

麦麸中植酸的脱除工艺

严 静, 查园园, 钱家美, 张 余*

(滁州学院生物与食品工程学院, 滁州 239000)

摘 要: **目的** 探究麦麸中植酸的脱除工艺。**方法** 以植酸脱除率为目标, 参照国家标准方法测定植酸脱除前后麦麸中主要组分, 对麦麸中植酸的脱除工艺进行了分析和优化。**结果** 植酸脱除的最佳工艺是: 以 0.5 mol/L 盐酸溶液为植酸提取溶剂, 料液比为 1:10 (g/mL), 20 °C下提取 2 h, 植酸脱除率可达到 73.54%。升高提取温度不利于植酸提取, 提取时间过长或料液比过高均不利于植酸的脱除。经上述工艺处理后, 麦麸中植酸和灰分含量有显著降低, 蛋白质含量略有降低; 淀粉含量和粗纤维含量均有明显提高, 分别提高了 16.70%和 30.10%。**结论** 该工艺可以用于麦麸中植酸的有效脱除, 其总体营养价值有明显改善, 更有利于麸皮中营养组分的加工利用。

关键词: 麦麸; 植酸; 工艺优化; 脱除率

Removal process of phytic acid from wheat bran

YAN Jing, ZHA Yuan-Yuan, QIAN Jia-Mei, ZHANG Cuan*

(School of Bio and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China)

ABSTRACT: Objective To study the process of removing phytic acid from wheat bran. **Methods** The main components in wheat bran before and after phytic acid removal were determined according to the national standard method with the goal of phytic acid removal rate, and the phytic acid removal process in wheat bran was analyzed and optimized. **Results** The optimum process of phytic acid removal was as follows: When the phytic acid was extracted for two hours with 0.5 mol/L hydrochloric acid solution, solid-liquid ratio was 1:10 (g/mL) and the extraction temperature was 20 °C, the removal rate of phytic acid could reach 73.54%. Increasing the extraction temperature was not conducive to the extraction of phytic acid, and too long extraction time or too high solid-liquid ratio were not conducive to the removal of phytic acid. After the treatment, the content of phytic acid and ash in wheat bran decreased significantly, while the content of protein decreased slightly. The starch content and crude fiber content were significantly increased by 16.70% and 30.10%, respectively. **Conclusion** This technology can be used to effectively remove phytic acid from wheat bran, and its overall nutritional value is improved obviously, which is more conducive to the processing and utilization of nutrient components in wheat bran.

KEY WORDS: wheat bran; phytic acid; process optimization; removal rate

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201910377029)、滁州学院(经费结转)项目(zrjz2017001)

Fund: Supported by the National Innovation and Entrepreneurship Training Program for College Students (201910377029), and Chuzhou University (Fund Carried Forward) Project (zrjz2017001)

*通信作者: 张余, 博士, 教授, 主要研究方向为食品化学与营养学、膳食蛋白方向的研究。E-mail: zhangchuan2005@126.com

*Corresponding author: ZHANG Cuan, Ph.D, Professor, School of Bio and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China. E-mail: zhangchuan2005@126.com

0 引言

植酸(phytic acid)是一种抗营养物质,即肌醇六磷酸,广泛存在于植物组织和根茎中,在米糠、麦麸中含量较多,谷物中植酸占总储磷的75%^[1-2]。由于植酸的抗氧化性、易与金属离子螯合,安全性高,在食品、化工、医药领域得到广泛应用^[3]。但植酸易与食品中的蛋白质、多糖、矿物元素等营养组分络合,从而影响食品中上述营养物质的吸收利用,因此植酸也被认为是食品中的主要抗营养物质之一^[4]。

麦麸是面粉生产过程中的主要副产物,其含量较高,年产量达1600~2400万t。研究表明,麦麸营养丰富,其中含蛋白质15.02%,淀粉53.50%,膳食纤维8.07%等,但是麦麸中植酸含量高达25~58 mg/g,会显著影响其他组分的加工利用和消化吸收^[5-7]。因此,为提高麦麸的营养特性,需要对其中的植酸进行脱除。

