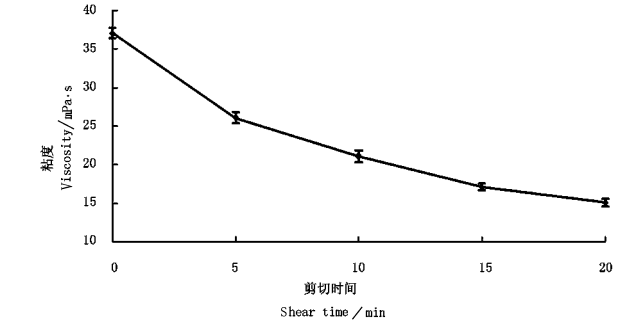


图4 剪切时间对豆渣水溶性膳食纤维溶液粘度的影响  
Fig. 4 Effect of shear time on the viscosity of SDF solution from soybean dregs

2.4.2 浓度对粘度的影响 由图 5 可以看出,豆渣 SDF 溶液的粘度随其浓度的提高而增加,特别是当浓度高于 10% 时,粘度显著增加,这是因为在豆渣 SDF 溶液中随浓度的提高,纤维多糖物质之间的交联、聚合度增大,多糖分子运动受到的阻碍越来越大,因此溶液的粘度也就越大,这符合高分子溶液的粘度特性<sup>[21]</sup>。

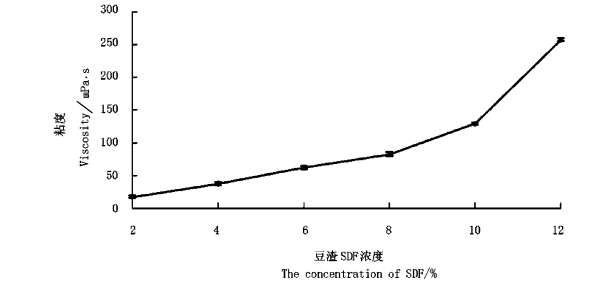


图 5 浓度对豆渣水溶性膳食纤维溶液粘度的影响  
Fig. 5 Effect of concentration on the viscosity of SDF solution from soybean dregs

2.4.3 温度对粘度的影响 由图 6 可以看出,当温度在 10 ~ 50℃ 范围内,豆渣 SDF 溶液的粘度随温度的升高而明显降低,而在 50 ~ 90℃ 范围内,豆渣 SDF 溶液的粘度随温度的升高下降幅度不大,但总体呈明显下降趋势。这主要是在升温过程中分子热运动加快,分子间距离扩大,从而使分子间的粘滞阻力降低,表现为豆渣 SDF 溶液粘度下降,其次,热力作用可能破坏了纤维多糖分子侧链间的氢键和离子键,使得多糖的多聚体结构变成了低聚体,而聚合度的下降导致了粘度的下降<sup>[22]</sup>。

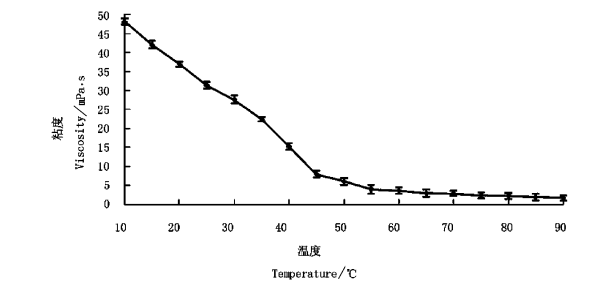


图 6 温度对豆渣水溶性膳食纤维溶液粘度的影响  
Fig. 6 Effect of temperature on the viscosity of SDF solution from soybean dregs

2.4.4 pH 对粘度的影响 从图 7 可以看出,pH 为 7.0 时,豆渣 SDF 溶液的粘度最小。当 pH < 4.0 时,豆渣 SDF 溶液的粘度随 pH 升高略有下降;当 4.0 < pH < 7.0 时,其粘度受 pH 的影响较大,随 pH

的升高溶液粘度下降幅度较大;当 pH 大于 7.0 时,豆渣 SDF 溶液的粘度随 pH 的上升而有所上升。总的来说,豆渣 SDF 溶液粘度受 pH 的影响较大,推测其原因可能是豆渣 SDF 中含有较多羟基和羧基,pH 的变化必将引起多糖分子链内、链间的作用力的改变,表现在宏观上则是其粘度的改变。

