

广西火麻膳食纤维提取及其特性研究

聂梦琳, 饶川艳, 莫明规, 潘海博, 梅丽华, 覃璐琪, 李全阳*

(广西大学轻工与食品学院, 南宁 530000)

摘要: **目的** 优化火麻膳食纤维的提取工艺, 并探索其益生特性。**方法** 以广西巴马特色食品—火麻为原料, 以火麻膳食纤维提取率为指标, 采用酶-碱法探索料液比、蛋白酶添加量、碱解时间、碱解温度、碱解 pH 对火麻膳食纤维提取率的影响, 在此基础上进行响应面优化实验, 再进一步对其有关特性进行研究。**结果** 在料液比 1:10(g:mL), 蛋白酶添加量为 2.90%, 碱解时间 79 min, 碱解温度 58 °C, 碱解 pH=10 的条件下, 火麻的总膳食纤维(total dietary fiber, TDF)的提取率达到 73.98%。此时, 火麻的可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)持水力、膨胀率、持油力、二苯代苦味酰基自由基(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH)自由基清除率、羟基自由基清除率分别为(2.30±0.22) g/g、(2.26±0.04) mL/g、(4.04±0.20) g/g、(54.29±4.80)%、(34.69±4.65)%。火麻的不溶性膳食纤维(insoluble dietary fiber, IDF)持水力、膨胀率、持油力、DPPH 自由基清除率、羟基自由基清除率分别为(1.89±0.01) g/g、(1.17±0.01) mL/g、(4.12±0.24) g/g、(97.25±2.13)%、(96.94±3.75)%。**结论** 酶-碱法提取的火麻膳食纤维具有良好的持水力及膨胀率, 较高的持油力及抗氧化活性, 并富含多种多糖及单糖物质。

关键词: 膳食纤维; 火麻; 响应面法优化

Study on the extraction of Guangxi hemp dietary fiber and its characteristics

NIE Meng-Lin, RAO Chuan-Yan, MO Ming-Gui, PAN Hai-Bo, MEI Li-Hua, QIN Lu-Qi, LI Quan-Yang*

(College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530000, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the extraction process of dietary fiber from flax and explore its probiotic properties. **Methods** The yield of hemp dietary fiber was used as the experimental index using Guangxi Bama specialty food-hemp(*Cannabis sativa* L.) as raw material. The effects of material-liquid ratio, protease addition amount, alkaline hydrolysis time, alkaline hydrolysis temperature and alkaline hydrolysis pH on the extraction rate of hemp dietary fiber were explored by using enzyme-alkali method. On this basis, the response surface optimization experiment was carried out, and then the related characteristics were further studied. **Results** The optimized parameters for the extraction process of hemp dietary fiber were: Material-liquid ratio 1:10 (g: mL), protease addition amount 2.90%, alkaline hydrolysis time 79 min, alkaline hydrolysis temperature 58 °C, alkaline hydrolysis pH=10. Under these conditions, the extraction rate of total dietary fiber (TDF) from hemp was 73.98%. At this point, soluble dietary fiber of fire linen SDF) free radical scavenging rates and hydroxyl radical scavenging rates were (2.30±0.22)

基金项目: 国家自然科学基金项目(31871802)、广西重点研发计划项目(桂科 AB18221065)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31871802), and the Guangxi Key Research and Development Project (AB18221065)

*通讯作者: 李全阳, 教授, 主要研究方向为膳食营养与健康长寿。E-mail: liquanyang@gxu.edu.cn

*Corresponding author: LI Quan-Yang, Professor, College of Light Industry and Food Engineering, Guangxi University, Nanning 530000, China. E-mail: liquanyang@gxu.edu.cn

g/g, (2.26±0.04) mL/g, (4.04±0.20) g/g, (54.29±4.80)% and (34.69±4.65)%, respectively, for hydrodynamics, expansion rate, oil-holding capacity, and bitter diphenylhydrazyl radical (1, 1-diphenyldiphenyl2-picrylhydrazyl radical, DPPH). Insoluble dietary fiber (IDF) was (1.89±0.01) g/g, (1.17±0.01) mL/g DPPH free radical clearance (4.12±0.24) g/g, (97.25±2.13)% and (96.94±3.75)%, respectively. **Conclusion** The hemp dietary fiber extracted by enzyme-alkali method has good water holding capacity and expansion rate, high oil holding capacity and antioxidant activity, and is rich in a variety of polysaccharides and monosaccharides.

KEY WORDS: dietary fiber; hemp; response surface method optimization

1 引言

王芳^[1]研究表明,膳食纤维与健康长寿具有重要的联系。膳食纤维是指在人体内无法被肠胃等消化道吸收,也无法提供人体活动所必需的能量的一类多糖物质,它被称为“第七大营养素”^[2]。膳食纤维按照其水溶解特性可分为可溶性膳食纤维和不可溶性膳食纤维。研究显示,膳食纤维可以促进肠道蠕动,调节肠道菌群,也可降低血糖、血脂、胆固醇等^[3,4]。膳食纤维还具有良好的抗氧化功能^[5]。

大麻(*Cannabis sativa* L.),是桑科(Sankoh)大麻属(*Cannabis*)一年生直立草本植物^[6],作为食物的来源已经有 3000 多年的历史了。大麻在我国是一种典型的药食同源作物,在广西、云南、安徽等省都有一定的种植基础和产业^[7]。其中,国际著名的“长寿之乡”—巴马的大麻,因百岁老人经常食用,故被认为是巴马长寿现象形成的重要因子之一。目前,对于大麻的研究报道主要集中在大麻油的提取,大麻蛋白的提取及其利用当中^[7]。以大麻籽为原料,田兆飞等^[8]采用冷榨法提取大麻油;高晓龙等^[9]采用超临界萃取法提取大麻油。对于大麻榨油后的副产物大麻粕的研究主要利用其为原料提取大麻蛋白,李晓君等^[10]以大麻脱脂粕为原料,采用酶辅助法提取大麻蛋白;Gianfranco 等^[11]采用碱法提取大麻蛋白;吴俊锋^[12]采用湿磨、喷射蒸煮及膜超滤相结合提取大麻蛋白。目前,以大麻粕为原料提取膳食纤维的研究报道尚未见到。

