

大豆豆脐中异黄酮的提取工艺优化

周文红¹, 郭咪咪², 毕艳红¹, 王朝宇¹, 段章群²

(1. 淮阴工学院生命科学与食品工程学院, 江苏淮安 223003)

(2. 国家粮食和物资储备局科学研究院粮油加工研究所, 北京 100037)

摘要: 为了提高大豆豆脐在大豆加工行业的利用率以及更大程度地发挥大豆豆脐的营养价值, 本文在国标大豆异黄酮检测方法的基础上, 建立了一套适用于测定大豆豆脐中异黄酮含量的高效液相色谱方法。本实验以大豆豆脐为原料, 采用乙醇-水溶液作为提取溶剂, 通过单因素实验和正交实验确定超声波辅助提取大豆异黄酮的最佳工艺, 结果表明: 各因素对大豆异黄酮提取率影响大小的顺序为: 提取温度(B)>提取时间(C)>料液比(D)>乙醇浓度(A); 在乙醇浓度为 80%、提取温度为 80 °C、提取时间为 1.5 h、料液比为 1:35 g/mL 时提取三次, 大豆异黄酮的提取率可达 10.88±0.120 mg/g。本方法准确、高效, 能够提取出原料中 90% 以上的大豆异黄酮, 该提取工艺稳定可行, 可为大豆豆脐中异黄酮的提取提供理论依据。

关键词: 大豆豆脐; 大豆异黄酮; 提取; 工艺优化

文章编号: 1673-9078(2020)02-218-223

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.031

Optimization of Extraction Technology of Isoflavones from Soybean Umbilicus

ZHOU Wen-hong¹, GUO Mi-mi², BI Yan-hong¹, WANG Zhao-yu¹, DUAN Zhang-qun²

(1. Huaiyin Institute of Technology, College of Life Sciences and Food Engineering, Huai'an 223003, China)

(2. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Institute of Grain & Oil Processing Science and Technology, Beijing 100037, China)

Abstract: In order to improve the utilization rate of soybean umbilicus in soybean processing industry and to give full play to the nutritional value of soybean umbilicus, a high performance liquid chromatography (HPLC) method for the determination of isoflavones in soybean umbilicus was established based on the national standard method for the determination of isoflavones in soybean. In this experiment, the optimal extraction process of soybean isoflavone was achieved by single factor experiments and orthogonal experiments, when soybean umbilicus and ethanol-water solution served as the raw material and extraction solvent, respectively. The results showed that the order of factors on the extraction rate of soybean isoflavones was: Extraction temperature (B)>Extraction time (C)>Solid-liquid ratio (D)>Ethanol concentration (A). And the optimum conditions were as follows: the ethanol concentration was 80%, the extraction temperature was 80 °C, the extraction time was 1.5 h, and the ratio of material to liquid was 1:35 (g/mL). Under this condition, when the soybean isoflavones were extracted for three times, the highest extraction rate of 10.88±0.120 mg/g could be obtained. This method is accurate and efficient, and more than 90% of soybean isoflavones can be extracted from raw materials. The extraction process is stable and feasible, which can provide theoretical basis for the extraction of isoflavones from soybean umbilicus.

Key words: soybean umbilicus; soybean isoflavone; extraction; process optimization

大豆豆脐是大豆的生殖器官, 占大豆总质量的 2.5%, 含有丰富的生理活性物质, 如大豆异黄酮、大豆皂甙、大豆低聚糖、维生素 E 和甾醇等, 具有特殊

收稿日期: 2019-08-19

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金 (ZX1905)

作者简介: 周文红 (1993-), 女, 在读硕士生, 研究方向: 生物化工

通讯作者: 毕艳红 (1981-), 女, 副教授, 研究方向: 食品酶学、食品加工;

共同通讯作者: 段章群 (1981-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 油脂化学与加工技术

的生理作用和营养价值。大豆异黄酮是大豆生长过程中的次级代谢产物, 是大豆产生苦涩味的原因之一^[1], 属于黄酮类化合物中的异黄酮成分, 其基本母核为 3-苯吡喃酮, 因与内源性雌激素有类似的分子结构被称为植物雌激素。目前, 从大豆中共分离出 12 种大豆异黄酮, 其中, 染料木素、大豆昔元和黄豆黄素以游离昔元的形式存在, 约占大豆异黄酮总量的 3%; 约 97% 的大豆异黄酮与糖苷结合成对应的糖苷型大豆异黄酮, 如染料木昔和大豆昔等^[2,3]。近年来的研究表明,

