

# 大豆皮可溶性膳食纤维的酶法制备及其理化特性评价

赵伟

(吉林省经济管理干部学院, 吉林 长春 130012)

**摘要:** 以大豆皮为原料, 采用纤维素酶联合半纤维素酶制备大豆皮可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF), 通过单因素及响应面试验设计, 以大豆皮 SDF 得率为考察指标, 优化其酶解工艺, 并测定其持水力、膨胀力及持油力。结果表明, 大豆皮 SDF 最优酶解工艺为料液比 1:20 (g/mL)、酶添加量 0.85%、酶解时间 5 h、酶解温度 45 °C、酶解 pH4.6, 该条件下大豆皮 SDF 得率为 12.17%, 制备的大豆皮 SDF 具有良好的持水力、膨胀力及持油力。

**关键词:** 大豆皮; 可溶性膳食纤维; 酶解; 得率; 理化特性

## Enzymatic Preparation of Soluble Dietary Fiber from Soybean Hull and Evaluation of the Physicochemical Properties

ZHAO Wei

(Jilin Economic Management Cadre College, Changchun 130012, Jilin, China)

**Abstract:** Soluble dietary fiber (SDF) was prepared with soybean hull via cellulase and hemicellulase. Single factor test and response surface design were used to optimize the enzymatic preparation process with the yield of SDF as evaluation index. Then, the water-holding capacity, swelling capacity, and oil-holding capacity of the yielded SDF were measured. The optimum enzymatic hydrolysis process was as follows: solid-liquid ratio of 1:20 (g/mL), enzyme addition of 0.85%, enzymatic hydrolysis time of 5 h, temperature of 45 °C, and pH4.6. Under these conditions, the yield of SDF stood at 12.17%. The prepared SDF has strong water-holding capacity, swelling capacity, and oil-holding capacity.

**Key words:** soybean hull; soluble dietary fiber; enzymatic hydrolysis; yield; physicochemical properties

引文格式:

赵伟. 大豆皮可溶性膳食纤维的酶法制备及其理化特性评价[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 165-170.

ZHAO Wei. Enzymatic Preparation of Soluble Dietary Fiber from Soybean Hull and Evaluation of the Physicochemical Properties[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5): 165-170.

大豆作为我国重要的农作物产品之一, 是豆制品、食用油的主要来源, 目前我国大豆的年消耗量超过亿吨<sup>[1-2]</sup>。大豆皮作为大豆的重要组成部分, 占大豆质量的 5%~10%<sup>[3-4]</sup>, 在大豆加工及利用过程中, 大豆皮通常作为加工副产物, 用于饲料或有机肥, 造成资源的严重浪费<sup>[5-6]</sup>。大豆皮富含纤维素和半纤维素, 是制备膳食纤维的理想原料。膳食纤维根据其溶解性可分为可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)及不可溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF), 其中水溶性膳食纤维含量较低, 水溶性膳食纤维具有调节肠蠕

动、改善肠道菌群、调节血糖、血脂等多种生理功能<sup>[7-11]</sup>。目前 SDF 制备方法主要包括物理法、化学法、酶法及生物发酵<sup>[12-15]</sup>, 其中物理法及化学法成本低、操作简便, 但 SDF 转化率低、品质较差, 同时存在一定污染; 生物发酵制备 SDF 的成本及对设备要求较高; 酶法制备 SDF 反应条件温和、专一性强、转化率高<sup>[16-18]</sup>。目前, 关于酶法制备大豆皮膳食纤维的报道较少。本研究以纤维素酶及半纤维素酶作为水解酶, 利用单因素及响应面试验, 优化大豆皮酶解工艺, 制备大豆皮 SDF 并研究其理化特性, 以期为大豆皮资源综合利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

大豆皮:山东圣旺新材料有限公司;纤维素酶(10万U/g):武汉盛瑞源生物科技有限公司;半纤维素酶(10万U/g):青岛海维森生物科技有限公司;植物油(花生油):山东鲁花集团有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

