

响应面法优化超声辅助酶法 提取米糠水溶性膳食纤维

朱凤霞,梁盈*,林亲录,邓学良,刘颖,鲁倩,王荣

(稻谷及副产物深加工国家工程实验室,中南林业科技大学,湖南长沙 410004)

摘要:以米糠为原料,采用超声辅助酶法提取米糠水溶性膳食纤维,探讨加酶量、超声时间、超声功率和料液比对得率的影响,以水溶性膳食纤维的得率为响应值,通过Box-Behnken实验设计进行超声辅助酶法提取米糠水溶性膳食纤维的工艺优化研究。结果表明:影响米糠水溶性膳食纤维得率的主次因素依次为加酶量、料液比、超声时间、超声功率,最佳提取工艺为酶终浓度5.3%、超声时间5min、超声功率415W、料液比1:24(g/mL)。在此条件下,米糠水溶性膳食纤维得率最高,预测值为9.22%,验证实验得到的得率为9.36%。

关键词:米糠,水溶性膳食纤维,超声,纤维素酶,响应面分析

Optimization of progress for water soluble dietary fiber from rice bran with ultrasonics-enzymatic method by response surface methodology

ZHU Feng-xia, LIANG Ying*, LIN Qin-lu, DENG Xue-liang, LIU Ying, LU Qian, WANG Rong

(National Engineering Laboratory for Rice and By-product Deep Processing, Center South University of Forestry & Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: The water soluble dietary fiber was extracted from rice bran by ultrasonics-enzymatic method. Based on the single experiment, the extraction yield of water soluble dietary fiber as the response value, the best condition of soluble dietary fiber extraction was optimized by Box-Behnken experiment design and surface analysis. At last, the results showed that enzyme amount had the greatest impact on the extraction of water soluble dietary fiber, followed by liquid-solid ratio of rice bran and ultrasonic time, ultrasonic power affected least. The optimum extraction conditions were enzyme amount 5.3%, liquid-solid ratio 1:24(g/mL), extraction time 5min, and ultrasonic power 415w. Under this condition, the theory value of the extraction rate of the water soluble dietary fiber was 9.22%, the actual operation of the experiment turned out to be 9.36%.

Key words: rice bran; water soluble dietary fiber; ultrasound; cellulase; response surface methodology

中图分类号: TS213.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2015)14-0194-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.14.032

膳食纤维(DF, dietary fiber)是指不能被人体胃肠道中的酶所消化而吸收利用的碳水化合物,被称为第七营养素^[1],可吸附胆酸钠、亚硝酸根等对人体有害的物质^[2],有效减少和预防心血管疾病^[3]、糖尿病^[3-4]、痔疮^[5]、食道癌^[6]、肥胖症^[7]、肿瘤和结肠癌^[8-9]等疾病的发生,具有突出的保健功能。其中水溶性膳食纤维(SDF, water soluble dietary fiber)包括果胶、树胶和葡聚糖等,可清除外源有害物质和体内自由基,预防和治疗心脑血管疾病、高血压,有抗癌防癌、增强机体免疫力、抗氧化、抗衰老等生理功效^[10-11]。米糠是稻谷生产加工所得的副产物,在我国常用作饲料,

用于榨油或提取价值较高营养物质的米糠仅占10%~15%^[12]。稻谷中约有65%的营养成分分布于米糠中^[13],在国外米糠被称为“天赐营养源”,目前对米糠主要营养成分的研究包括米糠油、糠蜡、米糠蛋白、谷维素、谷甾醇、膳食纤维等^[14-17]。不少研究证实,米糠膳食纤维主要有降血糖^[18]、抑制血清胆固醇上升、整肠、抑制大肠癌等生理作用^[19],米糠中膳食纤维约占14%,若加以开发利用,可明显延长稻谷加工产业链。中国农科院农产品加工研究所开发了米糠营养素、米糠膳食纤维系列营养保健产品,产生的经济效益比加工前提高了10倍以上^[20]。Choi等^[21]将植物油及米糠纤

收稿日期:2014-10-13

作者简介:朱凤霞(1990-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工与功能性食品。

* 通讯作者:梁盈(1981-),女,副教授,研究方向:分子营养学。

基金项目:国家自然科学基金(31201348);湖南省自然科学基金(13JJ4086);长沙市科技计划项目(K1403039-21);湖南省农业成果转化项目(2013NK4002)。