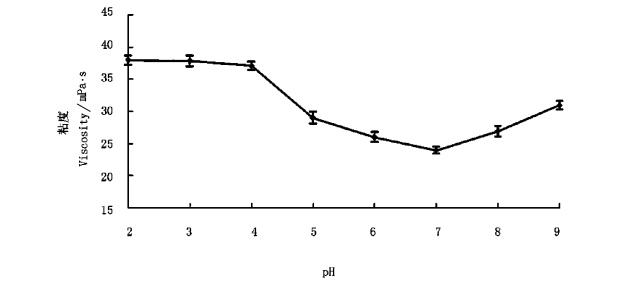


图 7 pH 对豆渣水溶性膳食纤维溶液粘度的影响  
Fig. 7 Effect of pH on the viscosity of SDF solution from soybean dregs

2.4.5 食盐对粘度的影响 由图 8 可知,豆渣 SDF 溶液粘度随着盐浓度的增加而降低,其原因可能是由于钠离子和氯离子的引入,部分地阻断了纤维多糖分子间的交联,从而导致豆渣 SDF 溶液粘度下降<sup>[23]</sup>。

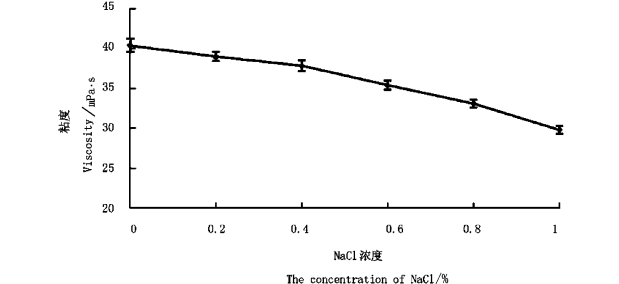


图 8 食盐对豆渣水溶性膳食纤维溶液粘度的影响  
Fig. 8 Effect of NaCl on the viscosity of SDF solution from soybean dregs

2.4.6 酸性条件下加热对粘度的影响 由表 2 可知,在总体趋势上,豆渣 SDF 溶液在加热 10 min 时,其粘度均有所下降,且经过 100℃ 加热冷却至 20℃ 测得的粘度略低于 70℃ 冷却之后的粘度,这说明高温处理对豆渣 SDF 的结构有轻微的破坏作用,从而使其溶液粘度有所下降,但这种破坏在加热 10 min 以后,随着时间的延长无明显变化。另外,在 4 种 pH 条件下,随着加热时间的延长粘度略有降低,其原因可能是在酸性条件下加热会使豆渣 SDF 发生微小的水解作用<sup>[24]</sup>。

表 2 酸性条件下加热对豆渣水溶性膳食纤维溶液粘度的影响								
Table 2 Effect of heating under acidic condgitions on the viscosity of SDF from soybean dregs								
时间 Time/min	pH3.0		pH4.0		pH5.0		pH6.0	
	70℃	100℃	70℃	100℃	70℃	100℃	70℃	100℃
0	38.26 ±0.60 aA	38.31 ±0.36 aA	37.12 ±0.46 aA	37.37 ±0.61 aA	28.13 ±0.73 aA	28.20 ±0.44 aA	25.33 ±0.60 aA	25.03 ±0.60 aA

续表 2

时间 Time/min	pH3.0		pH4.0		pH5.0		pH6.0	
	70℃	100℃	70℃	100℃	70℃	100℃	70℃	100℃
10	36.27 ±0.65 bA	34.33 ±0.67 bB	34.47 ±0.45 bA	33.07 ±0.55 bB	26.00 ±0.61 bA	24.51 ±0.41 bB	23.26 ±0.47 bA	21.21 ±0.44 bB
20	35.47 ±0.90 bA	33.90 ±0.56 bB	33.63 ±0.45 bcA	32.03 ±0.34 cB	25.20 ±0.56 bA	23.92 ±0.45 bB	22.13 ±0.32 cA	21.02 ±0.56 cB
30	35.70 ±0.67 bA	34.20 ±0.56 bB	33.47 ±0.55 cA	32.13 ±0.60 cB	25.47 ±0.51 bA	23.88 ±0.56 bB	22.30 ±0.62 bcA	20.87 ±0.35 cB
40	35.33 ±0.61 bA	33.85 ±0.70 bB	33.36 ±0.61 cA	31.87 ±0.61 cB	25.13 ±0.45 bA	23.90 ±0.47 bB	22.41 ±0.50 bcA	21.07 ±0.60 cB
50	35.21 ±0.66 bA	33.63 ±0.61 bB	33.67 ±0.45 bcA	32.22 ±0.75 cB	25.36 ±0.55 bA	24.01 ±0.46 bB	22.66 ±0.45 bcA	21.36 ±0.45 bcB
60	35.43 ±0.50 bA	33.70 ±0.46 bB	33.33 ±0.55 cA	31.96 ±0.65 cB	25.32 ±0.56 bA	23.95 ±0.55 bB	22.31 ±0.56 cA	20.90 ±0.47 cB