COMECT多功能粉碎机:武汉提沃克科技有限公司;PWN125DZH电子天平:青岛东飞科仪环保科技有限公司;DT5-4B型台式离心机:北京新时代北利医疗器械有限公司;DHG-9023A鼓风台式电热恒温干燥箱:浙江纳德科学仪器有限公司;H13970电热恒温水浴锅:河北慧采科技有限公司;RE-52A旋转蒸发仪:济南爱来宝仪器设备有限公司。

### 1.3 大豆皮 SDF 的制备

#### 1.3.1 制备流程

大豆皮经蒸馏水反复清洗、除杂,室温(25℃~30℃)下干燥至恒重,粉碎过40目筛,得到大豆皮粗粉,以纤维素酶:半纤维素酶=1:1(质量比)作水解酶进行酶解(45℃、5h),乙醇沉淀,沉淀复溶后喷雾干燥,即得大豆皮 SDF。

#### 1.3.2 单因素试验

以纤维素酶:半纤维素酶=1:1(质量比)作为水解酶,以大豆皮 SDF 得率为考察指标,分别考察料液比、酶添加量、酶解时间、酶解温度、pH 值对大豆皮 SDF 得率的影响。

#### 1.3.3 响应面优化

结合单因素试验结果,利用 Design Expert 进行 Box-Behnken 试验设计,优化料液比、酶添加量、酶解时间、酶解温度及 pH 值,确定最优酶解工艺条件。

#### 1.3.4 SDF 理化性质的测定

##### 1.3.4.1 大豆皮 SDF 持水力的测定

参考文献[19]中的方法,称取适量大豆皮 SDF 粉末加入 50 mL 蒸馏水,室温 20℃~25℃搅拌 24 h,3 000 r/min 离心 10 min,弃去上清液,测定大豆皮 SDF 质量,计算大豆皮 SDF 持水力,计算公式如下。

$$\text{持水力}/\%=(m_3-m_2-m_1)/m_1 \times 100$$

式中: $m_1$ 为大豆皮 SDF 粉末质量,g; $m_2$ 为离心管质量,g; $m_3$ 为大豆皮 SDF 与离心管总质量,g。

##### 1.3.4.2 大豆皮 SDF 膨胀力的测定

参考文献[20]中的方法,称取适量大豆皮 SDF 粉末置于 10 mL 干燥量筒中,记录其原始体积  $V_1$ ;加蒸馏水至刻度,室温(20℃~25℃)条件下静置 12 h,测定其吸水后体积  $V_2$ ,计算大豆皮 SDF 膨胀力,计算公式如下。

$$\text{膨胀力}/(\text{mL}/\text{g})=(V_2-V_1)/m_1$$

式中: $m_1$ 为大豆皮 SDF 粉末质量,g; $V_1$ 为原始体积,mL; $V_2$ 为吸水后体积,mL。

##### 1.3.4.3 大豆皮 SDF 持油力的测定

参考文献[21]中的方法,称取适量大豆皮 SDF 粉末放入离心管中,加入 10 mL 植物油,每 10 min 搅拌 1 次,共计浸泡 1 h,3 000 r/min 离心 10 min,弃去上清液,测定大豆皮 SDF 质量,计算大豆皮 SDF 持油力,计算公式如下。

$$\text{持油力}/\%=(m_2-m_1)/m_2 \times 100$$

式中: $m_1$ 为大豆皮 SDF 粉末质量,g; $m_2$ 为剩余残渣的质量,g。

## 1.4 数据分析

响应面试验设计及分析采用 Design Expert 8.0,采用 SPSS 22.0 进行显著性分析,采用 Origin 8.6 绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素试验结果

#### 2.1.1 料液比对大豆皮 SDF 得率的影响

设定酶添加量为 0.85%、酶解时间为 5 h、酶解温度为 45℃、酶解 pH 值为 4.6,分别考察料液比为 1:10、1:15、1:20、1:25、1:30、1:35 (g/mL) 时大豆皮 SDF 得率,结果如图 1 所示。