维加入猪肉肉糜中,使其脂肪含量从30%减少到20%;此外,米糠膳食纤维还应用于面包、饼干^[22]、饮料特别是功能性乳制品^[23]等产品中。膳食纤维的提取方法有酸法、碱法、酶法、超声法和微波法等,其中酶法与化学法相比,提取率和膳食纤维质量更高^[24],而超声波细胞粉碎仪的强烈震动能降低植物内部组织的紧密程度^[25],辅助纤维素酶酶解,有助于提高SDF提取率。本研究以米糠为原料,采用超声辅助酶法提取米糠水溶性膳食纤维,探讨加酶量、超声时间、超声功率和料液比对得率的影响,优选出超声辅助酶法提取米糠水溶性膳食纤维最佳工艺,为充分开发利用米糠及其中的活性成分提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

米糠 金健米业股份有限公司;无水乙醇 天津市富宇精细化工有限公司;纤维素酶 Sigma提供,10U/mg;木瓜蛋白酶 江苏锐阳生物科技有限公司,800000U/g;醋酸钠 国药集团化学试剂有限公司;乙酸 西陇化工股份有限公司;石油醚 天津市进丰化工有限公司;以上所有试剂均为AR级。

JY92-II型超声波细胞粉碎仪 宁波新芝生物科技有限公司;SHB-III A型循环水式多用真空泵 北京中兴伟业仪器有限公司;101C-4型电热恒温鼓风干燥箱 上海实验仪器厂有限公司;QE-200型万能粉碎机 浙江屹立工贸有限公司;XT5502-RT-D31型电子分析天平 上海佑科技术有限公司;ZNCL-DJG型多联磁力搅拌器 河南爱博特科技发展有限公司;WP-25A型电热恒温培养箱 天津市意博高科实验仪器厂;DZKW-4型电子恒温水浴锅 北京中兴伟业仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 米糠预处理 米糠于60℃烘干后粉碎过60目筛,将筛下部分加入4倍体积的石油醚,于室温下浸泡半小时,真空抽滤收集残渣,重复脱脂3次,再用4倍体积的80%乙醇清洗残留石油醚,干燥后粉碎即得脱脂米糠。

1.2.2 水溶性膳食纤维的提取工艺^[26] 米糠→预处理→称重→加水→醋酸-醋酸钠调pH→蛋白酶酶解→灭蛋白酶酶活→超声波辅助纤维素酶酶解→灭纤维素酶酶活→抽滤→滤液蒸发浓缩→4倍体积无水乙醇沉淀→过滤→滤渣烘干→磨碎即得成品SDF。

1.2.3 水溶性膳食纤维得率的计算

$$\text{SDF得率}(\%) = \frac{\text{提取的SDF质量}}{\text{脱脂米糠的样品质量}} \times 100$$

1.2.4 米糠水溶性膳食纤维的制备条件的单因素实验 称取脱脂米糠5g,按一定料液比加纯水,用醋酸-醋酸钠缓冲液调pH至5.0,添加6%的蛋白酶于60℃下酶解1h后,加入纤维素酶并采用超声波辅助提取。选取纤维素酶添加量、超声时间、超声功率、料液比四个因素进行SDF提取的单因素实验,选取水平如下:纤维素酶终浓度分别为2%、3%、4%、5%、6%;超声时间:1、3、5、7、9min;超声功率:100、200、300、400、500W;料液比:1:10、1:15、1:20、1:25、1:30(g/mL),选

取各因素的中间水平值,改变实验因素,研究各因素对米糠SDF得率的影响。结合单因素实验结果,根据Box-Behnken实验设计原则,应用响应面法优化SDF提取条件。

1.2.5 米糠水溶性膳食纤维提取条件的优化 根据单因素实验,选取加酶量(x₁)、超声时间(x₂)、超声功率(x₃)、料液比(x₄)4个因素为自变量,以米糠水溶性膳食纤维的得率值为响应值(Y),进行四因素三水平的Box-Behnken实验设计,共29个实验点。各因素变化区间根据单因素实验确定。每个实验点均做3个平行样,取其平均值。因素水平编码见表1。