大豆异黄酮具有许多重要的生理功能, 诸如预防癌症^[4]、抗氧化^[5]、减缓女性更年期综合症^[6]、预防骨质疏松^[7]及心血管疾病^[8]等。

大豆中异黄酮的平均含量为 0.1%~0.5%, 且主要分布在子叶和豆脐中, 其中子叶中含量约为 0.1%~0.3%, 豆脐中异黄酮含量较高, 含量约为 1%~2%^[9]。随着加工技术的进步, 我国大豆加工企业已经可以将大豆豆脐单独分离出来, 并且其纯度可达 95% 以上。然而, 当前大豆豆脐主要是作为原料出口至大豆加工强国用于提取大豆异黄酮等功能性物质, 对应的产品有日本的“DHC 异黄酮”、美国的“安利纽崔莱大豆异黄酮素片”。与世界先进水平相比, 我国大豆深加工产品科技附加值较低、大豆制品产业链不长、缺乏多样化多层次的大豆深加工产品。目前, 大豆异黄酮提取方法包括有机溶剂萃取法、加热回流法、超声波辅助提取法、微波辅助提取法和超临界 CO₂ 萃取法等, 其中超声波辅助提取法和微波辅助提取法可大大缩短提取时间, 超临界 CO₂ 萃取由于极性并不适用于异黄酮的提取。目前对于大豆豆脐中异黄酮的提取研究报道尚少, 为了提高大豆豆脐在大豆加工行业的利用率以及更大程度地发挥大豆豆脐的营养价值, 本文拟采用超声波辅助提取大豆豆脐中的异黄酮, 为其工业化利用提供理论基础。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

大豆豆脐, 由香驰控股有限公司提供。

石油醚 (30~60 °C)、无水乙醇为分析纯, 甲醇、乙酸为色谱纯, 大豆苷 (Daidzin, D, ≥98%)、黄豆苷 (Glycitin, Gl, ≥98%)、染料木苷 (Genisitin, G, ≥98%)、大豆苷元 (Daidzein, De, ≥98%)、黄豆黄素 (Glycitein, Gle, ≥98%)、染料木素 (Genistein, Ge, ≥98%), 购自 Sigma。

1.2 仪器与设备

中草药粉碎机 JX-600, 天津泰斯特仪器有限公司; 电子天平 XS105DU, 北京盛昌达仪器仪表有限公司; 数控超声波清洗器 KQ5200DE, 昆山市超声仪器有限公司; 控温摇床 IKA KS 4000 ic, 艾卡 (广州) 仪器设备有限公司; 低速大容量离心机 RJ-LD-IIB, 常州恒隆仪器有限公司; 高效液相色谱仪 EClassical 3100, 大连依利特分析仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 原料预处理

用粉碎机将大豆豆脐粉碎并过 40 目筛, 用石油醚脱脂, 脱脂条件为: 称取粉碎后的大豆豆脐 50 g, 加入 400 mL 石油醚超声脱脂 20 min, 4000 r/min 下离心 15 min, 沉淀加入 300 mL 石油醚, 重复上述步骤 2 次, 得到脱脂豆脐粕。

1.3.2 大豆异黄酮标准曲线的建立

准确称取 D、Gl、G、De、Gle、Ge 标品各 1.00 mg, 以 60% 甲醇溶液溶解并定容至 10 mL, 作为标准储备液, 再用 10% 甲醇溶液稀释配制成不同浓度的混合标准样品溶液。以大豆异黄酮各组分的浓度 (c) 为横坐标, 大豆异黄酮各组分的峰面积 (S) 为纵坐标, 绘制标准曲线, 回归方程和相关系数 R² 如表 1 所示。

表 1 大豆异黄酮各组分标准曲线的回归方程及相关系数

Table 1 Regression equation and correlation coefficient of standard curve of Soybean Isoflavones

大豆异黄酮组分	回归方程	相关系数 (R ²)
D	Y ₁ =98.695X ₁ -3.2383	R ² =0.9999
Gl	Y ₂ =82.12X ₂ -1.7478	R ² =0.9999
G	Y ₃ =112.82X ₃ -2.8125	R ² =0.9999
De	Y ₄ =113.24X ₄ +0.581	R ² =0.9907
Gle	Y ₅ =165.54X ₅ -0.2022	R ² =0.9991
Ge	Y ₆ =159.47X ₆ -0.3034	R ² =0.9999

