

低温连续相变制备酱油渣膳食纤维及其特性研究

张泳¹, 赵力超¹, 贺丽苹², 赖颖仪¹, 姚雪怡¹, 曹庸¹

(1. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642) (2. 华南农业大学测试中心, 广东广州 510642)

摘要: 酱油渣是营养价值丰富但又未能合理利用的工业副产物, 从中回收膳食纤维具有废物利用和环境保护的意义。本文利用自主研发的低温连续相变萃取技术制备酱油渣不溶性膳食纤维 (IDF), 在前期单因素试验基础上, 以 IDF 得率为指标, 对技术参数进行响应面优化, 然后辅以水洗、酶解工艺对 IDF 进行纯化。同时, 本文研究了酱油渣 IDF 的功能特性, 并通过电镜初步阐释其微观形貌与功能特性的机理关系。结果表明, 最佳技术条件为萃取压力 0.5 MPa、萃取温度 45 °C、萃取时间 67 min、原料颗粒度 50 目, 制备得到油脂含量 <1% 的粗 IDF。再辅以纯化工艺, 酱油渣 IDF 的纯度达 70.9±0.28%。功能测试表明, 酱油渣 IDF 具有优良的膳食纤维特性, 其持水力、膨胀力和吸油力分别为 6.65±0.07 g/g、5.83±0.11 mL/g 和 2.23±0.03 g/g。与市售大豆 IDF 产品相比, 其吸油力尤为显著。扫描电镜表明, 酱油渣 IDF 良好功能特性与该技术下其形成的网状疏松纤维骨架结构有关。

关键词: 酱油渣; 低温连续相变萃取; 废物利用; 膳食补充剂; 工艺优化; 扫描电镜

文章编号: 1673-9078(2014)5-185-190

Preparation and Characterization of Soy Sauce Residue Dietary Fiber using Low Temperature Continuous Phase Transition Extraction

ZHANG Yong¹, ZHAO Li-chao¹, HE Li-ping², LAI Ying-yi¹, YAO Xue-yi¹, CAO Yong¹

(1. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(2. Instrumental Analysis & Research Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Soy sauce residues (SSR) were the main by-products of soy sauce fermentation, which contained a large amount of valuable components but failed to be reused reasonably. Recycling the dietary fiber (DF) from SSR could make good use of the waste and remedy the issue of environmental hazards. The SSR insoluble dietary fiber (IDF) was prepared by a novel method of low temperature continuous phase transition extraction. Based on previous single factor experiments, the process parameters were optimized through the response surface methodology (RSM) for maximum IDF yield. Washing and enzymolysis were accompanied for purification. The functional characteristics of SSR IDF were investigated. In combination with the scanning electron microscopy (SEM), mechanism of the relationship between its microstructure and functional characteristics was explained preliminarily. Results showed that the best extraction conditions were 50 mesh raw material, extraction reagent n-butane solvent, extraction pressure 0.5 MPa, extraction temperature, 45 °C and extraction time 67 min, under which the oil content of obtained IDF was less than 1%. After purification, the purity could reach as high as 70.9±0.28%. Functional tests showed that SSR IDF had good features, and water holding capacity, expansibility and oil binding ability were 6.65±0.07 g/g, 5.83±0.11 mL/g and 2.23±0.03 g/g, respectively. Compared with commercially available soybean IDF products, the oil binding ability of SSR IDF was particularly significant. From the SEM figures, the good functional characteristics of SSR IDF were related to its loose structure formed by the cellulose.