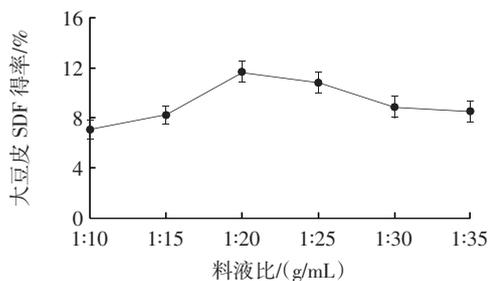


图 1 料液比对大豆皮 SDF 得率的影响

Fig.1 Effect of different feed liquid ratio on the yield of soybean skin SDF

由图 1 可知,随着溶剂量的增加,大豆皮 SDF 得率呈现先升高后降低的趋势,分析其原因可能为溶剂量过小,反应不完全、反应体系黏稠度较高,使 SDF 溶出、扩散困难;溶剂量过大,反应体系中 SDF 浓度过低,沉淀不彻底。综上,溶剂过多或过少均可导致 SDF 得率降低,当料液比达到 1:20 (g/mL) 时,大豆皮 SDF 得率最高,因此选择料液比 1:20 (g/mL) 进行后续试验。

#### 2.1.2 酶添加量对大豆皮 SDF 得率的影响

设定酶解时间为 5 h、酶解温度为 45℃、酶解 pH 值为 4.6、料液比为 1:20 (g/mL),分别考察酶添加量为 0.70%、0.75%、0.80%、0.85%、0.90% 及 0.95% 时大豆皮 SDF 得率,结果如图 2 所示。

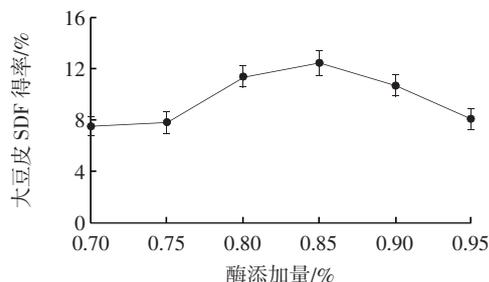


图2 酶添加量对大豆皮 SDF 得率的影响

Fig.2 Effects of different enzyme additions on the yield of soybean skin SDF

由图2可知,随着酶添加量的增加,大豆皮 SDF 得率呈现先升高后降低的趋势,分析其原因可能为随着酶添加量的增加,酶解反应速率提升,反应更加彻底。但酶添加过量可导致部分 SDF 被进一步水解,从而导致 SDF 得率降低。研究结果显示,当酶添加量达到 0.85% 时,大豆皮 SDF 得率最高,因此选择酶添加量为 0.85% 进行后续试验。

### 2.1.3 酶解时间对大豆皮 SDF 得率的影响

设定料液比为 1:20 (g/mL)、酶解温度为 45℃、酶解 pH 值为 4.6、酶添加量为 0.85% 时,分别考察酶解时间为 2、3、4、5、6 h 及 7 h 时大豆皮 SDF 得率,结果如图 3 所示。

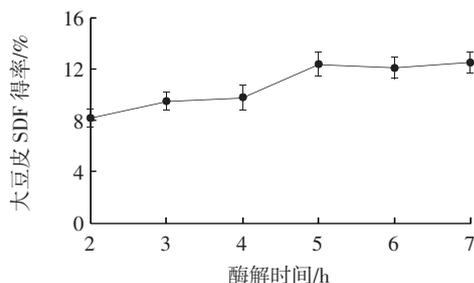


图3 酶解时间对大豆皮 SDF 得率的影响

Fig.3 Effect of enzymatic hydrolysis time on the yield of soybean skin SDF

由图3可知,随着酶解时间的延长,大豆皮 SDF 得率呈现逐渐升高的趋势,分析其原因可能为长时间酶解为酶解反应提供了足够的反应时间,然而,在酶解反应完成后,延长酶解时间对 SDF 得率不再产生影响。当酶解时间达到 5 h 后,大豆皮 SDF 得率不再发生明显变化,因此选择酶解时间 5 h 进行后续试验。