表1 Box-behnken设计因素水平编码表
Table 1 Factors and levels of Box-behnken design

编码	因素			
	X ₁ 加酶量 (%)	X ₂ 超声时间 (min)	X ₃ 超声功率 (W)	X ₄ 料液比 (g/mL)
-1	4	3	300	1:15
0	5	5	400	1:20
+1	6	7	500	1:25

1.2.6 统计学分析 每组实验重复三次,运用Design-Expert 8.0.5软件和SPASS19.0软件进行响应面设计和统计学分析。

2 结果与分析

2.1 米糠水溶性膳食纤维制备条件的筛选

2.1.1 加酶量对米糠水溶性膳食纤维得率的影响 由图1可知,随着纤维素酶添加量的增多,SDF得率增高,当加酶量达5%时,纤维素酶与底物的作用趋于饱和,得率达到最高,其后趋于稳定。根据实验结果以及经济成本考虑,选择加酶量5%为宜。

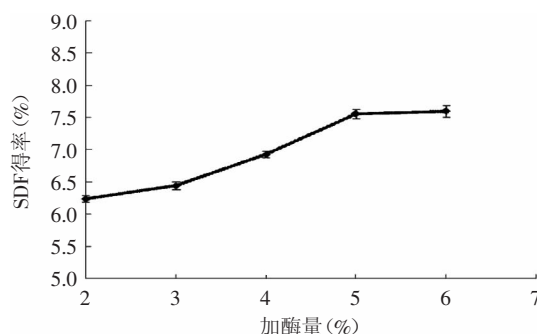


图1 加酶量对膳食纤维制备条件的影响

Fig.1 The impact of enzyme amount on the preparation of dietary fiber

2.1.2 超声时间对米糠水溶性膳食纤维得率的影响

由图2可看出,随着超声时间增加,得率先提高,超声时间5min后,膳食纤维得率减小。纤维素酶最适温度为50℃,如果超声时间过长,溶液温度升高,可能导致纤维素酶失活,在温度升高的条件下,亦有可能导致膳食纤维分解,从而降低SDF得率,故超声时间在5min时为最佳的提取条件。

2.1.3 超声功率对米糠水溶性膳食纤维得率的影响

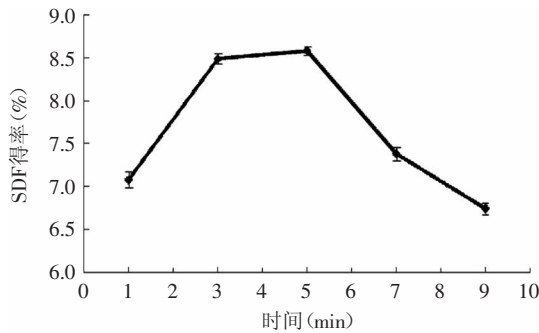


图2 超声时间对膳食纤维制备条件的影响

Fig.2 The effect of ultrasound time on the preparation of dietary fiber

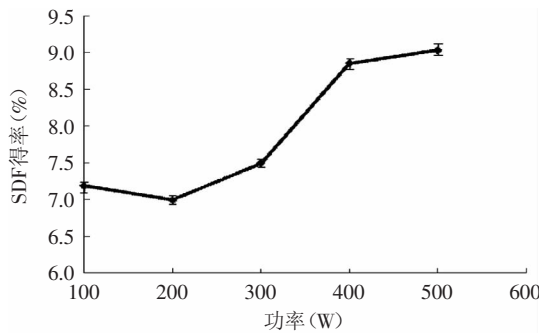


图3 超声功率对膳食纤维制备条件的影响

Fig.3 The effect of ultrasonic power on the preparation of dietary fiber

超声功率对SDF得率的影响结果如图3所示,可看出,随着超声功率的增高,得率略微下降而后逐渐升高,至功率400W后趋于平稳,故超声功率400W为最佳的提取条件。

2.1.4 料液比对米糠水溶性膳食纤维得率的影响

料液比对SDF得率的影响结果如图4所示,可看出,随着料液比的增大,SDF得率先增高,当料液比达到1:15时,得率趋于平稳,至料液比1:20时达到最大得率9.31%,其后快速下降。由于液料比低使得超声过程溶液变得浓稠,从而增大超声难度,故选择1:20g/mL为最佳料液比。