为了探究长寿地区特色食品膳食纤维提取工艺及其益生效果,本研究以大麻粕为原料,采用酶-碱结合法进行提前,并对该工艺进行响应面优化,研究大麻膳食纤维提取工艺最佳参数和特性,以期与健康长寿特色食品的开发利用提供理论支持。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

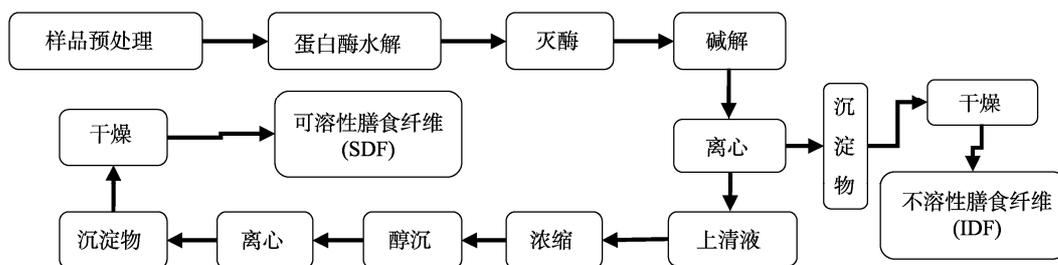
大麻粕(广西巴马瑶族自治县坡月村农贸市场);无水乙醇、氢氧化钠、溴化钾(分析纯,成都市科隆化学制品有限公司);碱性蛋白酶(食品级,山东隆科特酶制剂有限公司)。

2.2 仪器与设备

HD 型电热恒温鼓风干燥箱(海达国际仪器有限公司);BSA 型电子天平(北京赛多利斯仪器系统有限公司);SHZ-IIIB 型循环水真空泵(上海雅潭真空设备有限公司);RE-2000A 型旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);TG16-WS 型离心机(长沙湘仪离心机仪器有限公司);TENSOR II 型傅里叶红外光谱仪(德国 BRUKER 公司);DFY 型高速万能粉碎机(天上海利闻科学仪器有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 提取工艺流程



2.3.2 提取工艺方法

大麻粕样品 60 °C 鼓风干燥粉碎,过 60 目筛,取 5.00 g 样品按照一定料液比加入不同 pH 的 NaOH 溶液,再添加一定量的碱性蛋白酶,在不同温度和时间下进行浸提,过滤后收集滤渣和滤液。滤干燥后即为大麻的总膳食纤维

(total dietary fiber, TDF)。滤液真空浓缩至原体积 1/4,加入 4 倍体积 95%乙醇醇沉 12 h 后离心干燥即得大麻的可溶性膳食纤维(soluble dietary fiber, SDF)。

2.3.3 大麻膳食纤维提取单因素试验设计

(1)碱性蛋白酶添加量对大麻膳食纤维提取率的影响

准确称取 5.00 g 样品, 设定料液比为 20 : 1(mL/g), 碱解 pH=10, 碱解温度 70 °C, 碱解时间为 60 min, 考察蛋白酶添加量分别为样品的 2%、3%、4%、5%、6% 时对火麻膳食纤维提取率的影响。

(2) 料液比对火麻膳食纤维提取率的影响

准确称取 5.00 g 样品, 设定碱性蛋白酶添加量 3%, pH=10, 碱解时间为 60 min, 碱解温度 70 °C, 考察料液比分别为 1:5、1:10、1:15、1:20、1:25 (g/mL) 时对火麻膳食纤维提取率的影响。

(3) 碱解 pH 对火麻膳食纤维提取率的影响

准确称取 5.00 g 样品, 设定碱性蛋白酶添加量 3%, 料液比为 1 : 10(g/mL), 碱解时间为 60 min, 碱解温度 70 °C, 考察 pH 分别为 8、9、10、11、12 时对火麻膳食纤维提取率的影响。

(4) 碱解时间对火麻膳食纤维提取率的影响

准确称取 5.00 g 样品, 设定碱性蛋白酶添加量 3%, 料液比为 1:10(g/mL), pH=10, 碱解温度 70 °C, 考察碱解时间分别为 40、60、80、100、120 min 时对火麻膳食纤维提取率的影响。

(5) 碱解温度对火麻膳食纤维提取率的影响

准确称取 5.00 g 样品, 设定碱性蛋白酶添加量 3%, 料液比为 1:10(g/mL), pH=10, 碱解时间为 80 min, 考察碱解温度分别为 50、60、70、80、90 °C 时对火麻膳食纤维提取率的影响。

(6) 火麻膳食纤维提取响应面试验设计

以单因素试验结果为基础, 选取自变量蛋白酶添加量(A)、碱解时间(B)、碱解温度(C)3 个因素, 以火麻膳食纤维提取率为响应值, 采用 Box-Behnken 中心组合试验设计进行响应面试验, 试验因素水平设计见表 1。

火麻膳食纤维提取量按 GB/T 5009.88-2014 《食品中膳食纤维的测定》进行^[13]。按下式计算膳食纤维提取率:

$$IDF \text{ 提取率} / \% = \frac{\text{提取 IDF 重量}}{\text{原料重量}} \times 100$$

$$SDF \text{ 提取率} / \% = \frac{\text{提取 SDF 重量}}{\text{原料重量}} \times 100$$

2.3.4 火麻膳食纤维的特性研究

(1) 持水力

根据 Ma 等^[14]的方法略作修改。取 0.50 g 样品与 10 mL 蒸馏水于离心管摇匀, 室温条件下静置 24 h, 7000 r/min 离心 20 min, 弃掉上清液, 称重。