### 2.1.4 酶解温度对大豆皮 SDF 得率的影响

设定料液比为 1:20 (g/mL)、酶解时间为 5 h、酶解 pH 值为 4.6、酶添加量为 0.85% 时,分别考察酶解温度为 35、40、45、50、55℃及 60℃时大豆皮 SDF 得率,结果如图 4 所示。

由图4可知,随着酶解温度的升高,大豆皮 SDF 得率呈现先升高后降低的趋势,分析其原因可能为随着

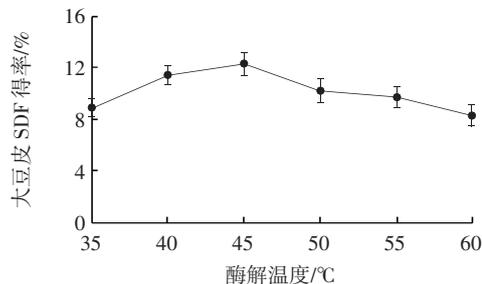


图4 酶解温度对大豆皮 SDF 得率的影响

Fig.4 Effect of enzymatic hydrolysis temperature on the yield of soybean skin SDF

酶解温度的升高,水解酶活力逐渐增强,SDF 得率也随之升高,当温度过高时,会导致酶活力降低或失活,降低 SDF 得率。研究结果显示,当酶解温度达到 45℃ 时,大豆皮 SDF 得率最高,因此酶解温度选择为 45℃。

### 2.1.5 pH 值对大豆皮 SDF 得率的影响

设定料液比为 1:20 (g/mL)、酶解时间为 5 h、酶解温度为 45℃、酶添加量为 0.85% 时,分别考察 pH 值为 4.0、4.6、5.2、5.8、6.4 及 7.0 时大豆皮 SDF 得率,结果如图 5 所示。

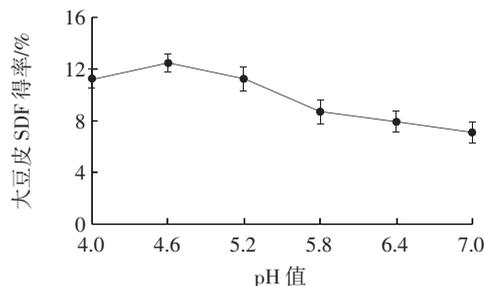


图5 酶解 pH 值对大豆皮 SDF 得率的影响

Fig.5 Effect of enzymatic hydrolysis pH on the yield of soybean skin SDF

由图5可知,随着 pH 值的升高,大豆皮 SDF 得率呈现先升高后降低的趋势,分析其原因可能为 pH 值可通过改变水解酶空间构型对酶活力产生重要影响,pH 值过高或过低均可导致水解酶活力降低,影响 SDF 得率。研究结果显示,当 pH 值为 4.6 时,大豆皮 SDF 得率最高,因此酶解 pH 值选择为 4.6。

## 2.2 响应面优化

### 2.2.1 酶解工艺响应面优化

结合单因素试验,发现酶解温度及酶解 pH 值相对固定(水解酶的最适温度及最适 pH 值相对固定),因此选取料液比(A)、酶添加量(B)、酶解时间(C)作为考察因子,以 SDF 得率(Y)为考察指标,利用 Box-Behnken Design 模式设计试验来优化大豆皮 SDF 酶解工艺,试验因素及水平见表 1,响应面设计试验结果及方差分析见表 2、表 3。

表1 因素及水平

Table 1 Factors and levels

水平	因素		
	A 料液比/(g/mL)	B 酶添加量/%	C 酶解时间/h
-1	1:15	0.80	4
0	1:20	0.85	5
1	1:25	0.90	6

表2 Box Behken 试验方案与结果

Table 2 Box Behken test scheme and results

试验编号	A 料液比/(g/mL)	B 酶添加量/%	C 酶解时间/h	SDF 得率/%
1	1:15	0.80	5	10.2
2	1:25	0.80	5	8.9
3	1:15	0.90	5	10.3
4	1:25	0.90	5	10.2
5	1:25	0.85	4	9.2
6	1:15	0.85	6	10.2
7	1:25	0.85	6	10.1
8	1:20	0.90	4	9.8
9	1:20	0.90	6	10.3
10	1:15	0.85	4	8.9
11	1:20	0.85	5	11.9
12	1:20	0.85	5	12.5
13	1:20	0.85	5	12.3
14	1:20	0.80	4	9.4
15	1:20	0.85	5	12.3
16	1:20	0.85	5	12.8
17	1:20	0.80	6	9.8