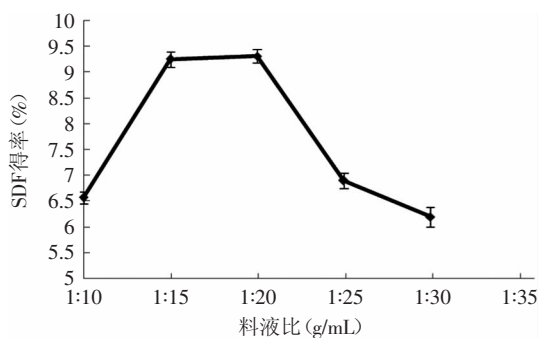


图4 料液比对膳食纤维制备条件的影响

Fig.4 The effect of water on the preparation of dietary fiber

2.2 米糠水溶性膳食纤维提取条件的优化

2.2.1 模型的建立及方差分析 根据单因素实验结果,采用Box-Behnken实验设计对米糠水溶性膳食纤维

脱色工艺进行优化,以SDF的得率值为评定指标。实验方案及结果见表2。

表2 Box-Behnken实验设计和响应值

Table 2 Factors and levels of Box-Behnken design and response values

编码	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	SDF得率 (%)
1	-1	-1	0	0	8.33
2	1	-1	0	0	8.97
3	-1	1	0	0	8.115
4	1	1	0	0	9.05
5	0	0	-1	-1	8.63
6	0	0	1	-1	9.37
7	0	0	-1	1	8.43
8	0	0	1	1	8.78
9	-1	0	0	-1	8
10	1	0	0	-1	9.56
11	-1	0	0	1	8.33
12	1	0	0	1	8.78
13	0	-1	-1	0	8.83
14	0	1	-1	0	7.77
15	0	-1	1	0	8.47
16	0	1	1	0	8.43
17	-1	0	-1	0	8.44
18	1	0	-1	0	8.87
19	-1	0	1	0	8.27
20	1	0	1	0	9.47
21	0	-1	0	-1	9.23
22	0	1	0	-1	8.6
23	0	-1	0	1	8.53
24	0	1	0	1	8.35
25	0	0	0	0	9.72
26	0	0	0	0	9.49
27	0	0	0	0	9.52
28	0	0	0	0	9.5
29	0	0	0	0	9.36

对表2数据进行多元回归分析,得米糠水溶性膳食纤维提取工艺的预测回归模型为 $Y=9.52+0.42X_1-0.17X_2+0.13X_3-0.18X_4+0.074X_1X_2+0.25X_1X_3-0.28X_1X_4+0.25X_2X_3+0.11X_2X_4-0.097X_3X_4-0.37X_1^2-0.58X_2^2-0.42X_3^2-0.34X_4^2$ 。

对回归方程进行方差分析,结果见表3。由表3可知, $F_{\text{回归}}=11.73>F_{0.05(9,5)}=4.77$ 即 $p<0.0001$,表明模型极差极显著;失拟项 $p=0.1293>0.05$,差异不显著,本研究所得模型的决定系数为 $R^2=0.9214$,校正决定系数 $R^2_{\text{Adj}}=0.8428$,信噪比 $S/N=11.715$ 远大于 4^{27} ,可知回归方程残差由随机误差引起,该回归模型与实测值能较好的拟合,故可用此模型对米糠SDF的提取工艺结果进行分析和预测。

由表3可知,所得回归模型达到极显著($p<0.0001$),此模型能充分表明各因素之间的关系。其中 X_1 、 X_4 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 、 X_4^2 项对米糠水溶性膳食纤维得率的影响

极为显著 ($p < 0.01$), X_2 、 X_3 、 X_1X_3 、 X_1X_4 、 X_2X_3 对米糠水溶性膳食纤维得率的影响为显著 ($p < 0.05$)。根据方差分析和回归方程系数显著性检验结果,将差异不显著的因子剔除后得到的回归方程为 $Y = 9.52 + 0.42X_1 - 0.17X_2 + 0.13X_3 - 0.18X_4 + 0.25X_1X_3 - 0.28X_1X_4 + 0.25X_2X_3 - 0.37X_1^2 - 0.58X_2^2 - 0.42X_3^2 - 0.34X_4^2$ 。