按下式计算其持水力:

$$\text{持水力} = \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

式中: m_1 -样品干重, g; m_2 -样品湿重, g。

(2) 膨胀率

根据李建周等^[15]研究方法略作修改。取 0.50 g 膳食纤维样品于 10 mL 量筒中, 记录其初始体积, 用移液枪准确

移取 5.0 mL 蒸馏水于量筒中, 震荡均匀, 于室温条件下静置 24 h, 记录膳食纤维最终体积。

按下式计算其膨胀率:

$$\text{膨胀率} = \frac{V_2 - V_1}{m}$$

式中: V_1 为样品初始体积, mL; V_2 为样品吸水后体积, mL; m 为样品干重, g。

(3) 持油力

根据 Wen 等^[16]的方法略作修改。取 0.5 mL 样品和 10 mL 花生调和油于离心管中混匀, 室温下静置 1.5 h。4000 r/min 条件下离心 30 min, 去除上清液, 称重。

按下式计算其持油力:

$$\text{持油力} = \frac{m_2 - m_1}{m_1}$$

式中: m_1 -为样品干重, g; m_2 -样品湿重, g。

(4) 抗氧化活性成分的提取

参考周小理等^[17]的研究方法并略作改动。分别称量提取的火麻 IDF、SDF 各 2.00 g, 按料液比 1:50(g/mL) 加入 70% 乙醇溶液, 于 70 °C 恒温水浴中提取 5 h 后, 以 3000 r/min 离心 10 min, 取上清液备用。

(5) 火麻膳食纤维对二苯代苦味酰基自由基 (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical, DPPH) 自由基清除作用^[16]

准确称取 DPPH, 用无水乙醇配制成 DPPH-乙醇溶液 (1×10^{-4} mol/L)。取 3.0 mL 样品溶液与 1.0 mL DPPH-乙醇溶液混匀, 常温避光反应 30 min, 于波长 517 nm 处测定其吸光度 A_1 ; 取 3.0 mL 样品溶液与 1.0 mL 无水乙醇溶液混匀, 常温避光反应 30 min, 于波长 517 nm 处测定其吸光度 A_2 ; 取 3.0 mL DPPH-乙醇溶液于 1.0 mL 蒸馏水混匀, 常温避光反应 30 min, 于波长 517 nm 处测定其吸光度 A_0 。做 3 组平行实验以降低实验误差。

按下式计算火麻膳食纤维 DPPH 自由基清除率:

$$\text{DPPH 自由基清除率} / \% = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%$$

(6) 火麻膳食纤维对羟自由基清除作用^[18]

取 1.0 mL SDF 样品溶液稀释 5 倍备用。在试管中分别加入 2.0 mL 6 mmol/L $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液, 1.0 mL 样品溶液或稀释样品溶液, 以及 0.1 mL 6 mmol/L H_2O_2 溶液, 在 37°C 恒温条件下反应 30 min, 于波长 510 nm 处测定其吸光度值 A_1 ; 以 0.1 mL 蒸馏水替换 H_2O_2 , 测定其吸光度值 A_2 ; 以 1.0 mL 蒸馏水替换样品溶液, 测定其吸光度值 A_0 。

按下式计算火麻膳食纤维羟基自由基清除率:

$$\text{羟基自由基清除率} / \% = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%$$

(7) 火麻膳食纤维的傅里叶红外光谱分析

准确称取 5.00 mg 样品, 按照 1:100 加入恒重后的 KBr, 在研钵中充分研磨混合后压片, 并立即用红外光谱扫描,

扫描范围 4000~400 cm^{-1} 。

3 结果与分析

3.1 单因素试验对膳食纤维提取工艺的优化

3.1.1 碱性蛋白酶添加量对膳食纤维提取率的影响

由图 1 可知, 随着碱性蛋白酶添加量的增加, 大麻 IDF 及 SDF 提取率呈上升趋势, 当添加量为 3% 时, IDF 提取率最大为 53.90%; 随着蛋白酶添加量的增加, IDF 提取率开始下降, 这是由于蛋白酶添加量过高时, 会导致 IDF 中的纤维素被水解^[19]。当蛋白酶添加量为 4.00% 时, 大麻 SDF 提取率达到最大值为 23.75%; 随着蛋白酶添加量的增加, SDF 的提取率也逐渐下降。综合考虑总膳食纤维提取率以及节约酶的用量, 选取碱性蛋白酶添加量 3.00% 为最佳提取条件。

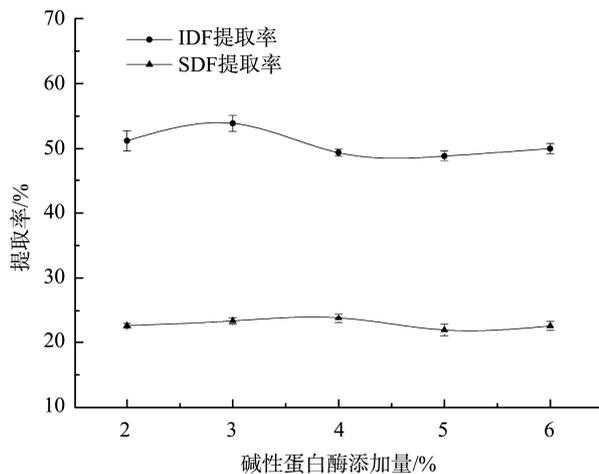


图 1 碱性蛋白酶添加量对膳食纤维提取率的影响($n=3$)

Fig.1 Effect of protease addition on dietary fiber extraction rate ($n=3$)

3.1.2 料液比对膳食纤维提取率的影响

由图 2 可得, 随着料液比的增加, 大麻 IDF 提取率呈先上升再下降的趋势, 当料液比为 1:10 时, 提取率达到最大为 52.81%; 大麻 SDF 的提取率随料液比的增加而升高, 1:10 后增加趋势减缓。因此, 综合考虑, 为了节省水资源, 选取 1:10 为最佳料液比。