表3 响应面试验结果方差分析

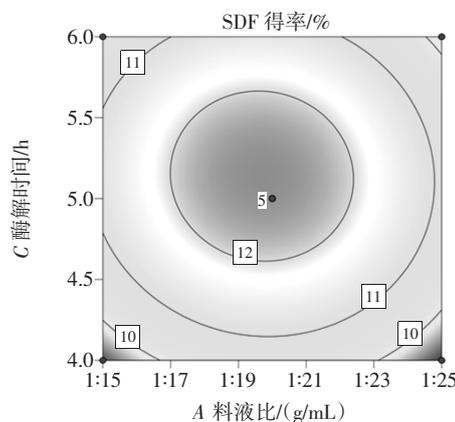
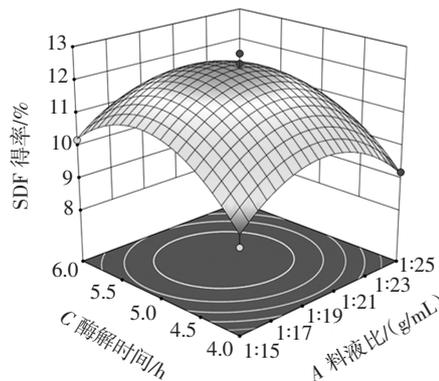
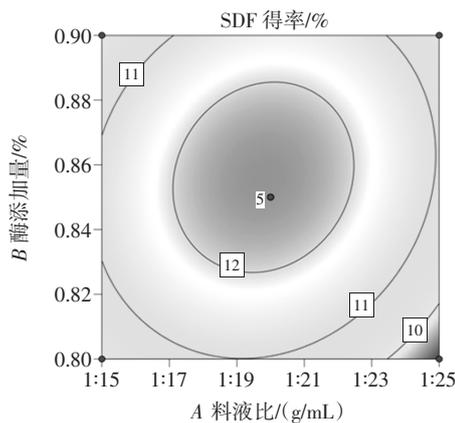
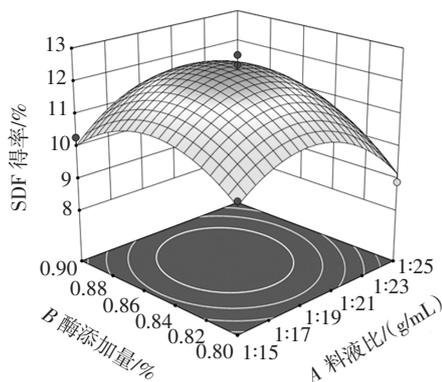
Table 3 Analysis of variance of response surface test results

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	26.22	9	2.91	20.51	<0.000 1	极显著
A	0.180 0	1	0.180 0	1.27	0.297 4	
B	0.661 3	1	0.661 3	4.65	0.067 9	
C	1.20	1	1.20	11.46	<0.000 1	极显著
AB	0.360 0	1	0.360 0	2.53	0.155 4	
AC	0.040 0	1	0.040 0	0.281 5	0.612 1	
BC	0.002 5	1	0.062 5	0.517 6	0.498 2	
A <sup>2</sup>	7.59	1	7.59	53.41	<0.000 1	极显著
B <sup>2</sup>	5.26	1	5.26	37.01	<0.000 1	极显著
C <sup>2</sup>	8.46	1	8.46	59.55	<0.000 1	极显著
残差	0.994 5	7	0.142 1			
失拟项	0.562 5	3	0.187 5	1.74	0.297 5	不显著
纯误差	0.432 0	4	0.108 0			
总离差	27.22	16				