1.3.3 大豆豆脐中异黄酮的提取

准确称取脱脂后的豆脐粕 1.00 g (精确到小数点后两位), 按照一定的料液比加入一定浓度的乙醇溶液, 超声 10 min 后, 按照预设的温度放入摇床中进行提取一段时间, 提取液在 4000 r/min 下离心 15 min, 将上清液定容至 50 mL, 过 0.45 μm 有机相滤膜, 用于进行液相色谱分析。

1.3.4 正交实验

在单因素实验的基础上, 设计了四因素三水平的 L₉(3⁴) 正交实验来确定最佳提取条件。固定提取次数为三次, 选取乙醇浓度、提取时间、提取温度、料液比四个因素进行正交优化实验, 各因素的水平如下, 乙醇浓度: 60%、70% 和 80%, 提取时间: 0.5 h、1.0 h 和 1.5 h, 提取温度: 60 °C、70 °C 和 80 °C, 料液比: 1:25 (g/mL)、1:30 (g/mL) 和 1:35 (g/mL)。

1.3.5 高效液相色谱分析条件

色谱柱为 Symmetry 300TM C₁₈ (4.6×250 mm, 5 μm); 流动相 A 为 0.1% 乙酸水溶液、B 为 0.1% 乙酸甲醇溶液, 流速为 1 mL/min; 进样量为 20 μL; 检测波长为 260 nm; 柱温为 40 °C; 流动相梯度洗脱程序如表 2 所示。

表 2 流动相梯度洗脱程序

时间/min	A/%	B/%	时间/min	A/%	B/%
0	90	10	30	40	60
12	75	25	32	0	100
16	70	30	34	0	100
21	60	40	36	90	10
25	50	50	45	90	10

1.3.6 数据统计分析

大豆异黄酮含量按照以下公式进行计算:

$$W = \frac{c \times V \times N}{m \times 100C}$$

式中: W -大豆异黄酮含量 (mg/g); c -根据标准曲线得到大豆异黄酮浓度 ($\mu\text{g/mL}$); V -提取液体积 (mL); N -稀释倍数; m -称样质量 (g)。

大豆异黄酮总含量 (TIF), 是指原料中大豆苷 (D)、染料木苷 (G)、黄豆苷 (GI)、大豆苷元 (De)、染料木素 (Ge)、黄豆黄素 (Gle) 的总含量。

文中数据采用 Origin 8.5 软件进行分析与作图, 数据结果用平均值 \pm 标准偏差表示。

2 结果与讨论

2.1 大豆豆脐中异黄酮提取单因素实验

2.1.1 乙醇浓度对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

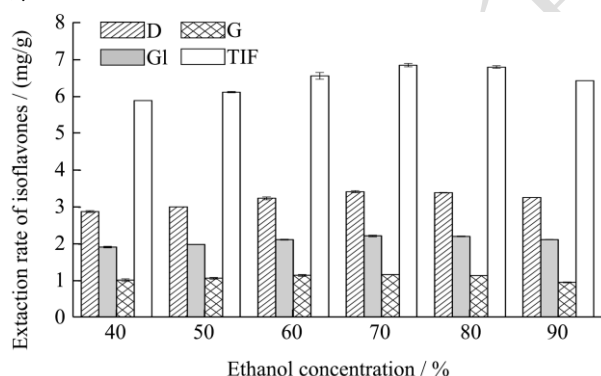


图 1 乙醇浓度对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

Fig.1 Effect of ethanol concentration on isoflavone extraction from soybean umbilicus

如图 1 所示, 不同浓度的乙醇溶液对豆脐中大豆异黄酮的溶出有较大影响, 在 40%~70% 范围内, 总异黄酮及单个异黄酮糖苷的提取率随着乙醇浓度的升高而增大, 且当乙醇浓度为 70% 时, 总异黄酮提取率达到最大值 6.85 mg/g; 当乙醇浓度超过 70% 时, 提取率随浓度增加而降低。这是由于随着体系中乙醇体积分数的增大, 溶剂的极性逐渐减小, 而大豆异黄酮属于