小写字母表示时间水平上的比较;大写字母表示温度水平上的比较(n=3,P<0.05)。  
The lowercase and capital letters indicate the difference of the time and temperature respectively(n=3,P<0.05)。

2.5 豆渣水溶性膳食纤维溶解特性的研究

2.5.1 温度对溶解度的影响 由图 9 可知,豆渣 SDF 的溶解度随温度的增加而提高,表明温度对豆渣 SDF 的溶解性有较显著的影响。在温度为 20~40℃时,其溶解度随温度的变化幅度较小,而温度高于 45℃时,豆渣 SDF 的溶解度显著提高,其原因可能是,热力作用破坏了纤维多糖分子侧链间的氢键和离子键,分子链被切断,使分子量降低,溶解度提高<sup>[23]</sup>。

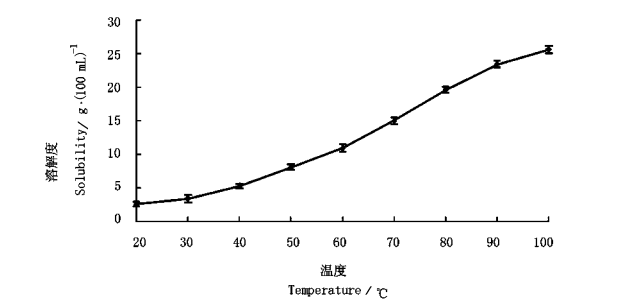


图 9 温度对豆渣水溶性膳食纤维溶解度的影响  
Fig. 9 Effect of temperature on the solubility of SDF from soybean dregs

2.5.2 pH 对溶解度的影响 由图 10 可以看出,在酸性范围内豆渣 SDF 的溶解度随 pH 的增大而明显上升;pH 为中性时,豆渣 SDF 溶解度最大;在碱性条件下,豆渣 SDF 的溶解度随 pH 的增大而有所下降。这是因为同浓度的豆渣 SDF 溶液在酸、碱条件下的粘度远大于中性条件时的粘度(图 7),溶液粘度大使多糖分子扩散受到更大的阻力,所以豆渣 SDF 在中性时的溶解度要大于在酸、碱条件下的溶解度<sup>[22]</sup>。

2.6 对胆酸钠吸附特性的研究

由图 11 可知,随时间的延长,豆渣 SDF 溶液中胆酸钠的含量逐渐降低。豆渣 SDF 添加量越多,溶液中胆酸钠被吸附的量也越多,但是达到吸附平衡

所需的时间也越长。由于在溶液中豆渣 SDF 的添加量不同,各溶液完成吸附作用的时间从 1.0~4.5 h 不等。

豆渣 SDF 可在溶液中展开成网络状结构,从而产生类似交换树脂的作用,可以束缚胆酸。胆汁酸及其盐类物质于豆渣 SDF 在小肠内结合,随粪便排除。这样需要有额外的胆固醇被转化成胆酸以补偿那些被排掉的部分,体内胆固醇因此而减少,从而达到降低血脂水平的目的<sup>[25]</sup>。

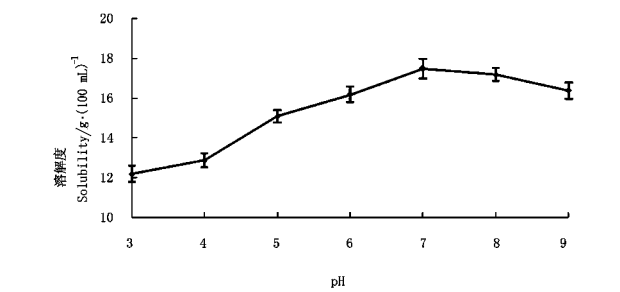


图 10 pH 对豆渣水溶性膳食纤维溶解度的影响  
Fig. 10 Effect of pH on the solubility of SDF from soybean dregs