表3 Box-Behnken设计分析表

Table 3 Analysis of variance for Box-Behnken design

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	p值	显著性
模型	7.29	14	0.52	11.73	<0.0001	**
X_1	2.08	1	2.08	46.79	<0.0001	**
X_2	0.35	1	0.35	7.84	0.0142	*
X_3	0.21	1	0.21	4.80	0.0459	*
X_4	0.40	1	0.40	8.99	0.0096	**
X_1X_2	0.022	1	0.022	0.49	0.4956	
X_1X_3	0.25	1	0.25	5.51	0.0341	*
X_1X_4	0.31	1	0.31	6.93	0.0197	*
X_2X_3	0.26	1	0.26	5.85	0.0297	*
X_2X_4	0.051	1	0.051	1.14	0.3039	
X_3X_4	0.038	1	0.038	0.8648	0.3706	
X_1^2	0.88	1	0.88	19.74	0.0006	**
X_2^2	2.21	1	2.21	49.79	<0.0001	**
X_3^2	1.15	1	1.15	25.86	0.0002	**
X_4^2	0.77	1	0.77	17.34	0.0010	**
剩余项	0.462	14	0.044			
失拟项	0.56	10	0.056	3.32	0.1293	
误差项	0.067	4	0.017			
总回归	7.92	28				

注:*表示差异显著 ($p < 0.05$), **表示差异极显著 ($p < 0.01$)。

2.2.2 响应面分析各因素对得率的影响及优化结果

运用Design-Expert 8.0.5软件分析得到二次回归方程的响应面图,由表3可知,交互项 X_1X_3 、 X_1X_4 、 X_2X_3 显著 ($p < 0.05$),表明加酶量与功率、加酶量与料液比以及超声时间与功率之间的交互影响显著,图5~图7直观地反映了这些因素对米糠SDF得率的影响。等高线的形状可反映出交互效应的强弱^[28],两因素的交互作用越强,等高线越接近椭圆,而圆形则表示交互作用不明显,并且等高线越密集表明该因素的影响效果越大。由图5~图7可看出,各影响因素对膳食纤维的得率的影响不是简单的线性关系,各等高线均呈椭圆形,表明两因素间的相互影响较显著。从图5中可看出,随着加酶量和超声功率同时增大,SDF得率先快速增高后逐渐降低,并且加酶量的响应面曲面较超声功率陡,表明加酶量比超声功率影响大;从图6中可看出加酶量和料液比同时增大时,SDF得率先增后减,加酶量曲面较陡峭,影响大于料液比;同样图7中随着超声时间和功率的增大,SDF得率先缓慢上升后逐渐减小,超声时间曲面陡于超声功率,影响较大。因此,在实际操作中,应考虑各因素的交互影响,慎重控制各因素的量,以提高米糠SDF的得率。

由表3中的F值可知在所选的因素范围内,影响

因素的主次关系为:加酶量>料液比>超声时间>超声功率。通过这个回归模型,采用Design-Expert 8.0.5软件优化提取工艺,得出制备水溶性膳食纤维的最适工艺条件为:加酶量5.33%、超声时间4.97min、超声功率416.29W、料液比1:23.82g/mL。在此优化条件下,米糠SDF得率的预测值为9.22%。

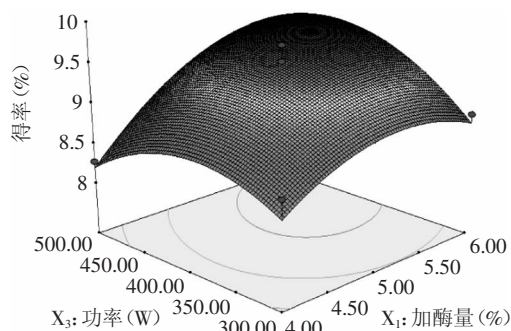


图5 超声功率和加酶量对米糠SDF得率的影响

Fig.5 Effect of ultrasonic power and enzyme amount on the extraction yield of SDF from rice bran