目前,植酸的分离提取方法主要有:膜分离法,即采用具有选择性的高分子生物膜进行分离。潘丽军等^[8]在菜籽粕的植酸分离提取中采用膜分离精制植酸,在醋酸质量分数0.7%、提取温度48℃、液料比1:10(g/mL),提取时间1.6 h条件下植酸得率为1.865%。超声波辅助提取法,即通过缩短浸提时间,从而提高提取效率。江连洲等^[9]以豆渣为原料,采用超声波辅助技术提取植酸,在超声温度50℃,超声功率500 W,超声时间20 min,醋酸浓度4.1%,料液比1:17(g/mL),提取温度64℃,提取时间33 min时平均植酸得率为1.23%,与振荡提取法相比,提高了41.3%。微波辅助提取法即在萃取辅助的基础上,采用物理手段进行强化固液提取的过程,大大缩短了提取时间。王红利等^[10]以米糠为原料,采用微波辅助提取米糠植酸,在料液比1:15(g/mL),盐酸浓度0.01 mol/L,微波温度40℃,微波功率500 W,微波时间5 min条件下植酸提取率达2.527%。溶剂萃取辅助法,即在酸性条件下,植酸复盐转变为植酸根离子和钙镁离子的形式溶于水中。袁建等^[11]探讨小麦麸皮植酸的提取工艺,发现在盐酸浓度0.7 mol/L,提取时间1 h,提取温度30℃条件下植酸得率为1.27%。

本研究采用溶剂萃取法对小麦麸皮中的植酸的分离提取工艺进行了分析和优化,并就植酸脱除对其他组分的影响进行了分析,以期得到简便易行的小麦麸皮中植酸的脱除方法,为麸皮资源的进一步利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

麦麸,市售,粉碎后过0.71 mm筛(25目),备用。

植酸钠标准品(纯度≥95%);浓盐酸、硫酸钠、无水乙醇、浓硝酸、三氯乙酸(trichloroacetic acid solution, TCA)、

氢氧化钠、磺基水杨酸、三氯化铁(分析纯,阿拉丁试剂有限公司)。

JA 20031型电子天平(上海越平科学仪器有限公司);L 550型台式低速离心机、T 6型紫外-可见分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司);KQ-C型玻璃仪器气流烘干器(巩义市予华仪器);HH-2型恒温水浴锅(金坛市荣华仪器);BCD-221CHC型冰柜(合肥美菱股份有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 营养组分分析

(1)水分含量:参考GB/T 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》,直接干燥法。

(2)蛋白质含量:参考GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》,燃烧法。

(3)淀粉含量:参考GB/T 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》,酶水解法。

(4)粗纤维含量:参考GB/T 6434—2006《食品安全国家标准 饲料中粗纤维的含量测定》,粗纤维测定仪-过滤法。

(5)灰分含量:参考GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》,马弗炉灼烧法。

1.2.2 植酸含量测定

称取1 g过25目筛麦麸样品于离心管中,加入40 mL 1.2% HCl 10% Na₂SO₄溶液,混匀提取1 h,5310 g离心20 min后将上清液移入容量瓶并用提取剂定容至刻度(提取液),然后取2 mL提取液与2 mL 15% TCA(g/mL)于硬质玻璃管中,在4℃冰箱静置1 h,5310 g离心20 min后上清液移入容量瓶,用0.75 mol/L NaOH溶液调pH至6.0~6.5,加水定容至刻度并混匀(样液),取3 mL样液与1 mL显色剂(0.3%磺基水杨酸 0.03% FeCl₃·6H₂O)混合均匀,测A_{500 nm}值^[12-13]。