注:P&lt;0.01表示差异极显著。

各因素交互作用对大豆皮 SDF 得率影响的响应

曲面如图6所示。

通过响应面进行回归分析,得出大豆皮 SDF 得率的二次回归方程为 $Y=12.36-0.150 0A+0.287 5B+0.387 5C+$ 

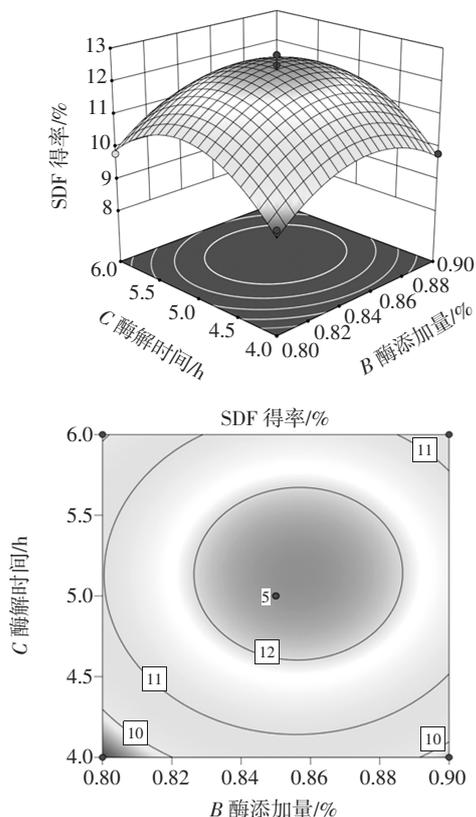


图6 各因素交互作用对大豆皮SDF得率影响的响应曲面

Fig.6 Response surface diagram of the influence of the interaction of various factors on the yield of soybean skin SDF

$0.3000AB - 0.1000AC + 0.0250BC - 1.344^2 - 1.12B^2 - 1.42C^2$ 。修正系数  $R^2_{Adj} = 0.9432$ , 预测复相关系数  $R^2 = 0.9517$ , 预测相关系数  $R^2(Pred) = 0.9563$ , 与预测复相关系数接近, 回归模型极显著 ( $P < 0.01$ ); 失拟项  $P = 0.6446 > 0.05$ , 差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 说明该回归模型的拟合度较高, 试验误差小, 可用该模型分析和预测不同条件下大豆皮SDF得率。各因素对大豆皮SDF得率影响因素的顺序为酶解时间>酶添加量>料液比。

### 2.2.2 工艺验证

利用 Design Expert 软件建立回归模型, 模型结果显示, 大豆皮SDF最优酶解工艺: 料液比 1:19.766 (g/mL)、酶添加量 0.856%、酶解时间 5.139 h, 最优条件下大豆皮SDF得率为 12.84%, 为验证优化结果的可靠性, 对工艺参数进行适当修正: 料液比 1:20 (g/mL)、酶添加量 0.85%、酶解时间 5 h, 在此条件下, 大豆皮SDF得率为 12.71%, 接近最优条件下大豆皮SDF得率, 表明该模型具有良好的预测价值。

### 2.3 理化指标测定结果

持水力、膨胀力及持油力是评价SDF品质的重要指标, 较高的持水力、膨胀力及持油力可有效促进胃肠道蠕动, 增加对胃肠道有毒物质的吸附能力, 促进有毒物质的排出。大豆皮酶解前后理化指标的比较如

图7所示。

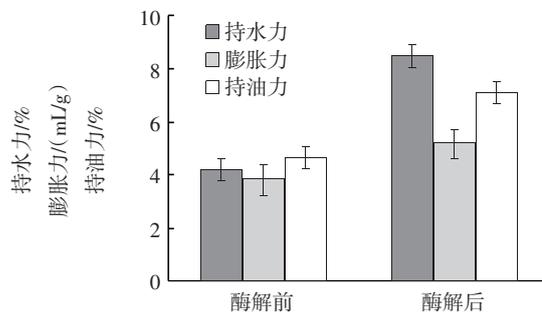


图7 大豆皮酶解前后理化指标比较

Fig.7 Comparison of physicochemical indexes of soybean hulls before and after enzymatic hydrolysis