Key words: soy sauce residue; low temperature continuous phase transition extraction; waste utilization; dietary supplement; process optimization; scanning electron microscopy

酱油渣 (soy sauce residue, SSR) 又称酱渣, 是

收稿日期: 2013-11-18

基金项目: 国家自然科学基金 (31301445)

作者简介: 张泳 (1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事功能食品加工技术;
赵力超 (1979-), 并列第一作者

通讯作者: 曹庸 (1966-), 男, 博士, 教授, 主要从事天然产物与功能性食品开发研究

酱油制作过程中的主要副产物, 根据中国酱油市场的规模估算, 2013 年酱油渣的产量高达 163 万 t (干重)^[1]。目前酱渣多以低附加值方式处理, 如简单处理后作为饲料或肥料, 还有部分未加处理而简单掩埋, 残留的高盐分会严重污染环境。实际上, 由于酿造酱油的淀粉质原料主要为大豆、小麦或麸皮等, 纤维素含量高, 在发酵过程中不易被微生物分解利用, 大部分

仍留在渣中^[2-3]。膳食纤维(dietary fiber, DF)是指不能被人体小肠消化吸收,而在大肠中能被部分或全部发酵的可食用植物性来源的碳水化合物及其类似物的总和,具有预防便秘、降低血清胆固醇、减肥和抗癌等功效^[4],是理想的功能性保健食品基料。其开发来源包括豆类、小麦、玉米、甜菜和胡萝卜等。相对于植物体原料,从酱油渣回收膳食纤维不仅原料来源充足,成本低廉,还具有废物利用、清洁卫生和环境保护等意义。

然而,发酵后的大豆结构发生了改变,残留的油脂吸附在酱油渣纤维素和蛋白质形成的毛细管结构中,难以去除,从根本上限制了酱油渣的综合利用^[1]。针对这一难题,本研究利用自主研发的新型技术-低温连续相变萃取技术(low temperature continuous phase transition extraction),在脱脂的基础上制备膳食纤维。该技术是利用萃取剂在不同压力和温度下的两相变化,以及一定压力下萃取剂的强穿透性,高效地脱除油脂。低温连续性体现在,萃取剂在低于其临界压力和临界温度条件下压缩成液体(压力0.5~0.8 MPa,温度40~50℃),流经萃取釜对物料进行萃取后,在解析釜中相变为气体,实现溶剂和萃取物的分离,气态萃取剂再次经过压缩又成液体,二次流经萃取釜,对物料进行反复萃取^[5]。整个工艺过程反应条件温和,无污染,无有毒有害物生成^[6],对酱油渣中的活性成分具有保护作用,同时获得的膳食纤维产品具有独特的结构特点和功能特性。在该技术的基础上,本文利用响应面法优化了技术参数,并结合水洗、酶解工艺对产品进行纯化。文章最后对终产品进行了持水力、膨胀力、吸油力等理化指标的测定,并辅以扫描电镜观察加工过程中酱油渣IDF的微观形貌,初步阐释其微观形貌与功能特性的机理关系,以及酱油渣中油脂、蛋白、纤维的结合方式,为膳食纤维构效关系的机理研究提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

酱油渣,珠江桥生物科技股份有限公司;鲜黄豆、食用豆油,购于当地市场;α-淀粉酶、葡萄糖苷酶,美国Sigma公司;蛋白酶、纤维素酶,上海源聚生物科技有限公司产品;商业膳食纤维,广州海莎生物科技有限公司;丁烷,广州深岩燃气有限公司;无水乙醇、重铬酸钾、氢氧化钠、盐酸等均为分析纯,广州湘喜生物科技有限公司。

低温连续相变萃取装置,华南农业大学天然活性

物研究中心自主研发;鼓风干燥箱,DHG9070,上海齐欣科学仪器有限公司;中药粉碎机,119型,浙江瑞安永历制药机械;数显恒温水浴箱,600,维城试验器材有限公司;环境扫描电子显微镜,XL-30-EXEM,荷兰FEI有限公司;离子溅射仪,SCD500,瑞士Bal-Tec有限公司;紫外可见分光光度计,上海尤尼柯仪器有限公司;电子天平,JA2003,上海精密科学仪器厂;高速台式离心机,TGL-16G,上海安亭仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 酱油渣 IDF 制备工艺