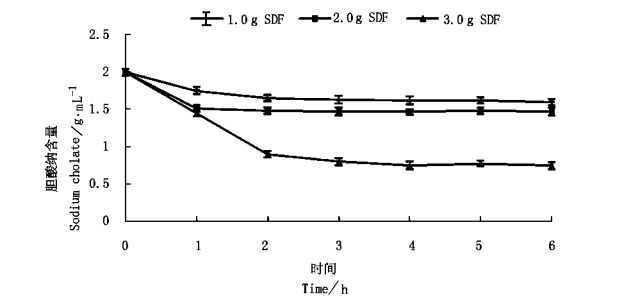


图 11 豆渣水溶性膳食纤维对胆酸钠的吸附  
Fig. 11 The adsorption of sodium cholate on the SDF from soybean dregs

### 3 结 论

根据红外光谱分析,豆渣 SDF 为典型的多糖类物质。豆渣 SDF 的持水力为  $8.25 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,溶胀力为  $9.38 \text{ mL} \cdot \text{g}^{-1}$ ,结合水力为  $7.11 \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,阳离子交换能力为  $0.73 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

豆渣 SDF 溶液粘度随剪切速率的增加而降低,呈现假塑性流体,且对剪切作用具有较好的稳定性。豆渣 SDF 的粘度,随其浓度的增大而增大,随温度的升高而降低,且受 pH 影响较大。豆渣 SDF 溶液粘度随食盐浓度的增加而降低,随蔗糖浓度的增加而升高。豆渣 SDF 在酸性条件下加热,其粘度略有降低,但随时间的延长变化不大。豆渣 SDF 的溶解度随温度的升高而升高,pH 为 7.0 时,其溶解度最大。