以植酸钠为标准品,采用三氯化铁比色法绘制植酸标准曲线,并对样品中的植酸含量进行计算。具体计算公式如式(1)

$$X_1 = \frac{m_2 \times F \times 100}{m_1 \times 1000} \quad (1)$$

式中: X_1 为样品中植酸含量, g/100 g; m_2 为供测试液植酸质量, mg; m_1 为样品质量, g; F 为稀释倍数。麦麸中植酸的脱除率计算公式如式(2)。

$$\text{植酸脱除率}(\%) = \frac{\text{提取液中植酸质量}}{\text{样品中植酸质量}} \times 100 \quad (2)$$

1.2.3 麦麸中植酸脱除工艺的分析与优化

(1) 单因素实验设计

以植酸脱除率为评定指标,探讨提取剂种类、提取剂浓度、料液比、提取温度及提取时间5个因素对麦麸中植酸脱除效果的影响。

(2) 脱除工艺的优化

在单因素实验基础上,以植酸脱除率为评定指标,以

单因素实验最佳值为中心点, 采用五因素四水平的组合实验设计, 对盐酸溶液浓度、料液比、提取温度及提取时间等因素进行正交优化。各因素水平设置见表 1。

1.2.4 脱植酸样品的制备

在脱除植酸最优工艺条件下, 将麦麸中的植酸脱除后, 将沉淀水洗至中性, 沉淀在 55 °C烘箱中烘干后粉碎, 过 25 目筛, 备用。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件和 DPS 数据处理软件对实验数据进行分析处理、绘制图表, 所有实验数据重复测定 3 次, 结果以平均值±SD 表示。

2 结果与分析

2.1 植酸脱除前后麦麸中主要组分分析

麦麸中主要营养组分见表 2, 结果显示与徐忠^[5]的报道接近。麦麸蛋白的水溶性比面粉蛋白好, 其中球蛋白、清蛋白、谷蛋白和醇溶蛋白相对含量分别是 25.12%、48.06%、8.12%和 18.70%^[14], 此外, 实验所用麦麸中植酸含量较高(4.42 g/100 g), 与文献报道接近^[6], 而植酸是一种抗营养物质, 螯合能力强, 能与某些蛋白质形成络合物^[15], 因此, 麦麸中植酸的存在, 不利于其他组分的加工利用和人体消化吸收。

采用实验所得最优工艺, 制得脱植酸麦麸, 其主要营养成分分析结果见表 2。结果显示, 与原麦麸相比, 脱植酸后麦麸中植酸含量显著降低, 降幅 75.57%。灰分含量降低 81.30%, 说明酸性条件下, 矿物质元素大量溶出。蛋白质含量降低 6.70%, 说明该提取过程中有少量可溶性蛋白损

失。此外, 淀粉和粗纤维含量分别提高 16.70%和 30.10%, 主要原因在于植酸的脱除以及可溶性蛋白的损失, 导致原料中淀粉和粗纤维相对含量有所增加。

2.2 麸皮中植酸分离提取的影响因素

2.2.1 提取剂种类

植酸易溶于水、乙醇等极性溶剂中, 且因植酸在谷物中以一价或二价阳离子盐的形式存在^[16], 而植酸盐在酸性条件下才能游离出来。同时通过查阅文献, 确定 4 种提取溶剂: 0.5 mol/L 盐酸溶液^[17]、0.5 mol/L 硝酸溶液^[18]、3% 盐酸(V:V)+70%乙醇溶液(V:V)^[19]、1.2%盐酸+10%硫酸钠溶液^[12]。采用料液比 1:40 (g/mL), 25 °C提取 1 h, 探究不同提取溶剂对麦麸中植酸脱除率的影响。结果显示, 0.5 mol/L 盐酸溶液脱除率最高, 为 58.39%, 其次是 0.5 mol/L 硝酸溶液(57.93%), 二者差异不显著($P \leq 0.05$), 同时从实验安全性角度考虑, 选择 0.5 mol/L 盐酸溶液作为麦麸中植酸脱除的适宜提取剂。