由图7可知, 与酶解前比较, 大豆皮SDF酶解后持水力、膨胀力及持油力均明显升高, 其持水力、膨胀力及持油力分别为 8.53%、5.22 mL/g 及 7.14%, 表明利用酶法制备的大豆皮SDF具有较好的理化特性。

### 3 结论

利用单因素试验结合 Box-Behnken 试验设计, 以大豆皮SDF得率为考察指标, 优化大豆皮SDF制备工艺, 选用纤维素酶:半纤维素酶=1:1(质量比)作为水解酶, 最终确定大豆皮SDF酶解的最佳工艺: 料液比 1:20 (g/mL)、酶添加量 0.85%、酶解时间 5 h、酶解温度 45 °C、酶解 pH4.6, 该工艺条件下SDF得率与模式预测值较为接近, 表明工艺参数较为准确。结果表明, 由酶法制备的大豆皮SDF具有良好的理化特性。

### 参考文献:

- [1] 梁建秋, 于晓波, 何泽民, 等. 不同熟期类型大豆品种在玉米间作模式下农艺性状和产量的比较研究[J]. 中国油料作物学报, 2021, 43(6): 1077-1086.
- [2] LIANG Jianqiu, YU Xiaobo, HE Zemin, et al. Comparative study on the agronomic traits and yield of soybean varieties with different maturity in maize-soybean intercropping system[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2021, 43(6): 1077-1086.
- [3] OLUWAJUYITAN T D, IJAROTIMI O S, FAGBEMI T N. Nutritional, biochemical and organoleptic properties of high protein-functional foods developed from plantain, defatted soybean, rice-bran and oat-bran flour[J]. Nutrition & Food Science, 2021, 51(4): 704-724.
- [4] 李英英, 朱崇森, 朱平华, 等. 复合菌与复合酶联合处理对大豆皮营养成分及品质的影响[J]. 微生物学通报, 2022, 49(1): 61-71.
- [5] LI Yingying, ZHU Chongmiao, ZHU Pinghua, et al. Effects of multiple strains fermentation and enzymatic hydrolysis on nutrient composition and quality of soybean hulls[J]. Microbiology China, 2022, 49(1): 61-71.
- [6] FRATEBIANCHI D, ACOSTA M A, CAVALITTO S F. Harnessing soybean hulls for improved polygalacturonase production by *Aspergillus sojae* through fine-tuning of ambient pH[J]. Journal of Chemical Technology & Biotechnology, 2018, 93(3): 667-674.
- [7] DETWEILER K B, HE F, MANGIAN H F, et al. Extruded feline di-