酱油渣 IDF 工艺流程:

酱油渣→烘干→粉碎→过筛→低温连续相变提取→粗IDF→水洗→蛋白酶酶解→抽滤→烘干→终产品

其中低温连续相变工艺单因素试验结果表明工艺温度、工艺时间和原料颗粒度是影响得率的最主要三个因素,而萃取压力影响不大,可设定为0.5 MPa。因此应用Design Expert(7.1.3)软件中Box-Behnken设计3因素3水平的响应曲面优化方案,选取温度(X_1)、时间(X_2)和原料颗粒度(X_3)为自变量,以IDF得率为响应值,试验因素水平表如表1所示。IDF得率(%)为提取物中IDF质量(g)与提取物(g)的比值。

表1 Box-Behnken设计试验因素水平及编码

Table 1 Level and code of variables for Box-Behnken design

编码	$X_1/^\circ\text{C}$	X_2/min	$X_3/\text{目}$
-1	40	45	40
0	45	60	60
+1	50	75	80

注: X_1 =温度、 X_2 =时间、 X_3 =原料颗粒度。

1.2.2 酱油渣 IDF 成分分析

水分测定参考直接干燥法(GB/T 5009.3-2010);灰分测定参考(GB/T 5009.4-2010);蛋白质测定参考凯氏定氮法(GB/T 5009.5-2010);IDF测定参考中性洗涤剂法(GB/T 5009.88-2008);脂肪测定参考索氏提取法(GB/14772-2008);粗纤维测定参考(GB/T 5009.10-2003)。

1.2.3 酱油渣 IDF 功能特性检测

酱油渣 IDF 功能特性检测参考Sangnark^[7]的方法,测定、持水力和膨胀力,其中持水力和膨胀力分别各设置两组,模拟体外的小肠(pH=7)和胃(pH=2)条件。具体计算公式如下:

$$\text{吸油力}(\text{g/g})=(m_1-m_2)/m_2 \quad (1)$$

$$\text{持水力}(\text{g/g})=(m_3-m_2)/m_2 \quad (2)$$

$$\text{膨胀力}(\text{mL/g})=(V_1-V_2)/m_2 \quad (3)$$

注: m_1 -样品吸油后质量(g), m_2 -样品干质量(g), m_3 -样品吸水后质量(g), V_1 -样品吸水后体积(mL), V_2 -干品体积(mL)。

1.2.4 扫描电镜分析

利用扫描电镜法分析原酱油渣、酱油渣粗 IDF、脱脂黄豆、经纤维素酶处理的酱油渣粗 IDF、终产品酱油渣 IDF 和市售大豆膳食纤维在形貌上的异同, 阐释 IDF 性质和微观结构的关系。将样品分别裱在铜桩上面, 置于离子溅射仪中, 在 10 mA 电流的条件下喷镀铂金 1.5 min, 使材料表面上镀上一层铂膜, 然后利用环境扫描电子显微镜观察拍照 (加速电压 20 kV、温度 20 °C、相对湿度 65%), 得到两种倍数的图片 ($\times 1600$ 和 $\times 3200$)。

1.2.5 数据处理

以上所有试验数据平行测定 3 次, 结果用平均值 \pm 标准偏差表示, 采用 Statistica 6.0 软件对数据进行统计分析。

2 结果与讨论

2.1 低温连续相变工艺参数的优化

Box-Behnken 试验设计和结果如表 2 所示。利用 Design Expert 对表 2 试验数据进行二次多项回归拟合, 分别获得酱油渣 IDF 得率 Y 对低温连续相变工艺参数的温度 X_1 、时间 X_2 和颗粒度 X_3 的多元回归方程。

$$Y = 24.97 + 0.13X_1 + 0.17X_2 - 0.75X_3 - 0.057X_1X_2 + 0.29X_1X_3 + 0.17X_2X_3 - 1.37X_1^2 - 0.24X_2^2 + 0.44X_3^2 \quad (4)$$