2.2.2 盐酸溶液浓度

采用料液比 1:40 (g/mL), 25 °C提取 1 h, 探究不同盐酸溶液浓度(0.05、0.1、0.4、0.7、1.0、1.2、1.5、2.0 mol/L)对植酸脱除率的影响。结果显示, 随着盐酸溶液浓度升高, 植酸脱除率呈先增大后减小最后趋于平稳的趋势。盐酸溶液浓度为 0.7 mol/L 时植酸脱除率最大, 可能是由于随着盐酸溶液浓度的增大, 麦麸中植酸络合力降低, 开始溶出, 但随浓度增大, 酸浸过程中蛋白质及糖类酸性成分也会溶出, 这些成分与植酸根再次结合^[20], 达到一定程度后会趋于稳定状态。所以选择 0.7 mol/L 为最佳浓度。

表 1 正交实验因素水平表
Table 1 Factor levels of orthogonal test

水平	A 盐酸浓度/(mol/L)	B 料液比/(g/mL)	C 温度/°C	D 时间/h	E 误差项
1	0.5	1:10	20	1	1
2	0.6	1:20	30	2	2
3	0.7	1:30	40	3	3
4	0.8	1:40	50	4	4

表 2 植酸脱除前后麦麸中主要组分含量
Table 2 Analysis of main components in wheat bran before phytic acid removal

样品	水分/(g/100 g)	蛋白质/(g/100 g)	淀粉/(g/100 g)	粗纤维/(g/100 g)	灰分/(g/100 g)	植酸/(g/100 g)
麦麸	6.89±0.16	15.44±0.02	54.98±0.19	10.31±0.12	7.88±0.13	4.42±0.13
脱植酸麦麸	2.01±0.02	14.40±0.03	64.17±0.26	13.41±0.17	1.47±0.07	1.08±0.10

注: 表中各非水组分含量均为干基含量。

2.2.3 料液比

采用 0.7 mol/L 盐酸溶液, 25 °C 提取 1 h, 探究不同料液比(1:10、1:20、1:30、1:40、1:50) (g/mL)对植酸脱除率的影响。结果显示, 在实验范围内, 随着溶剂用量的增加, 麦麸中植酸脱除率先提高后逐渐下降, 最后趋于平缓。在 1:20 (g/mL)时脱除率为 62.75%, 达到最大值。

当溶剂用量过低时, 影响植酸的溶出。增加溶剂用量, 利于植酸向液相中扩散, 但当液料比达到 1:20 (g/mL)以上时, 溶解度和扩散平衡的影响已经不显著, 因此, 综合分析认为, 料液比 1:20 (g/mL)比较适宜。

2.2.4 提取温度

采用 0.7 mol/L 盐酸溶液, 1:20 (g/mL)的料液比提取 1 h, 探究不同提取温度(25、30、40、50、60 °C)对植酸脱除率的影响。结果显示, 随着提取温度的升高, 植酸脱除率先升高后降低, 在 30 °C 时达到 66.62%。因此, 本研究适宜的提取温度为 30 °C, 增加温度不利于麦麸植酸的脱除。

2.2.5 提取时间

在 0.7 mol/L 盐酸溶液、料液比 1:20 (g/mL)、提取温度 30 °C 条件下, 探究不同提取时间(0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 h)对植酸脱除率的影响。结果显示, 在 0.5~4 h 范围内, 提取时间超过 1 h 后, 植酸脱除率保持在 65.89%~67.27%之间, 变化不大, 说明此时植酸的溶出已呈平衡状态。因此, 考虑到时间成本, 选择 1 h 为适宜的提取时间, 此时植酸脱除率为 67.27%。

2.3 麦麸中植酸脱除工艺优化

在单因素分析基础上, 采用 $L_{16}(5)^4$ 正交实验设计对麦麸中植酸的脱除条件进行优化, 实验设计及分析结果见表 3。

极差(R)分析的结果显示, 影响植酸脱除效果因素依次为 $A>D>B>C$, 即: 即盐酸溶液浓度对植酸脱除率的影响最大($R=11.87$), 其次是提取时间($R=10.52$), 料液比和温度的影响较小, 根据 k 值对正交实验结果综合分析得到的最优组合为 $A_1B_1C_1D_2$ (分析最优), 即盐酸溶液浓度 0.5 mol/L, 料液比 1:10 (g/mL), 提取温度 20 °C, 提取时间 2 h。此外, 实验结果得到最优组合为 $A_3B_3C_1D_2$ (实验最优), 即盐酸溶液浓度 0.7 mol/L, 料液比 1:30 (g/mL), 温度 20 °C, 时间 2 h, 在此条件下植酸脱除率为 73.01%。