3.1.3 碱解 pH 对大麻膳食纤维提取率的影响

如图 3 所示, 大麻 IDF 及 SDF 的提取率随 pH 增加而升高, 当 pH 为 10 时, IDF 及 SDF 提取率达到最大值, 分别为 55.24% 和 17.73%; 随着 pH 的继续升高, 膳食纤维的提取率开始下降, 并且 IDF 提取率下降速度较 SDF 更快。因此, 选择 pH=10 为最佳碱解 pH。

3.1.4 碱解时间对大麻膳食纤维提取率的影响

由图 4 可知, 膳食纤维的提取率随碱解时间延长而增大, 当碱解时间为 80 min 时, IDF 提取率达到最大值为 51.03%, 当碱解时间为 100 min 时, SDF 的提取率达到最大

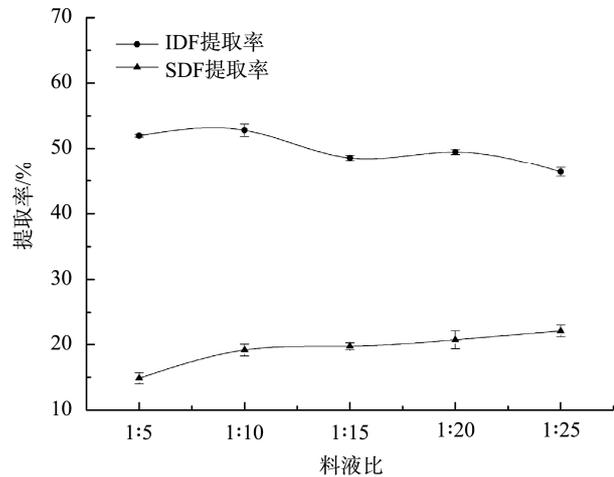


图 2 料液比对膳食纤维提取率的影响($n=3$)

Fig.2 Effect of material-liquid ratio on dietary fiber extraction rate of hemp ($n=3$)

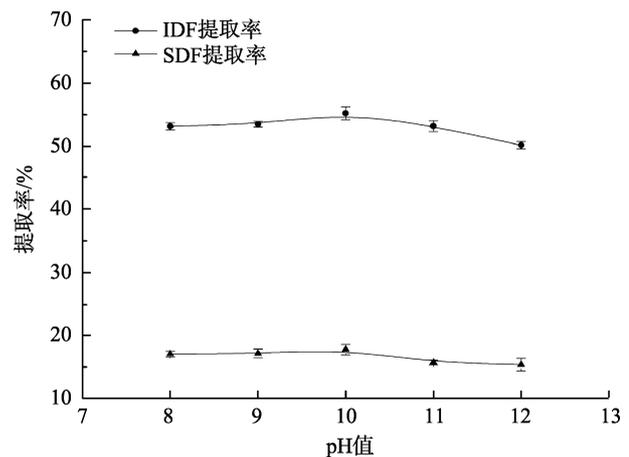


图 3 碱解 pH 对大麻膳食纤维提取率的影响($n=3$)

Fig.3 Effect of pH on extraction rate of dietary fiber from hemp

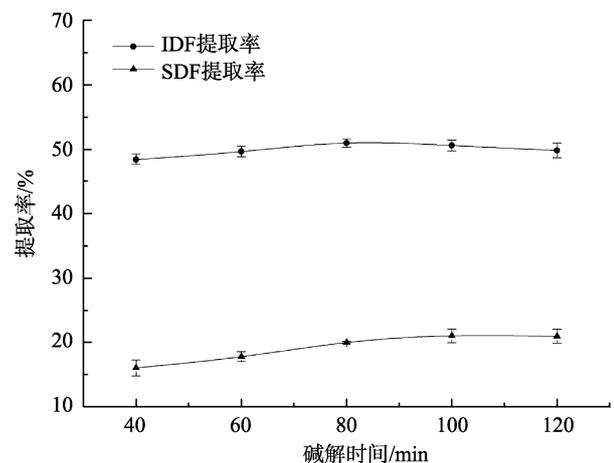


图 4 碱解时间对大麻膳食纤维提取率的影响($n=3$)

Fig.4 Effect of time on extraction rate of dietary fiber from hemp ($n=3$)

值为 20.95%; 随着时间的继续增加, IDF 及 SDF 提取率逐渐下降。这是因为开始随着碱解时间的延长, 原料碱解越充分, 膳食纤维提取率越高; 当达到顶点时, 随着时间的延长, 膳食纤维也会被碱解, 从而导致提取率下降。因此, 为节省时间选取 80 min 为最佳碱解时间。

3.1.5 碱解温度对火麻膳食纤维提取率的影响

由图 5 可知, IDF 及 SDF 的提取率随碱解的温度的升高呈现先增高后降低的趋势, 当温度为 60 °C 时, 膳食纤维提取率达到最大值。这是因为当碱解温度大于 60 °C 时, 膳食纤维会在提取过程中水解, 从而导致膳食纤维提取率降低, 故选择 60 °C 为最佳碱解温度。

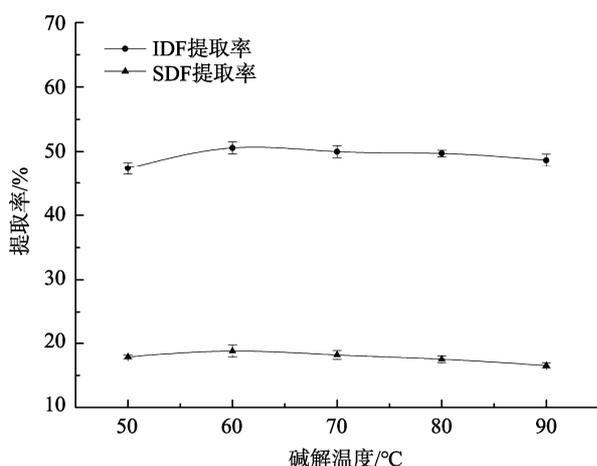


图 5 碱解温度对火麻膳食纤维提取率的影响(n=3)
Fig.5 Effect of temperature on extraction rate of dietary fiber from hemp (n=3)