豆渣 SDF 有吸附胆酸钠的作用,其添加量越多,溶液中胆酸钠被吸附的量也越多,吸附平衡所花的时间越长。

### 参考文献

- [1] Sangnark A, Nookhorm A. Chemical, physical and baking properties of dietary fiber prepared from rice straw[J]. Food Research International, 2004, 37: 66-74.
- [2] Saura-Calixto F, Garcia-Alonso A, Goni I. *In vitro* determination of the indigestible fraction in foods: An alternative to dietary fiber analysis[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2006, 48: 3342-3347.
- [3] 董文彦,张东平,伍立居,等. 三种膳食纤维降血脂、通便与减肥作用的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2000(2): 40-44. (Dong W Y, Zhang D P, Wu L J, et al. The comparative study and effect reducing weight, reducing blood lipid of three kinds of dietary fibers[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2000(2): 40-44.)
- [4] Devries J W. The definition of dietary fiber[J]. Cereal Foods World, 2001, 46(3): 112-114.
- [5] 卓馨. 食物纤维的生理作用及其在食品中的应用[J]. 食品工业科技, 2005(5): 52-54. (Zhuo X. The physiological effects of dietary fiber and its application in food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2005(5): 52-54.)
- [6] Edwin R M. Assembly and rheology of non-starch poly-saccharides[C]// Barry V M, Leon P. Advanced dietary fiber technology. Iowa State: Blackwell Science Ltd. Edition Officers, 2001: 30-33.
- [7] 管春梅. 豆渣中制取膳食纤维提取技术的研究[J]. 中国卫生检验杂志, 2001, 11(4): 429. (Guan C M. Study on extraction technology of extracting dietary fiber from soybean residue[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2001, 11(4): 429.)
- [8] 马力,张国栋,谢林. 酸凝乳超微结构的电镜观察[J]. 食品科学, 2004, 25(1): 63-66. (Ma L, Zhang G D, Xie L. Electron microscopic observation of the ultrastructure of acid curd[J]. Food Science, 2004, 25(1): 63-66.)
- [9] Zhabankov R G. Vibrational spectra and structure of polysaccharides[J]. Journal of Molecular Structure, 2002, 27(2): 565-584.
- [10] 张塞金,李文权,邓永智. 海洋微藻多糖的红外光谱分析初探[J]. 厦门大学学报, 2005, 44(S): 212-215. (Zhang S J, Li W Q, Deng Y Z. Analysis of infrared spectra of marine microalgae polysaccharide[J]. Journal of Xiamen University, 2005, 44(S): 212-215.)
- [11] 贺连智. 燕麦膳食纤维的制备工艺及物理特性研究[J]. 山东食品发酵, 2007(4): 16-18. (He L Z. Study on preparation and physical characteristics of oat dietary fiber[J]. Shandong Food Ferment, 2007(4): 16-18.)
- [12] 郑建仙,耿立萍,高孔荣. 利用车蔗渣制备高活性膳食纤维添加剂的研究[J]. 食品与发酵工业, 2006(3): 58-61. (Zheng J X, Geng L P, Gao K R. Research by the car of bagasse preparation of high active dietary fiber additive[J]. Food and Fermentation Industries, 2006(3): 58-61.)
- [13] 陈存社,刘玉峰. 超微粉碎对小麦胚芽膳食纤维物化性质的影响[J]. 食品科技, 2004(9): 88-90, 94. (Chen C S, Liu Y F. Effect of micronization on the dietary fiber from wheat germ physicochemical properties[J]. Food Science and Technology, 2004(9): 88-90, 94.)
- [14] 袁玉荪. 生物化学实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005: 21-22. (Yuan Y S. Biochemistry experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2005: 21-22.)
- [15] 徐广超,姚惠源. 豆渣水溶性膳食纤维制备工艺的研究[J]. 河南工业大学学报, 2005, 26(1): 54-57. (Xu G C, Yao H Y. Study on the preparation technology of dietary fiber from soybean residue water solution[J]. Journal of Henan University of Technology: Social Science Edition, 2005, 26(1): 54-57.)
- [16] 陈钧辉. 生物化学实验[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 38-39. (Chen J H. Biochemistry experiment[M]. Beijing: Science Press, 2003: 38-39.)
- [17] 石奇. 复合酶法提取大枣多糖的研究[D]. 西安: 西北大学, 2006: 27-31. (Shi Q. Study on the extraction of jujube polysaccharide compound enzyme method[D]. Xi'an: Northwestern University, 2006: 27-31.)
- [18] 刘树兴. 膳食纤维的特性及制备[J]. 西北轻工业学院学报, 2002(2): 108-109. (Liu S X. Properties and preparation of dietary fiber[J]. Journal of Northwest University of Light Industry, 2002(2): 108-109.)
- [19] 李云飞,殷涌光. 食品物性学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2005: 43-45. (Li Y F, Yin Y G. Physical properties of foods[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2005: 43-45.)
- [20] 陈克复. 食品流变学及其测量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2006: 125. (Chen K F. Food rheology and its measurement[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2006: 125.)
- [21] 华聘聘,刘忠萍. 可溶性大豆膳食纤维的单糖组分分析及物性测定[J]. 中国油脂, 2004, 29(9): 23-27. (Hua P P, Liu Z P. Monosaccharide composition of soluble soybean dietary fiber division transitivity analysis[J]. China Oils and Fats, 2004, 29(9): 23-27.)
- [22] 梁建忠,顾蓓,高红亮,等. 大豆水溶性多糖的黏度性质及其应用研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(S): 143-145. (Liang J Z, Gu R, Gao H L, et al. Study on the properties and application of water soluble soybean polysaccharides[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2007, 22(S): 143-145.)
- [23] 朱美静. 猴头菌多糖的提取及理化性质的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006: 39-44. (Zhu M J. Study on Extraction and physicochemical characters of *Hericium erinaceus* polysaccharide[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006: 39-44.)
- [24] 李庄. 大豆水溶性多糖的提取与应用研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2005: 40-41. (Li Z. Study on extraction and application of water soluble soybean polysaccharides[D]. Shanghai: East China Normal University, 2005: 40-41.)
- [25] 袁尔东,郑建仙. 多功能大豆纤维降脂作用及其机理探讨[J]. 粮食与饲料工业, 2000(7): 46-47. (Yuan E D, Zheng J X. To investigate the function and mechanism of hypolipidemic effect of soybean fiber[J]. Cereal and Feed Industry, 2000(7): 46-47.)