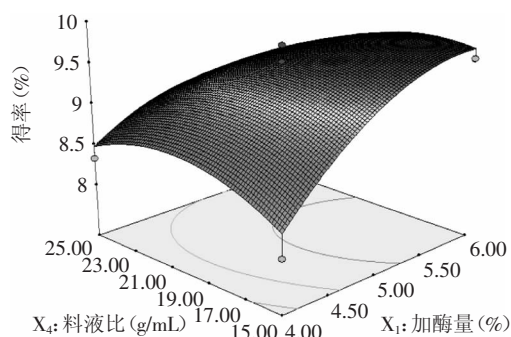


图6 加酶量和料液比对米糠SDF得率的影响

Fig.6 Liquid-solid ratio and enzyme amount on the extraction yield of SDF from rice bran

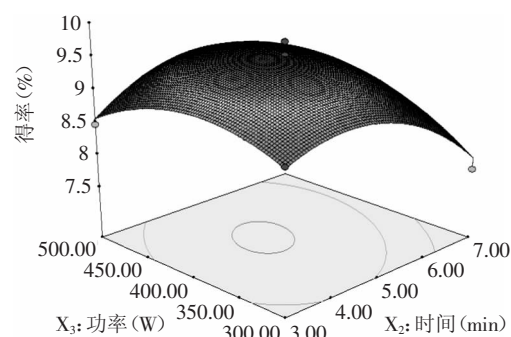


图7 超声时间和功率对米糠SDF得率的影响

Fig.7 Effect of ultrasonic time and power on the extraction yield of SDF from rice bran

2.2.3 验证响应面分析法 为了验证此模型的可靠性和实用性,考虑到实际操作的可行性,将响应面分析法优化的提取工艺条件适当调整为加酶量5.3%、超声时间5min、超声功率415W、料液比1:24g/mL,平行实验3次,在此优化条件下,实际测得的米糠水溶性膳食纤维得率值为9.36%,此验证结果与预测值

9.22%较为接近,符合一般工程要求,表明此模型对优化米糠水溶性膳食纤维提取工艺是可行的,具有实用价值。

3 结论

本实验采用超声波辅助酶法提取米糠水溶性膳食纤维,运用Box-Behnken实验设计优化提取工艺,得到二次回归模型。通过对模型的分析,影响因素主次顺序是:加酶量>料液比>超声时间>超声功率,其中交互项中加酶量与功率、加酶量与料液比以及超声时间和功率之间的交互作用对SDF得率影响显著。结合实际分析得到超声辅助酶法提取米糠SDF的最佳工艺条件为加酶量5.3%、超声时间5min、超声功率415W、料液比1:24g/mL。在此条件下,米糠SDF得率最高,预测值为9.22%,验证实验得到的得率为9.36%,相较预测值差异不大,该模型对米糠SDF提取工艺可行。运用此方法制备水溶性膳食纤维工艺简单,较之酸碱法提取条件温和,无二次污染,SDF品质保存良好;与直接酶解法或超声法相比节省了时间^[23],得率有很大提高,且所得的米糠水溶性膳食纤维呈淡黄色,无明显异味,纯度高,可作为添加剂适用于食品生产应用,有助于开发利用米糠营养资源。