3.2 响应面实验对膳食纤维提取条件的优化

3.2.1 响应面实验设计

参考单因素试验的结果, 按照 Box-Behnken 试验设计, 选取火麻总膳食纤维提取率为响应值, 蛋白酶添加量(A)、碱解时间(B)、碱解温度(C)3 个因素为自变量, 设计 3 因素 3 水平响应面分析试验, 因素水平见表 1, 试验设计及结果见表 2。

表 1 响应面分析因素及水平表
Table 1 Response surface analysis factors and level table

因素	水平		
	-1	0	1
蛋白酶添加量 A/%	2	3	4
碱解时间 B/min	60	80	100
碱解温度 C/°C	50	60	70

表 2 Box-Behnken 试验设计及结果表
Table 2 Box-Behnken test design and results table

试验编号	A	B	C	TDF 提取率/%
1	2	60	60	72.48
2	4	60	60	70.53
3	2	100	60	71.54
4	4	100	60	69.24
5	2	80	50	69.85
6	4	80	50	72.57
7	2	80	70	71.43
8	4	80	70	65.47
9	2	60	50	71.01
10	4	100	50	72.98
11	3	60	70	70.76
12	3	100	70	68.18
13	3	80	60	75.21
14	3	80	60	74.86
15	3	80	60	75.02

3.2.2 回归模型建立与分析

根据表 2 试验数据, 利用 Design Expert 11 进行回归分析, 可以得到蛋白酶添加量(A)、碱解时间(B)、碱解温度(C)与 TDF 提取率之间的二元多次回归方程: $Y=75.03-0.936A-0.3550B-1.32C-0.0875AB-2.177AC-1.14BC-2.49A^2-1.59B^2-2.71C^2$ 。

从表 3 方差分析表可得, 回归方程模型 $P<0.0001$, 差异极显著, 在一次项中, A、C 对 TDF 提取率影响极显著, B 对 TDF 提取率影响显著, 在二次相中, A^2 、 B^2 、 C^2 极显著, 在交互项中, AC、BC 交互作用极显著, AB 交互作用不显著, 失拟项 $P>0.05$, 差异不显著, $r^2=0.9945$ 。故所选模型拟合性强, 其预测值与实际值拟合度较高, 该模型可靠。由 F 值的结果可得, 影响 IDF 提取率变化得主次因素为 $C>A>B$, 即碱解温度>蛋白酶添加量>碱解时间。

表 3 方差分析表
Table 3 Analysis of variance table

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	98.02	9	10.89	99.99	< 0.0001	**
A-酶添加量	7.01	1	7.01	64.39	0.0005	**
B-碱解时间	1.01	1	1.01	9.26	0.0287	*
C-碱解温度	13.97	1	13.97	128.22	< 0.0001	**

续表 3

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
AB	0.0306	1	0.0306	0.2812	0.6186	
AC	18.84	1	18.84	172.94	< 0.0001	**
BC	5.18	1	5.18	47.52	0.0010	**
A ²	22.94	1	22.94	210.61	< 0.0001	**
B ²	9.33	1	9.33	85.70	0.0002	**
C ²	27.07	1	27.07	248.51	< 0.0001	**
残差	0.5446	5	0.1089			
失拟项	0.4832	3	0.1611	5.25	0.1643	
误差	0.0614	2	0.0307			
总和	98.56	14	10.89			

注: $P < 0.01$, 差异极显著**; $P < 0.05$, 差异显著; $P > 0.05$ 差异不显著。

3.2.3 响应面结果分析

为研究因素间交互作用对 TDF 提取率的影响, 对其响应面三维图进行分析, 各因素交互作用响应面图如图 6~8 所示。

一般来说, 响应曲面的曲线越陡, 表明两个因素间的交互作用对 Y 值的影响越显著, 响应曲面的曲线越平滑, 表明两个因素的交互作用影响对 Y 值的影响越小。

由图 6~8 可得, AC(蛋白酶添加量、碱解温度)、BC(碱解时间、碱解温度)响应面图中曲线陡峭, 对 TDF 提取率影响极显著, AB(蛋白酶添加量、碱解时间)响应面中曲线平缓, 对 TDF 提取率影响不显著, 与方差分析结果相同。