以植酸脱除率(Y)为目标, 对实验结果进行多元逐步回归分析, 去除不显著项后得到的回归模型为

$$Y=54.34+45.86X_1-15.76X_4-6.83X_1^2+2.62X_2^2-6.14X_1X_2-0.94X_1X_3-3.58X_2X_3+4.15X_2X_4+0.97X_3X_4$$

所得模型相关系数 $R^2=0.9344$, $P=0.038$, 说明该模型达到显著水平($P\leq 0.05$), 与实验拟合良好, 实验误差小。

方差分析结果见表 4。结果表明, 盐酸浓度、料液比和提取时间达到极显著水平($P<0.01$), 提取温度达到显著水平($P<0.05$)。由此可见, 盐酸浓度、提取时间、料液比及提取温度对植酸脱除的影响均具有统计学意义($P<0.05$)。

表 3 正交实验设计及结果

Table 3 Orthogonal experimental design and results

处理号	A	B	C	D	E	脱除率/%
1	1	1	1	1	1	72.55±0.48
2	1	2	2	2	2	71.32±0.36
3	1	3	3	3	3	54.86±0.48
4	1	4	4	4	4	71.15±0.93
5	2	1	2	3	4	63.71±0.61
6	2	2	1	4	3	65.71±0.13
7	2	3	4	1	2	61.31±0.36
8	2	4	3	2	1	72.76±0.48
9	3	1	3	4	2	65.15±0.36
10	3	2	4	3	1	60.79±0.58
11	3	3	1	2	4	73.01±0.36
12	3	4	2	1	3	63.60±0.61
13	4	1	4	2	3	65.50±0.75
14	4	2	3	1	4	48.05±0.58
15	4	3	2	4	1	47.11±0.58
16	4	4	1	3	2	56.47±0.47
k1	67.47	66.73	66.94	61.38	63.30	
k2	65.87	61.47	61.44	70.65	63.56	
k3	65.64	59.07	60.21	58.96	62.42	
k4	54.28	66.00	64.69	62.28	63.98	
R	11.87	6.89	6.06	10.52	1.41	
因子主次	$A>D>B>C>E$					
最优组合	$A_1B_1C_1D_2$					

表 4 正交设计方差分析表

Table 4 Analysis of variance of orthogonal design

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
A	443.14	3	147.71	84.62	0.0021	**
B	160.96	3	53.65	30.74	0.0094	**
C	112.78	3	37.59	21.54	0.0157	*
D	310.31	3	103.44	59.26	0.0036	**
误差项*	5.24	3	1.75			
误差	5.24	3	1.75			
总和	1032.43					

注: *表示在 0.05 水平显著, **表示在 0.01 水平显著。

2.4 验证实验

为验证正交实验得到工艺的准确性, 对正交实验最优组合(实验最优)及根据正交实验结果综合分析得到的最优组合(分析最优)进行验证实验。表中最优工艺组合为 $A_3B_3C_1D_2$, 结合单因素实验结果以及麦麸脱植酸效率, 对表中最优组合调整为 $A_3B_1C_2D_1$, 综合分析得到最优组合为 $A_1B_1C_1D_2$ 。每个实验设 6 组平行, 以植酸脱除率(%)为指标, 取平均值(表 5)。

表 5 2 种优化工艺下的植酸脱除效果验证实验
Table 5 Verification experiments of phytic acid removal under 2 kinds of optimized processes

	$A_3B_1C_2D_1$ (实验最优)	$A_1B_1C_1D_2$ (分析最优)
平均值/%	71.61	73.54
标准差/%	0.43	0.41
变异系数/%	0.60	0.55