参考文献

- [1] Seema Hooda. The role of functional properties of dietary fiber in the control of nutrient flow and intestinal health in pigs[D]. Edmonton: University of Alberta, 2010.
- [2] 黄冬云,钱海峰,苑华宁,等. 木聚糖酶制取米糠膳食纤维的功能性质[J]. 食品与发酵工业, 2013, 12: 30-34.
- [3] Lattimer James M, Haub Mark D. Effects of dietary fiber and its components on metabolic health[J]. Nutrients, 2012, 2(12): 1266-1289.
- [4] Tanaka, Shiro, Yoshimura, et al. Intakes of dietary fiber, vegetables, and fruits and incidence of cardiovascular disease in Japanese patients with type 2 diabetes[J]. Diabetes Care, 2013, 36(12): 3916-3922.
- [5] 朱丽云,吴俊清,吴丽樱,等. 碱提香菇柄膳食纤维的功能性分析[J]. 中国食品学报, 2013, 4: 219-224.
- [6] Helen G Coleman, Liam J Murray, Blanaid Hicks, et al. Dietary fiber and the risk of precancerous lesions and cancer of the esophagus: a systematic review and meta-analysis[J]. Nutr Rev, 2013, 71(7): 474-482.
- [7] Cyril WC Kendall, Amin Esfahani, David JA Jenkins. The link between dietary fibre and human health[J]. Food Hydrocolloids, 2010, 24: 42-48.
- [8] 唐凌锋. 葛根膳食纤维饼干的研制[J]. 现代食品科技, 2012, 7: 853-855.
- [9] Frank Isken, Susanne Klaus, Martin Osterhoff, et al. Effects of long-term soluble vs. insoluble dietary fiber intake on high-fat diet-induced obesity in C57BL/6J mice[J]. Journal of Nutritional Biochemistry, 2009, 38: 1-7.
- [10] 韩俊娟, 木泰华, 张柏林. 膳食纤维生理功能的研究现状[J]. 食品科技, 2008(6): 243-245.
- [11] 于丽娜, 宫清轩, 杨庆利, 等. 花生秆水溶性膳食纤维的超声波提取及抗氧化活性研究[J]. 花生学报, 2011, 2: 1-6.
- [12] 李娟, 刘国琴, 据亚丽. 米糠深加工综合利用及展望[J]. 农产品加工(创新版), 2012, 7: 50-53.
- [13] Charunuch C, Limsangouan N, Prasert W. Optimization of extrusion conditions for ready-to-eat breakfast cereal enhanced with defatted rice bran[J]. 2014, 21(2): 713-722.
- [14] 谢莹. 米糠油制取及精炼工艺的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.
- [15] 孙凯, 江敏婷, 晏凤梅, 等. 皂化法精制粗米糠蜡的研究[J]. 广东化工, 2011, 1: 35-36, 40.
- [16] 尤梦圆, 何东平, 邹瑜, 等. 从米糠高温粕中提取米糠蛋白及其功能特性的研究[J]. 食品工业, 2014, 4: 125-128.
- [17] 李安平, 蒋雅茜, 崔富贵, 等. 强化米糠膳食纤维的米粉面包配方研究[J]. 食品工业科技, 2013, 17: 248-251.
- [18] 李兴琴, 张俊刚, 徐颖, 等. 小米糠膳食纤维对糖尿病小鼠血糖及糖耐量的影响[J]. 中国热带医学, 2013, 9: 1059-1060, 1070.
- [19] 马涛, 张良晨. 米糠饼粕膳食纤维理化性质的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 7: 105-106, 109.
- [20] 王强. 米糠功能食品生产技术[J]. 农村新技术, 2009, 2: 53.
- [21] Yun-Sang Choi, Ji-hun Choi, Doo-Jeong Han, et al. Optimization of replacing pork back fat with grapeseed oil and rice bran fiber for reduced-fat meat emulsion systems[J]. Meat Science, 2010, 84: 212-218.
- [22] 李红玲, 王哲, 田娟娟, 等. 米糠保健主食及休闲食品的研究进展[J]. 农业机械, 2012, 9: 93-96.
- [23] 顾立众, 焦宇知. 无糖水溶性米糠纤维活性乳酸菌酸奶的研制[J]. 食品工业科技, 2009, 5: 264-266.
- [24] Vajihah Fadaei, Mania Salehifar. Rice husk as a source of dietary fiber[J]. Annals of Biological Research, 2012, 3(3): 1437-1442.
- [25] 刘静, 李湘利, 孔娴, 等. 超声波协同酶法提取香椿老叶可溶性膳食纤维的工艺优化[J]. 食品科学, 2014, 5(12): 41-45.
- [26] 宋慧, 苗敬芝, 董玉玮. 超声结合酶法提取花生粕中水溶性膳食纤维及其功能性研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 5: 44-48.
- [27] 杨铭铎, 王媛, 曲彤旭, 等. 响应面法优化玉米胚芽粕中膳食纤维酶解提取工艺[J]. 包装与食品机械, 2013, 1: 5-9.
- [28] 刘润清, 韩建春, 刘璐, 等. 响应面法优化米糠营养物质提取工艺的研究[J]. 食品工业, 2014, 3: 69-73.

全国中文核心期刊

轻工行业优秀期刊