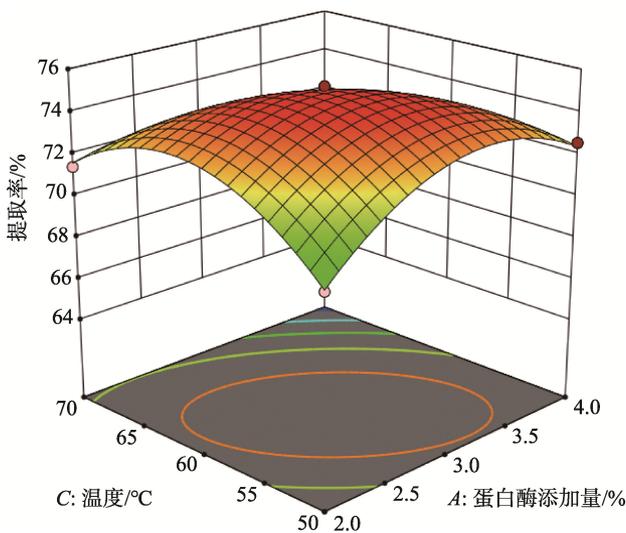


图 6 蛋白酶添加量与提取温度响应面

Fig.6 Interactive effect of Protease addition and Temperature on yield of TDF

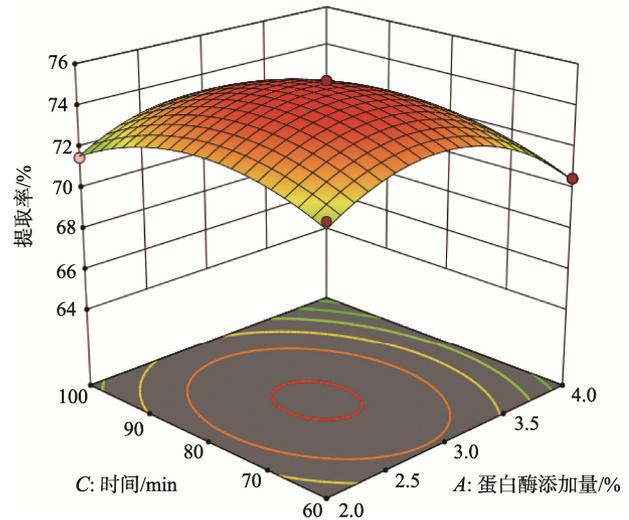


图 7 蛋白酶添加量与提取时间响应面

Fig.7 Interactive effect of protease addition and time on yield of TDF

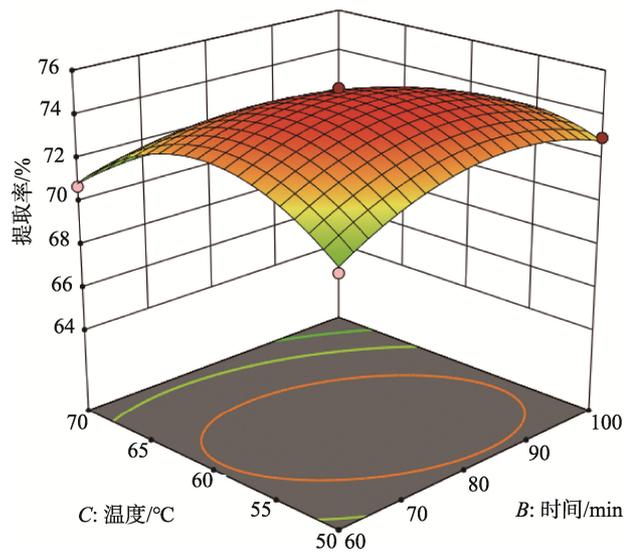


图 8 提取温度与提取时间响应面

Fig.8 Interactive effect of extraction temperature and extraction time on yield of TDF

3.2.4 最优条件验证试验

根据 Design-Expert -11 软件分析优化可得, 提取火麻膳食纤维的最佳工艺参数为蛋白酶添加量 2.90%, 碱解时间 79.18 min, 碱解温度 58.04 °C, 此条件下, TDF 提取率为 75.20%。为验证响应面优化法的可靠性, 根据实际操作, 调整工艺为蛋白酶添加量 2.90%, 碱解时间 79 min, 碱解温度 58 °C, 在此条件下进行 3 次平行试验, 得 TDF 提取率为 $73.98\% \pm 2.65\%$, 与预测值相差 1.55%, 误差较小, 说明该模型优化火麻 TDF 提取工艺可行。

3.3 膳食纤维特性研究

3.3.1 膳食纤维理化性质结果

持水力和膨胀率是衡量膳食纤维品质的重要指标, 较高的持水力和膨胀率能够有效防止便秘, 预防结肠癌的发生^[20]。

通过表 4 可以看出, 火麻膳食纤维具有良好的持水力及膨胀率, 且 SDF 的持水力及膨胀率均高于 IDF。火麻 SDF 持水力为(4.04±0.20) g/g, IDF 持油力为(4.12±0.24) g/g, 均高于金针菇(0.713 g/g)、大麦苗(2.47 g/g)等 7 种来源的膳食纤维的持油力^[21]。其中, 火麻 IDF 的 DPPH 自由基清除率及羟

自由基清除率高于 SDF, 且火麻 IDF 的 DPPH 自由基清除率高于小米糠多糖(59.47%)^[22], 2 种膳食纤维羟自由基清除率都明显较百香果皮膳食纤维的检测值高(3.6%)^[23]。目前, 对于火麻性质的研究集中在火麻蛋白及火麻油中^[24], 火麻膳食纤维性质特点未见报道, 本研究结果为首次发现, 也为火麻资源的综合利用及其深入研究提供了参考。

3.3.2 火麻膳食纤维的傅里叶红外光谱分析

为了了解本研究所得火麻 SDF 及 IDF 的结构组成特点, 采用傅里叶红外光谱技术对样品进行了检查, 其光谱图见图 9。

表 4 火麻膳食纤维理化性质
Table 4 Physical and chemical properties of hemp dietary fiber

结果	持水力/(g/g)	膨胀率/(mL/g)	持油力/(g/g)	DPPH 清除率/%	羟基清除率/%
SDF	2.30±0.22	2.26±0.04	4.04±0.20	54.29±4.80	34.69±4.65
IDF	1.89±0.01	1.17±0.01	4.12±0.24	97.25±2.13	96.94±3.75