酱油渣 IDF 得率二次回归方程方差分析结果见表 3, 对模型方程 (4) 方差分析结果表明, 方程具有极显著性 ($P < 0.0001$), 且决定系数为 0.9858, 说明响应值的变化有 98.58% 来源于所选变量, 模型能够很好地描述各因素与响应值之间的真实关系。模型失拟项表示模型预测值与实际值不拟合的概率, 表 3 中模型失拟项 $P > 0.05$, 差异不显著, 表明试验误差小, 模型建立的回归方程能较好地解释响应结果并预测最佳提取工艺条件。一次项中 X_2 、 X_3 偏回归系数均显著, 而且 X_2 为极显著, 说明萃取时间、原料颗粒度对 IDF 得率具有显著影响。3 个因素在试验过程中, 对 IDF 得率的影响顺序为原料颗粒度 $>$ 萃取时间 $>$ 萃取温度。通过软件求解方程, 得出最优工艺条件为萃取温度(X_1) 45.45 °C, 萃取时间(X_2) 66.6 min, 原料颗粒度(X_3) 51.2 目。考虑到实际操作的可行性, 将该条件修正为萃取温度 45 °C, 萃取时间 67 min, 原料颗粒度 50 目。由回归方程预测 IDF 得率理论可达 25.19%。为检验结果的可靠性, 采用修正条件进行 3 次平行验证试验, 结

果平均得率为 25.89 \pm 0.55%, 与模型预测值吻合良好, 表明模型合理有效。

表 2 Box-Behnken 设计表及试验结果

Table 2 Box-Behnken design matrix and experimental results

序号	$X_1/^\circ\text{C}$	X_2/min	$X_3/\text{目}$	Y/%
1	0	-1	1	23.09 \pm 0.03
2	-1	0	1	22.18 \pm 0.07
3	0	1	-1	25.15 \pm 0.12
4	-1	0	-1	24.06 \pm 0.16
5	1	0	1	22.84 \pm 0.14
6	0	1	-1	23.80 \pm 0.09
7	0	0	0	25.07 \pm 0.17
8	1	-1	0	23.48 \pm 0.23
9	0	-1	-1	25.11 \pm 0.06
10	0	0	0	24.90 \pm 0.28
11	-1	-1	0	22.93 \pm 0.12
12	1	1	0	23.67 \pm 0.08
13	0	0	0	25.00 \pm 0.11
14	0	0	0	24.76 \pm 0.19
15	1	0	-1	23.57 \pm 0.08
16	-1	1	0	23.35 \pm 0.20
17	0	0	0	25.10 \pm 0.07

注: X_1 =温度、 X_2 =时间、 X_3 =原料颗粒度。

表 3 酱油渣 IDF 得率回归方程方差分析表

Table 3 Analysis of variance for fitted quadratic polynomial model of SSR IDF

变异来源	自由度 df	平方和 SS	均方 MS	F 值	P 值
模型	9	14.75	1.64	53.94	<0.0001
X_1	1	0.14	0.14	4.45	0.0728
X_2	1	0.23	0.23	7.61	0.0281
X_3	1	4.47	4.47	147.17	<0.0001
X_1X_2	1	0.013	0.013	0.44	0.5305
X_1X_3	1	0.33	0.33	10.89	0.0131
X_2X_3	1	0.11	0.11	3.69	0.0960
X_1^2	1	7.87	7.87	258.95	<0.0001
X_2^2	1	0.25	0.25	8.10	0.0248
X_3^2	1	0.80	0.80	26.44	0.0013
残差	7	0.21	0.030		
失拟项	3	0.14	0.045	2.36	0.2124
纯误差	4	0.077	0.019		
总变异	16	14.96			
		$R^2 = 0.9858$			

2.2 酱油渣 IDF 成分分析

酱油渣、粗 IDF、纯化 IDF 以及市售膳食纤维的主要成分如下表 4 所示。

表 4 不同样品的的主要成分(%)