- ets formulated with high inclusion of soybean hulls: Effects on apparent total tract macronutrient digestibility, and fecal quality and metabolites[J]. *Journal of Animal Science*, 2019, 97(3): 1042–1051.
- [6] 韩晴, 李军国, 杨莹, 等. 不同分子量大豆皮多糖的基本结构与功能性质研究[J]. *饲料工业*, 2019, 40(17): 35–41.  
HAN Qing, LI Junguo, YANG Ying, et al. Characterization of functional properties and basic structure of polysaccharides extracted from soybean hull[J]. *Feed Industry*, 2019, 40(17): 35–41.
- [7] 徐燕, 谭熙蕾, 周才琼. 膳食纤维的组成、改性及其功能特性研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(23): 211–218.  
XU Yan, TAN Xilei, ZHOU Caiqiong. Composition, modification and functional properties of dietary fiber[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(23): 211–218.
- [8] 方城杰, 吴漫漫, 于海宁. 膳食纤维对肠道菌群紊乱及脂代谢异常的修复作用[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(12): 127–134.  
FANG Chengjie, WU Manman, YU Haining. Reparative action of dietary fiber on intestinal flora disorder and lipid metabolism[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(12): 127–134.
- [9] XUE Z H, MA Q Q, CHEN Y, et al. Structure characterization of soluble dietary fiber fractions from mushroom *Lentinula edodes* (Berk.) Pegler and the effects on fermentation and human gut microbiota *in vitro*[J]. *Food Research International*, 2020, 129: 108870.
- [10] 王娟, 曹龙奎, 魏春红, 等. 小米硒化水溶性膳食纤维的抗氧化活性及对小鼠肠道菌群产色氨酸能力的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(11): 144–153.  
WANG Juan, CAO Longkui, WEI Chunhong, et al. Antioxidant activity of selenium-modified soluble dietary fiber from millet and its effect on the tryptophan-producing capability of mouse intestinal flora[J]. *Food Science*, 2021, 42(11): 144–153.
- [11] 张立娟, 王琦, 佟永薇, 等. 蒸汽爆破技术在葡萄酿酒副产物可溶性膳食纤维提取中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(11): 67–71, 81.  
ZHANG Lijuan, WANG Qi, TONG Yongwei, et al. Application of steam explosion technology in extraction of grape winemaking by-products soluble dietary fiber[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(11): 67–71, 81.
- [12] LIU Y, CHEN N, LI D, et al. Effects of dietary soluble or insoluble fiber intake in late gestation on litter performance, milk composition, immune function, and redox status of sows around parturition[J]. *Journal of Animal Science*, 2020, 98(10): skaa303.
- [13] LUO M K, HU K X, ZENG Q Z, et al. Comparative analysis of the morphological property and chemical composition of soluble and insoluble dietary fiber with bound phenolic compounds from different algae[J]. *Journal of Food Science*, 2020, 85(11): 3843–3851.
- [14] 李梁, 聂成玲, 薛蓓, 等. 响应面法优化酶辅助提取苹果梨渣中可溶性膳食纤维工艺及品质分析[J]. *中国食品添加剂*, 2017(1): 57–64.  
LI Liang, NIE Chengling, XUE Bei, et al. Optimization of SDF extraction in Pingguoli Pear residue using cellulase by response surface methodology and quality analysis[J]. *China Food Additives*, 2017(1): 57–64.
- [15] 赵丽娜, 张娜, 宋冰冉, 等. 新型益生菌发酵竹笋膳食纤维酸奶的菌种筛选及通便功能研究[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(12): 117–126.  
ZHAO Lina, ZHANG Na, SONG Bingran, et al. Study on strains screening and laxative function of bamboo shoot dietary fiber yogurt fermented by new probiotics[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2021, 21(12): 117–126.
- [16] DONG R H, LIAO W, XIE J H, et al. Enrichment of yogurt with carrot soluble dietary fiber prepared by three physical modified treatments: Microstructure, rheology and storage stability[J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2022, 75: 102901.
- [17] 李天, 颜玲, 李沛军, 等. 超高压和超微粉碎改性对梨渣膳食纤维的影响[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(23): 18–23.  
LI Tian, YAN Ling, LI Peijun, et al. Effects of high hydrostatic pressure and superfine grinding on the physicochemical and functional properties of pear pomace[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(23): 18–23.
- [18] LIN D R, WU J J, YANG Y M, et al. The anti-lipidemic role of soluble dietary fiber extract from okara after fermentation and dynamic high-pressure microfluidization treatment to Kunming mice[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2020, 57(11): 4247–4256.
- [19] MOCZKOWSKA M, KARP S, NIU Y G, et al. Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed—A physicochemical approach[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 90: 105–112.
- [20] YAN L, LI T, LIU C H, et al. Effects of high hydrostatic pressure and superfine grinding treatment on physicochemical/functional properties of pear pomace and chemical composition of its soluble dietary fibre[J]. *LWT—Food Science and Technology*, 2019, 107: 171–177.
- [21] 张启月, 张士凯, 郝良卿, 等. 不同提取方法对樱桃酒渣水溶性膳食纤维结构、理化与功能性质的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(7): 98–105.  
ZHANG Qiyue, ZHANG Shikai, XI Liangqing, et al. Effects of different extraction methods on the structure, physicochemical and functional properties of water-soluble dietary fiber from cherry wine dregs[J]. *Food Science*, 2021, 42(7): 98–105.