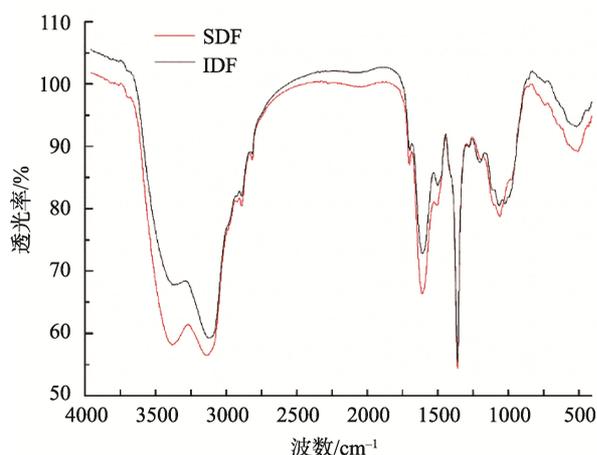


图 9 IDF、SDF 红外光谱图
Fig.9 Infrared spectra of IDF and SDF

由图 9 可得, IDF 在 3375.81 cm^{-1} 出现吸收峰, 这是由自由羟基 O-H 伸缩震动产生, 这表明 IDF 中存在羟基及其结合分子^[25]; 在 2935.05 有吸收峰, 为 C-H 收缩震动产生; 在 1701.50 处有吸收峰, 由 C=O 收缩震动产生, 1499.72、1360.91 cm^{-1} 处有吸收峰, 是由 C-C 伸缩震动产生, 证明 IDF 中有纤维素、半纤维素等物质^[26]。SDF 在 3378.67、3138.26 cm^{-1} 处有吸收峰, 证明 SDF 中有羟基及其结合分子存在^[24], 在 1609.91 cm^{-1} 处有吸收峰, 是由糖醛酸中的 C=O 伸缩震动产生^[27], 在 1700~1500 cm^{-1} 之间有吸收峰, 证明 SDF 中含有半乳糖、鼠李糖等单糖^[28], 在 1400 cm^{-1} 处左右的吸收峰是由 C-H 震动引起的典型的多糖吸收峰^[29], 在 1060 cm^{-1} 左右处的吸收峰是由木质素或半纤维素(C-OC-C)的醚键的振动所致^[30]。故由此可知, 火麻总膳食

纤维富含纤维素、半纤维素、木质素等多种多糖, 以及半乳糖、鼠李糖等多种单糖物质。

4 结论

本研究以火麻粕为原料, 采用酶-碱法提取火麻膳食纤维, 对其提取工艺进行了研究。在单因素的试验结果基础上, 采用响应面优化法提取其膳食纤维, 得出了提取的最佳工艺。这是首次对火麻膳食纤维进行提取的研究, 进一步对其特性进行检测, 与其他膳食纤维相比, 本研究提取的火麻膳食纤维具有较好的持水力、膨胀率以及较高的持油力和抗氧化能力。火麻膳食纤维的傅里叶红外光谱图显示, 火麻膳食纤维中含有多种单糖及多糖物质。这揭示了火麻膳食纤维是具有良好开发前景的膳食纤维, 为以火麻为原料的健康长寿特色食品开发提供了重要的理论参考。

参考文献

- [1] 王芳. 广西巴马长寿老人肠道菌群及其与膳食纤维多糖饮食关联性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2015.
Wang F. Chinese centenarians gut microbiota and its correlation with high-fiber diet [D]. Nanning: Guangxi University, 2015.
- [2] 谭焯, 田晓静, 柳玉瑛, 等. 水溶性膳食纤维提取研究进展[J]. 农产品加工, 2018, (3): 65-67.
Tan Y, Tian XJ, Liu YY, et al. Research progress of soluble dietary fiber extraction [J]. Agric Prod Proc, 2018, (3): 65-67.
- [3] Dikeman CL, Fahey GC. Viscosity as related to dietary fiber: A review [J]. Crit Rev Food Sci Nutr, 2006, 46(8): 649-63.
- [4] 陈仕学, 王一帆, 姚元勇, 等. 响应面法优化茶渣水不溶性膳食纤维的提取及性能研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(10): 249-253, 258.