结果显示, $A_1B_1C_1D_2$ (分析最优)工艺下的植酸脱除率更高, 达到 73.54%, 与正交实验所得的植酸脱除率相差不多, 说明实验所得最优制备工艺可靠。标准差和变异系数较小, 说明数据离散程度小, 变异程度也较小。

3 结 论

麦麸中植酸脱除的最优工艺为: 盐酸溶液浓度 0.5 mol/L, 料液比 1:10 (g/mL), 提取温度 20 °C, 提取时间 2 h, 此条件下植酸脱除率达到 73.54%。与原麦麸相比, 脱植酸后植酸和灰分含量有显著降低, 蛋白质含量(14.40 g/100 g)略有降低; 淀粉含量(64.17 g/100 g)和粗纤维含量(13.41 g/100 g)均有明显提高, 分别提高 16.70%和 30.10%。说明该方法可以用于麦麸中植酸的有效脱除, 脱除植酸后的麦麸总体营养价值有明显改善, 更有利于麦麸中营养组分的加工利用。

参考文献

[1] 刘晓娇, 祝社民, 樊明涛. 粗榧种子饼粕中植酸的提取工艺优化研究[J]. 陕西农业科学, 2017, 63(1): 47–50, 78.
LIU XJ, ZHU SM, FAN MT. Optimization of extraction process of phytic acid from seed meal of *Torreya SPP* [J]. Shanxi Agric Sci, 2017, 63(1): 47–50, 78.
[2] TAVAJJOH M, YASREBI J, KARIMIAN N, *et al.* Phytic acid concentration and phytic acid: zinc molar ratio in wheat cultivars and bread flours, fars province, Iran [J]. J Sci Technol, 2011, 13(5): 743–755.
[3] HER JY, CHO H, KIM MK, *et al.* Organic acids as a freshness indicator for tofu (soybean curd) [J]. J Food Sci Technol-mysore, 2017, 54(11): 3443–3450.
[4] 刘杰, 童天娇, 刘军海. 植酸的生物活性及应用[J]. 四川化工, 2019, 22(6): 15–18.