弱极性化合物, 因而提取率呈现提取率增大的现象, 并且糖类、蛋白质等水溶性化合物随着乙醇浓度增加浸出减少^[10]。但是当乙醇浓度超过 70% 时, 高浓度的乙醇长时间浸提使得部分蛋白质变性, 形成絮状物滞留在颗粒表面, 增大了异黄酮分子溶出的传质阻力, 所以当乙醇浓度增加到一定程度, 异黄酮的提取率反而降低。因此, 结合大豆异黄酮提取率及杂质含量考虑, 确定提取大豆异黄酮的最适乙醇浓度为 70%, 该条件与王丹^[11]、陈燕^[12]等人的研究结果相符。

2.1.2 提取温度对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

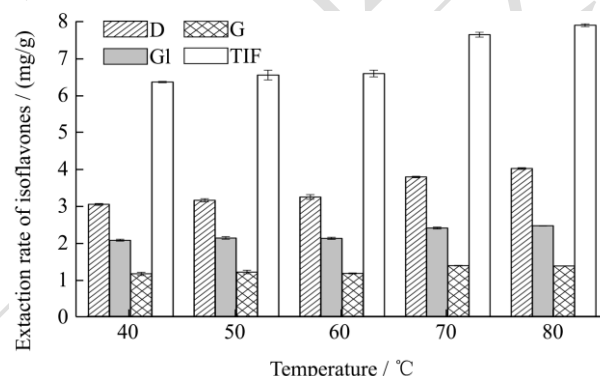


图 2 提取温度对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

Fig.2 Effect of extraction temperature on isoflavone extraction from soybean umbilicus

如图 2 所示, 不同温度下大豆异黄酮提取率差异较大。当提取温度在 40 °C~80 °C 内变化时, 随着温度的升高, 大豆异黄酮总量及大豆黄苷的提取率明显提高, 尤其是在温度由 60 °C 升到 70 °C 时, 溶液中大豆异黄酮的提取率显著提高, 对应的染料木苷和黄豆苷则变化较小。而当温度超过 70 °C 后, 继续升高提取温度, 异黄酮提取率增加减缓, 推测这种缓增趋势可能是由其它形式的异黄酮 (乙酰基和丙二酰基型大豆异黄酮) 在长时间的高温作用下水解形成了目标产物^[13,14]。因此, 在保证有效成分提取量和节省能源、降低成本的前提下, 选择 70 °C 作本实验的提取温度。

2.1.3 提取时间对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

如图 3 所示, 提取时间在 3 h 内, 随着时间延长单个大豆异黄酮糖苷以及总异黄酮提取量总体呈现上升趋势。在提取初始阶段, 固-液两相之间存在较大的浓度差, 传质推动力较大, 溶解速率较快, 溶液中异黄酮逐渐增多, 当提取过程进行到一定程度时, 固-液两相的异黄酮接近平衡状态, 即由于液相中异黄酮的浓度逐渐接近平衡浓度, 传质推动力较小, 异黄酮溶出速率减缓。由图 3 可知, 提取时间在 0.5 h~1 h 范围内, 总异黄酮提取率显著提升, 继续延长提取时