- Chen SX, Wang YF, Yao YY, *et al.* Study on optimum extraction and properties of watery insoluble dietary fiber from tea sillage by response surface methodology [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2015, 36(10): 249–253, 258.
- [5] Lecumberri E, Mateos R, María IP, *et al.* Dietary fibre composition, antioxidant capacity and physico-chemical properties of a fibre-rich product from cocoa (*Theobroma cacao* L.) [J]. *Food Chem*, 2007, 104(3): 948–954.
- [6] 高哲, 张志军, 李会珍, 等. 火麻资源综合加工及产品开发展进 [J]. *中国粮油学报*, 2019, 34(3): 141–146.
- Gao Z, Zhang ZJ, Li HZ, *et al.* Research progress of the comprehensive processing and product development of hemp resources [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*, 2019, 34(3): 141–146.
- [7] 魏承厚, 牛德宝, 任二芳, 等. 火麻仁的产品开发与综合利用进展研究 [J]. *食品工业*, 2019, 40(2): 267–270.
- Wei CH, Niu DB, Ren EF, *et al.* Research advance on product development and comprehensive utilization of hemp [J]. *Food Ind*, 2019, 40(2): 267–270.
- [8] 田兆飞, 刘诗涵, 李立佳, 等. 火麻仁及其制品研究进展 [J]. *农业科技与装备*, 2017, (12): 53.
- Tian ZF, Liu SH, Li LJ, *et al.* Research progress on hemp seed and its products [J]. *Agric Sci Technol Equip*, 2017, (12): 53.
- [9] 高晓龙, 谭传波, 郝泽金. 火麻籽油超临界萃取工艺的研究 [J]. *中国粮油学报*, 2016, 31(6): 108–111.
- Gao XL, Tan CB, Hao ZJ. Research on supercritical extraction technology of light-colored hemp seed oil [J]. *J Chin Cereals Oils Assoc*, 2016, 31(6): 108–111.
- [10] 李晓君, 韩飞燕, 寇君, 等. 酶辅助火麻蛋白提取工艺的研究 [J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(9): 17–21.
- Li XJ, Han FY, Kou J, *et al.* Research progress on enzyme-assisted extraction of hempseed protein [J]. *Cereals Oils*, 2019, 32(9): 17–21.
- [11] Gianfranco M, Gianluca P, Alessia R, *et al.* Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolates [J]. *Food Res Int*, 2019, 115: 562–571.
- [12] 吴俊锋. 火麻资源副产物深加工应用研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- Wu JF. Application studies on deep processing of hemp (*Cannabis sativa* L.) resources by-products [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.
- [13] GB/T 5009. 88–2014 食品中膳食纤维的测定 [S].
- GB/T 5009. 88–2014 Determination of dietary fiber in food [S].
- [14] Ma M, Mu T. Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin [J]. *Food Chem*, 2016, 194: 237–246.
- [15] 李建周, 陈晓华, 罗思诗. 豆渣中水不溶性膳食纤维的提取及性质研究 [J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(7): 29–33.
- Li JZ, Chen XH, Luo SS. Study on the extraction and properties of water-insoluble dietary fiber from bean dregs [J]. *Food Res Dev*, 2017, 38(7): 29–33.
- [16] Wen Y. Structural characteristics and functional properties of rice bran dietary fiber modified by enzymatic and enzyme-micronization treatments [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2017, 75: 344–351.
- [17] 周小理, 钱韻芳, 周一鸣, 等. 不同处理工艺对苦荞麸皮膳食纤维体外抗氧化活性的影响研究 [J]. *食品科学*, 2011, 32(8): 1–4.
- Zhou XL, Qian JF, Zhou YM, *et al.* Effect of different processing technology on antioxidant activity of tartary buckwheat bran dietary fiber *in vitro* [J]. *Food Sci*, 2011, 32(8): 1–4.
- [18] 陈灵然, 王琴. 蕨麻多糖的提取及其清除自由基的作用 [J]. *中国兽医科技*, 2004, (4): 59–62.
- Chen JR, Wang Q. Extraction of potentilla anserine polysaccharide and its effects of scavenging oxygen free radicals [J]. *Chin Veter Sci Technol*, 2004, (4): 59–62.
- [19] 杜艳, 朱彩平. 酶法提取石榴皮不溶性膳食纤维的工艺条件优化 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(19): 6674–6678.
- Du Y, Zhu CP. Optimization of process conditions for extracting pomegranate skin insoluble dietary fiber by enzymatic method [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(19): 6674–6678.
- [20] Sangnark A, Noomhorm A. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse [J]. *Food Chem*, 2003, 80(2): 221–229.
- [21] 王崇队, 张明, 杨立风, 等. 不同来源膳食纤维品质分析及抗氧化活性研究 [J]. *食品科技*, 2019, 44(5): 78–83.
- Wang CD, Zhang M, Yang LF, *et al.* Quality analysis and antioxidant activity of dietary fiber from different sources [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(5): 78–83.
- [22] 姜龙波, 王雷, 董吉林, 等. 小米糠水溶性非淀粉多糖抗氧化活性研究 [J]. *粮食与油脂*, 2019, 32(12): 98–101.
- Jiang LB, Wang L, Dong JL, *et al.* Study on antioxidant activity of water-soluble non-starch polysaccharides of millet bran [J]. *Cereals Oils*, 2019, 32(12): 98–101.
- [23] 周淑仪, 李敏. 百香果皮可溶性膳食纤维酶法提取及性质研究 [J]. *食品科技*, 2019, 44(7): 283–290.
- Zhou SY, Li M. The enzymatic extraction and characteristics of soluble dietary fiber from passion fruit peel [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(7): 283–290.
- [24] 唐健民, 韦霄, 邹蓉, 等. 食药同源植物火麻的研究进展及开发策略 [J]. *广西科学院学报*, 2019, 35(1): 5–9, 87.
- Tang JM, Wei X, Zou R, *et al.* Research progress and development strategy of edible and medicinal homologous plant *Cannabis sativa* L [J]. *J Guangxi Acad Sci*, 2019, 35(1): 5–9, 87.
- [25] Wen Y, Niu M, Zhang B, *et al.* Structural characteristics and functional properties of rice bran dietary fiber modified by enzymatic and enzyme-micronization treatments [J]. *Lwt-Food Sci Technol*, 2017, 75: 344–351.
- [26] 杨梦曦, 朱叶, 邓雪盈, 等. 复合酶法提取豆渣膳食纤维的研究 [J]. *食品与机械*, 2014, 30(4): 186–189.
- Yang MX, Zhu Y, Deng XY, *et al.* Research on extraction of dietary fiber from soybean dregs by complex enzyme [J]. *Food Mach*, 2014, 30(4): 186–189.
- [27] 朱丹, 朱立斌, 牛广财, 等. 沙果渣膳食纤维超高压处理条件优化及其微观结构表征 [J]. *天然产物研究与开发*, 2020, 32(1): 118–126.
- Zhu D, Zhu LB, Niu GC, *et al.* Optimization on ultra high pressure

- processing conditions and microstructural characteristics of the dietary fiber from *malus asiatica* nakai residue [J]. *Nat Product Res Dev*, 2020, 32(1): 118–126.
- [28] 张艳莉, 王颖, 王迪, 等. 芸豆渣膳食纤维超声辅助酶法提取工艺优化及特性研究[J]. *食品与机械*, 2019, 35(10): 201–205.
Zhang YL, Wang Y, Wang D, *et al.* Optimization of ultrasonic assisted enzymatic extraction of dietary fiber from light speckled kidney kidney bean [J]. *Food Mach*, 2019, 35(10): 201–205.
- [29] 李晗, 杨宗玲, 毕永雪, 等. 超声辅助酶法提取西番莲果皮可溶性膳食纤维及理化性质[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(7): 161–165, 172.
Li H, Yang ZL, Bi YX, *et al.* Extraction of soluble dietary fiber from *Passiflora edulis* peel by ultrasonic assisted enzymatic method and its physicochemical properties [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(7): 161–165, 172.
- [30] Zhang F. Microstructure characteristics of tea seed dietary fibre and its effect on cholesterol, glucose and nitrite ion adsorption capacities *in vitro*:

a comparison study among different modifications [J]. *Int J Food Sci Technol*, 2019.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



聂梦琳, 主要研究方向为食品营养与功能性食品。

E-mail: 374879401@qq.com



李全阳, 教授, 主要研究方向为膳食营养与健康长寿。

E-mail: liquanyang@gxu.edu.cn