LIU J, TONG TJ, LIU JH. Biological activity and application of phytic acid [J]. Sichuan Chem Ind, 2019, 22(6): 15–18.
[5] 徐忠. 麦麸蛋白的碱法提取工艺及乳化性质研究[J]. 食品工业科技, 2006, (9): 66–71.
XU Z. Study on extraction technology and emulsifying property of wheat bran protein by alkali method [J]. Sci Technol Food Ind, 2006, (9): 66–71.
[6] RAVINDRAN V, RAVINDRAN G, SIVALOGAN S. Total and phytate phosphorus contents of various foods and feedstuffs of plant origin [J]. Food Chem, 1994, 50: 133–136.
[7] SUN MG, JAISI DP. Distribution of inositol phosphates in animal feed grains and excreta: Distinctions among insmers and phosphate oxygen isotope compositions [J]. Plant Soil, 2018, 430(1/2): 291–305.
[8] 潘丽军, 周俊, 姜绍通, 等. 莱籽粕植酸提取和分离蛋白的制备[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 370–375.
PAN LJ, ZHOU J, JIANG ST, *et al.* Extraction of phytic acid and preparation of protein isolates from rapeseed meal [J]. Transact Chin Soc Agric Eng, 2011, 27(4): 370–375.
[9] 江连洲, 毛惠婷, 毕爽, 等. 超声波辅助提取水酶法豆渣中植酸的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2016, (6): 225–263.
JIANG LZ, MAO HT, BI S, *et al.* Ultrasonic assisted in the extraction of phytic acid from soybean residue produced by enzymatic aqueous processing [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, (6): 225–263.
[10] 王红利, 张立, 刘军海. 微波辅助提取米糠中植酸的工艺研究[J]. 江西饲料, 2014, (4): 4–7.
WANG HL, ZHANG L, LIU JH. Microwave-assisted extraction of phytic acid from rice bran [J]. Jiangxi Feed, 2014, (4): 4–7.
[11] 袁建, 王艳, 范哲, 等. 响应面法优化小麦麸皮中植酸的提取工艺[J]. 粮食与饲料工业, 2013, (12): 13–17.
YUAN J, WANG Y, FAN Z, *et al.* Optimization of extraction conditions for phytic acid from wheat bran using response surface methodology [J]. Gereal Feed Ind, 2013, (12): 13–17.
[12] 温舒元, 范杰英, 魏春雁, 等. 分光光度法测定大豆中植酸含量的不确定度评估[J]. 东北农业科学, 2019, 44(3): 92–96.
WEN SY, FAN JY, WEI CY, *et al.* Evaluation of uncertainty of the determination of phytic acid content in soybean by spectrophotometry [J]. J Northeast Agric Sci, 2019, 44(3): 92–96.
[13] 王国蓉, 万文贵, 王丽, 等. 三氯化铁滴定法测定植酸含量方法的优化及改进研究[J]. 食品科学, 2009, 30(10): 188–190.
WANG GR, WAN WG, WANG L, *et al.* Optimization of ultrasonic-assisted extraction conditions for determination of phytic acid in wheat bran by $FeCl_3$ titration method [J]. Food Sci, 2009, 30(10): 188–190.
[14] 孙媛, 蔡迪, 向琴, 等. 麦麸中四种蛋白的 Osborne 法提取分离及性能研究[J]. 食品工业科技, 2015, (9): 136–203.
SUN Y, CAI D, XIANG Q, *et al.* Extraction and characterization of four proteins from wheat bran by Osborne [J]. Sci Technol Food Ind, 2015, (9): 136–203.
[15] 魏练平, 蒋立科, 王春艳, 等. 米糠植酸钙精制工艺及其残渣的利用研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(2): 92–97.
WEI LP, JIANG LK, WANG CY, *et al.* Preparation of refined calcium phytate from rice bran [J]. J Chin Cereals Oils Assoc, 2011, 26(2): 92–97.
[16] 袁凤杰, 竹龙鸣, 郁晓敏, 等. 大豆低植酸突变体籽粒的抗氧化性分析[J]. 核农学报, 2020, 34(12): 2629–2637.

- YUAN FJ, ZHU LM, YU XM, *et al.* Anti-oxidation analysis on soybean seeds of low phytic acid mutants [J]. J Nucl Agric Sci, 2020, 34(12): 2629–2637.
- [17] 李志江, 戴凌燕. 米糠植酸提取的优化研究[J]. 饲料工业, 2005, (19): 16–18.
- LI ZJ, DAI LY. Study on the optimization of extraction of phytic acid from rice bran [J]. Feed Ind, 2005, (19): 16–18.
- [18] 李琦, 苏银银. 小麦纤维素中植酸含量测定方法的改进研究[J]. 河南预防医学杂志, 2017, 28(7): 508–511.
- LI Q, SU YY. Improvement of determination method of phytic acid content in wheat cellulose [J]. Henan J Prev Med, 2017, 28(7): 508–511.
- [19] 邱立明, 孟橘, 魏冰, 等. 菜籽粕中植酸高效提取的工艺研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(8): 150–152.
- QIU LM, MENG J, WEI B, *et al.* Extraction of phytic acid from rapeseed meal [J]. China Oils Fats, 2019, 44(8): 150–152.
- [20] 张剑, 李梦琴, 王睿. 小麦麸皮提取植酸钙的工艺研究[J]. 粮食与饲料工业, 2004, (11): 16–18.

ZHANG J, LI MQ, WANG R. Study on the extraction process of calcium phytate from wheat bran [J]. Cereal Feed Ind, 2004, (11): 16–18.

(责任编辑: 王 欣 郑 丽)

作者简介



严 静, 主要研究方向为食品科学与工程。

E-mail: 2503511941@qq.com



张 余, 博士, 教授, 主要研究方向为食品化学与营养学、膳食蛋白方向的研究。

E-mail: zhangchuan2005@126.com