间, 异黄酮浸出量随提取时间延长增加相对缓慢。因此将提取时间控制在 1 h 左右, 此时异黄酮提取率达到 6.52 mg/g, 可保证大部分异黄酮被提取出来。

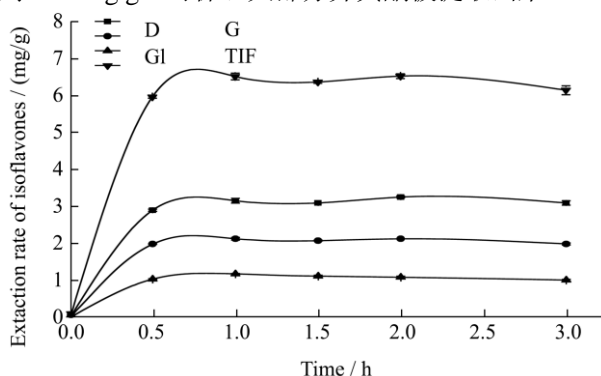


图 3 提取时间对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

Fig.3 Effect of extraction time on isoflavone extraction from soybean umbilicus

2.1.4 料液比对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

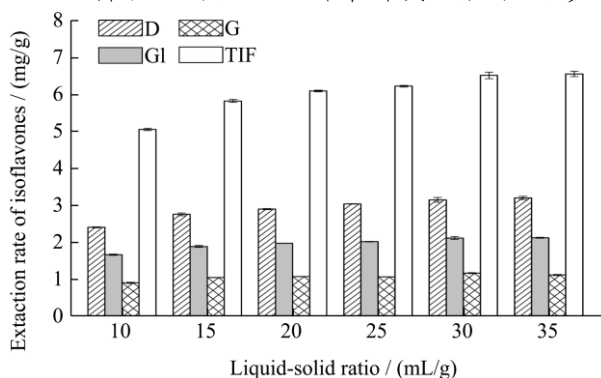


图 4 料液比对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

Fig.4 Effect of solid-liquid ratio on Extraction of isoflavones from soybean umbilicus

在植物有效成分提取过程中, 当样品质量一定时, 浓度差则是一种重要的传质推动力, 液料比增加可提高提取的产物从固相表面扩散进入液相主体这一过程的传质速率, 即可以减小外扩散阻力的影响, 从而提

高浸提量, 但是过高的液料比也会提高生产成本及后续处理的工作量。因此, 料液比的选择应兼顾浸提量及过程的经济性能。如图 4 所示, 当料液比在 1:10~1:35 (g/mL)范围内, 随着料液比的增加, 异黄酮的提取量逐渐增加, 异黄酮提取率在 1:30 (g/mL)时为 6.52 mg/g, 但当料液比超过 1:30 (g/mL)后, 提取率无明显提高。结合生产实际效率和后续分离纯化过程, 选择的料液比为 1:30 (g/mL)。

2.1.5 提取次数对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

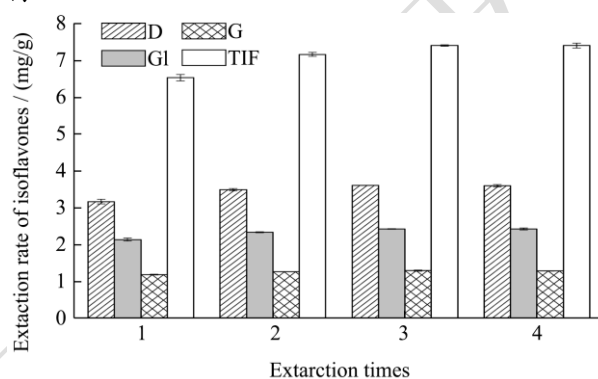


图 5 提取次数对大豆豆脐中异黄酮提取的影响

Fig.5 Effect of extraction times on isoflavone extraction from soybean umbilicus

如图 5 所示, 第二次浸提相对于第一次提取大豆异黄酮的提取率显著提升, 再增加提取次数异黄酮的提取率增幅较小且趋于平缓, 浸提三次以后大豆异黄酮提取率不再增加, 说明原料中的异黄酮已经基本提取完成。三次浸提异黄酮提取率为 7.39 mg/g, 通过计算发现可以将原料中 95% 以上的大豆异黄酮提取出来, 综合大豆异黄酮浸提量及本着节约实验所用试剂原则, 确定实验提取次数为三次。

2.2 大豆豆脐中异黄酮提取正交实验结果

表 3 大豆异黄酮提取正交实验结果

Table 3 Orthogonal experimental results of soybean isoflavone extraction

编号	实验因素				D/(mg/g)	GI/(mg/g)	G/(mg/g)	TIF/(mg/g)
	A:乙醇浓度%	B:温度℃	C:时间 h	D:料液比 g/mL				
1	1(60)	1(60)	1(0.5)	1(1:25)	3.65	2.40	1.26	7.42
2	1	2(70)	2(1.0)	2(1:30)	3.82	2.49	1.33	7.73
3	1	3(80)	3(1.5)	3(1:35)	5.00	3.06	1.65	9.91
4	2(70)	1	2	3	3.93	2.62	1.35	7.94
5	2	2	3	1	4.31	2.75	1.45	8.58
6	2	3	1	2	3.98	2.57	1.37	7.98
7	3(80)	1	3	2	4.01	2.61	1.34	8.05
8	3	2	1	3	4.09	2.70	1.43	8.31
9	3	3	2	1	5.09	3.09	1.61	9.86

表4 大豆异黄酮提取正交实验加权综合分析

Table 4 Weighted comprehensive analysis of orthogonal experiment for extraction of Soybean Isoflavones