Table 4 Main components of different samples (%)

	油脂	蛋白	IDF	灰分
酱油渣	29.2±0.68 ^{Aa}	21.8±0.57 ^C	18.1±0.82 ^D	29.5±1.02 ^C
粗 IDF	0.62±0.18 ^{Cd}	29.3±0.84 ^A	25.9±0.32 ^C	43.3±0.69 ^A
纯化 IDF	1.78±0.12 ^{Bc}	15.82±0.24 ^B	70.9±0.28 ^B	8.56±0.37 ^B
市售膳食纤维	2.67±0.23 ^{Bb}	14.32±0.31 ^D	78.3±0.52 ^A	5.04±0.69 ^D

注：同行肩标不同小写字母表示差异显著 (p<0.05)，肩标不同大写字母表示差异极显著 (p<0.01)，同行数据无肩标或肩标字母相同表示差异不显著 (p>0.05)。

从上表可以看出利用自主研发的低温连续相变技术进行脱脂，油脂含量从 29.2% 降到 0.62%，几乎被完全去除，差异极显著 (p<0.01)。传统的压榨方法几乎不能将酱油渣中的油脂压榨出来，这与蛋白质的过度变性使得体系榨料塑性降低，不能建立良好的炸膛压力有关，并且其中的磷脂、蛋白是良好的表面活性剂，大大降低油、水之间的界面张力，使体系发生乳化^[8]，使得附着在毛细管结构中的油脂难以去除。低温连续相变技术制备的粗 IDF 中剩下的主要杂质为粗蛋白和灰分。再经过水洗酶解工艺后，IDF 含量从 25.9% 提高到 70.9%，有明显纯化效果 (p<0.01)。该技术为开发利用酱油渣的膳食纤维提供了良好的基础条件，从制备到纯化整个工艺流程操作简单，方便可行。

2.3 酱油渣 IDF 的功能性质

酱油渣 IDF 的吸油力、持水力和膨胀力数据见图 1。

由图 1 可以看出，在 0~25 h 的试验时间里，酱油渣 IDF 的吸油力、持水力和膨胀力基本都是随着时间的延长而增大，在 24 h 达到最大值。其中，对比体外模拟的小肠和胃两种环境，对于持水力和膨胀力，在相同时间都是小肠环境下的特性更优。随后在 25~30 h 里，三个指标均出现了不同程度的下降；并且可以明

显发现模拟的胃环境要比小肠环境下下降速度快。膳食纤维的吸油特性可以能将机体摄入过多的油脂吸附后排除体外，从而减少脂肪的吸收，降低肥胖的概率^[9]。在机体中膳食纤维的持水特性和膨胀性可增加人体排便体积和速度，减轻直肠压力，减少结肠癌的发生^[10]，同时在生产中可以稳定组织结构，延长烘焙食品的货架期，改善口感。高品质膳食纤维要求膨胀性≥7 g/g，持水力≥5 g/g^[11]，酱油渣 IDF 持水力在两种模拟的环境下均>5 g/g，而膨胀性在小肠环境下稍低于 7 g/g。总体而言，制备的酱油渣 IDF 有较好的吸油力、持水力和膨胀性，整个制作工艺简单，只需经过低温连续相变脱脂、水洗脱灰分和酶解蛋白质后即可制备出高纯度的膳食纤维，有很大的开发利用价值。

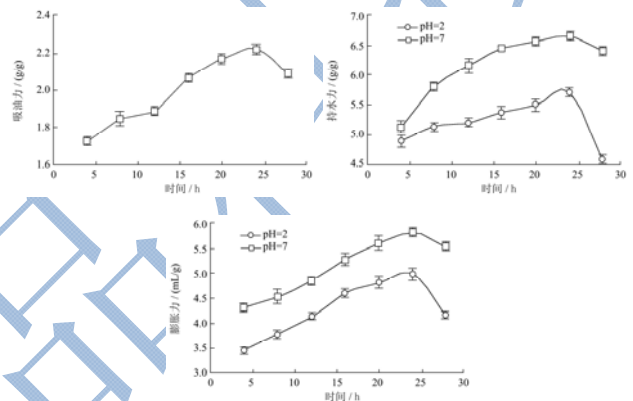


图 1 酱油渣 IDF 的吸油力、持水力和膨胀力

Fig.1 Oil binding capacity, water binding capacity and swollen capacity of SSR IDF

酱油渣 IDF 与市售大豆膳食纤维产品的功能特性对比见表 5。

结合表 4、表 5 可知，酱油渣 IDF 终产品虽然纯度比市售大豆膳食纤维产品低 8%，但吸油力及在小肠环境下的持水力与市售大豆 IDF 产品的水平一致，差异不显著 (p>0.05)，而其他指标略低于市售产品。酱油渣 IDF 的持水性和膨胀性在小肠环境下的数值均比在胃环境中要高，而市售大豆 IDF 产品的趋势刚好相反，这可能与酱油渣 IDF 经过发酵后产生的结构变化有关。

表 5 酱油渣 IDF 与市售大豆 IDF 产品的功能特性对比

Table 5 Functional properties between SSR IDF and commercial soybean IDF products

	吸油力/(g/g)	持水力 (胃)/(g/g)	持水力 (肠)/(g/g)	膨胀性 (胃)/(mL/g)	膨胀性 (肠)/(mL/g)
酱油渣 IDF	2.23±0.03 ^a	5.72±0.08 ^A	6.65±0.07 ^a	5.00±0.09 ^A	5.83±0.11 ^A
市售大豆膳食纤维	2.23±0.08 ^a	7.56±0.11 ^B	6.68±0.04 ^a	8.96±0.14 ^B	8.2±0.17 ^B

注：试验数据取值于 24 h；同行肩标不同小写字母表示差异显著 (p<0.05)，肩标不同大写字母表示差异极显著 (p<0.01)，同行数据无肩标或肩标字母相同表示差异不显著 (p>0.05)。

2.4 扫描电镜观察微观形貌

原酱油渣、酱油渣粗 IDF、脱脂黄豆、经纤维素酶处理的酱油渣粗 IDF、终产品酱油渣 IDF 和市售大豆膳食纤维的扫描电镜图如图 2 所示。

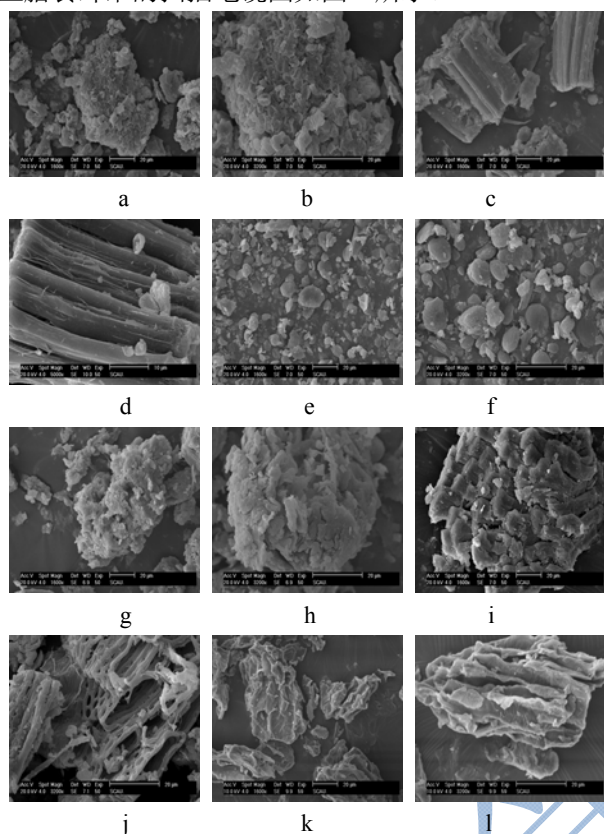


图 2 酱油渣及不同膳食纤维的扫描电镜图

Fig.2 SEM figures of SSR and different DFs

注: a.原酱渣(1600×); b.原酱渣(3200×); c.酱油渣粗 IDF(1600×); d.酱油渣粗 IDF(3200×); e.脱脂鲜黄豆(1600×); f.脱脂鲜黄豆(3200×); g.经纤维素酶处理的酱油渣粗 IDF(1600×); h.经纤维素酶处理的酱油渣粗 IDF(3200×); i.终产品酱油渣 IDF(1600×); j.终产品酱油渣 IDF(3200×); k.市售大豆膳食纤维(1600×); l.市售大豆膳食纤维(3200×)。

从图 2a、b 可以看出, 酱油渣在酱油酿制过程中经过微生物发酵作用, 部分蛋白质被微生物利用, 颗粒已经不再光滑, 露出部分纤维骨架, 但因为油脂的存在, 纤维素、蛋白质和油脂紧密结合, 进而结成大块结构致密的团状物。团状物表面有很多油脂小颗粒, 相互镶嵌吸附, 掩盖住纤维的结构。而经过低温连续相变技术提取的酱油渣粗 IDF (图 2c、d) 显露出纤维骨架, 形成大块长条簇状物, 长条之间呈现规则的沟槽形态, 彼此之间有一定的缝隙, 整体结构相对完整、紧密。之前酱油渣表面布满的脂肪粒几乎全部去除。簇状物表面和缝隙还有一些颗粒状物填充在其中, 是和纤维素紧密结合的蛋白。图 2e、f 是鲜黄豆

脱脂后的电镜图, 从图中可以看出, 未经微生物发酵作用的脱脂黄豆渣呈现椭圆型形貌, 表面光滑, 结构规则完整, 是纤维素和蛋白质紧密结合的颗粒物。

试验尝试用纤维素酶酶解酱油渣粗 IDF(图 g、h), 目的是考察蛋白分离的可能性^[12], 结果发现, 虽然经过纤维素酶处理后, 酱油渣粗 IDF 的团簇物外部结构被破坏, 原来表面的长条大都断裂, 变得短细破碎, 但内部结构仍是较为紧密, 蛋白质和纤维素无法进一步分离。

从图 2i 可以看出, 经过脱盐脱蛋白工艺的终产品酱油渣 IDF 长条形态仍然完整, 基本保留了酱油渣粗 IDF 的形貌, 但在蛋白酶的作用下部分蛋白质会被酶解除去^[13], 内部多了很多的孔洞(图 2j), 之前的团簇状组成变得较为蓬松。从图 2k、l 可以看出, 市售大豆膳食纤维产品微观形貌也是有较多的长条簇状物, 彼此之间有较大的缝隙, 结构疏松, 但没有观察到低温连续相变技术得到的酱油渣 IDF 的规律状网状结构。推测这中结构的形成与酱油渣的微生物发酵过程有关, 也和该技术除油过程中对骨架结构的维持有关。结合图 1, 可以初步揭示酱油渣 IDF 较好的功能特性, 尤其是吸油性能, 与其呈现出的网状疏松结构具有密切关系。

3 结论

3.1 利用自主研发的低温连续相变萃取技术, 以丁烷为萃取剂, 在萃取压力 0.5 MPa、原料颗粒度 50 目、萃取温度 45 °C 和萃取时间 67 min 的条件下对酱油渣 IDF 进行提取, 制备得到油脂含量 <1% 的酱油渣粗 IDF。粗 IDF 含量为 25.89±0.55%, 其他组分主要为粗蛋白和灰分。粗 IDF 再进行水洗、酶解工艺, 即可制备出纯度为 70.9±0.28% 酱油渣 IDF。整个工艺流程简单方便。

3.2 经性质测定, 酱油渣 IDF 吸油力为 2.23±0.03 g/g, 优于商业大豆膳食纤维, 持水力和膨胀力在模拟的肠环境下均比胃环境下要高, 分别为 6.65±0.07 g/g 和 5.83±0.11 mL/g, 符合高品质膳食纤维要求。扫描电镜结果表明, 低温连续相变技术去除油脂的能力显著, 但酱油渣中的蛋白质和纤维素结合紧密阻碍了产品纯度的进一步提高, 此外酱油渣 IDF 良好的功能特性与其网状疏松的结构有关。

参考文献

- [1] 陈敏, 吴昊. 酱油渣再利用的研究进展[J]. 中国调味品, 2011, 36(8):19-23
CHEN Ming, WU Hao. Research development on the

- reutilization of soy sauce residue [J]. *China Condiment*, 2011, 36(8): 19-23
- [2] Pedroncelli B, Bonton J. Causes of accidents by soy sauce squeezing residue and fish meal [J]. *European Journal of Material Engineering*, 2009, 2: 1-7
- [3] Hosoda K, Miyaji M, Matsuyama H, et al. Digestibility, ruminal fermentation, nitrogen balance and methane production in holstein steers fed diets containing soy sauce cake at 10 or 20% [J]. *Animal Science Journal*, 2012, 83(3): 220-226
- [4] Anderson J W, Baird P, Davis Jr R H, et al. Health benefits of dietary fiber [J]. *Nutrition reviews*, 2009, 67(4): 188-205
- [5] 曹庸. 一种连续相变萃取酱油渣油脂的方法: 中国, CN103173280A[P]2013.06.26
CAO Yong. A continuous phase transition extraction method of soy sauce residue oil: China, CN103173280A[P] 2013.06. 26
- [6] Miao J, Che K, Xi R, et al. Characterization and benzo(a)pyrene content analysis of camellia seed oil extracted by a novel subcritical fluid extraction [J]. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2013, 90: 1-6
- [7] Sangnark A, Noomhorm A. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse [J]. *Food Chemistry*, 2003, 80(2): 221-229
- [8] 钟振声, 王亚丽, 齐玉堂, 等. 酱油渣中油脂的提取及其质量指标分析[J]. *中国油脂*, 2006, 31(11): 21-23
- ZHONG Zhen-sheng, WANG Ya-li, QI Yu-tang, et al. Extraction and quality analysis of soy sauce residue [J]. *China Oils and Fats* 2006, 31(11): 21-23
- [9] Hsu P K, Chien P J, Chen C H, et al. Carrot insoluble fiber-rich fraction lowers lipid and cholesterol absorption in hamsters [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2006, 39(4): 338-343
- [10] Bingham S A, Day N E, Luben R, et al. Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): an observational study [J]. *The Lancet*, 2003, 361(9368): 1496-1501
- [11] 王亚丽. 酱油渣资源再利用的科学研究[D]. 华南理工大学, 2007
WANG Ya-li. Scientific research of soy sauce residue reuse [D]. South China University of Technology, 2007
- [12] 赵欣, 刘苏. 亚麻纤维在传统前处理工艺过程中的微观结构变化[J]. *黑龙江纺织*, 2012, 2: 8-10
ZHAO Xin, LIU Su. The investigation of the micro-structure of linen fibers in the traditional pre-treatment process [J]. *HeiLongJiang Textile*, 2012, 2: 8-10
- [13] 陈东生, 何军, 王建刚, 等. 莲纤维的形态研究[J]. *纤维素科学与技术*, 2008, 17(1): 57-60
CHEN Dong-sheng, HE Jun, WANG Jian-gang, et al. Analysis on microstructure of lotus fibers [J]. *Journal of Textile Research*, 2008, 17(1): 57-60