编号	实验因素				D'	GI'	G'	TIF'	综合评分
	A:乙醇浓度%	B:温度℃	C:时间 h	D:料液比 g/mL					
1	1(60)	1(60)	1(0.5)	1(1:25)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1	2(70)	2(1.0)	2(1:30)	11.81	13.04	17.95	12.45	12.93
3	1	3(80)	3(1.5)	3(1:35)	93.75	95.65	100.00	100.00	97.79
4	2(70)	1	2	3	19.44	31.88	23.08	20.88	22.39
5	2	2	3	1	45.83	50.72	48.72	46.59	47.23
6	2	3	1	2	22.92	24.64	28.21	22.49	23.49
7	3(80)	1	3	2	25.00	30.43	20.51	25.30	25.52
8	3	2	1	3	30.56	43.48	43.59	35.74	36.39
9	3	3	2	1	100.00	100.00	89.74	97.99	97.97
k ₁	36.91	15.97	19.96	48.40	w ₁ =0.25, w ₂ =0.15, w ₃ =0.10, w ₄ =0.5				
k ₂	31.04	32.18	44.43	20.65	因素主次: B>C>D>A				
k ₃	53.29	73.08	56.85	52.19	较优组合: 第三组 (B ₃ C ₃ D ₃ A ₁)				
极差 R	22.25	57.11	36.89	31.54	最优组合: A ₃ B ₃ C ₃ D ₃				

由表3的试验结果及表4的加权综合分析可知,各因素对大豆异黄酮提取率影响大小的顺序为:提取温度(B)>提取时间(C)>料液比(D)>乙醇浓度(A),大豆异黄酮提取的最佳工艺参数组合为A₃B₃C₃D₃,即理论上在提取温度80℃,提取时间1.5h,乙醇浓度80%,料液比1:35(g/mL)下,提取次数三次,大豆异黄酮的总浸提率可以达到最高。由于最佳工艺参数组合不在正交表范围中,为此将正交表中的较优组合(第三组)与最优方案进行了验证实验。验证结果如表5所示,正交实验表的较优组合中总大豆异黄酮提取率为9.83±0.002 mg/g,最优方案组合中总大豆异黄酮的提取率为10.88±0.120 mg/g,优于正交试验所得的较优方案,所以确定提取大豆异黄酮的最佳工艺条件为:提取温度80℃,提取时间1.5h,乙醇浓度80%,料液比1:35(g/mL),提取次数为三次,在此条件下大豆异黄酮的提取率达到最高10.88 mg/g。

表5 验证实验

Table 5 Verification experiments

项目	D/(mg/g)	GI/(mg/g)	G/(mg/g)	TIF/(mg/g)
第三组	5.01±0.035	3.06±0.021	1.64±0.014	9.83±0.002
最优方案	5.56±0.063	3.29±0.021	1.79±0.028	10.88±0.120

3 结论

以大豆豆脐为原料,三种大豆异黄酮糖苷及总大豆异黄酮提取率为指标,采用单因素实验与正交实验对超声辅助提取大豆豆脐中大豆异黄酮的工艺进行优化。实验结果表明,各因素对大豆异黄酮提取率影响大小的顺序为:提取温度(B)>提取时间(C)>料液比

(D)>乙醇浓度(A);确定最佳工艺条件为:乙醇浓度80%、提取温度80℃、提取时间1.5h、料液比1:35(g/mL),在该条件下提取三次,总大豆异黄酮的提取率最高可达10.88±0.120 mg/g。

参考文献

[1] 李辉,戴常军,兰静,等.黑龙江省栽培大豆异黄酮含量的初步分析[J].中国粮油学报,2007,1:38-40
LI Hui, DAI Chang-jun, LAN Jing, et al. Primary analyse of isoflavones contents in Heilongjiang province soybean cultivars [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2007, 1: 38-40

[2] 郭建.大豆异黄酮提取纯化工艺研究[D].天津:天津大学,2012
GUO Jian. Extraction and purification of soy isoflavoners [D]. Tianjin: Tianjin University, 2012

[3] Zhang E J, Ng K M, Luo K Q. Extraction and purification of isoflavones from soybeans and characterization of their estrogenic activities [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(17): 6940-6950

[4] Kashiwagi R, Matsuzawa A, Maseki E, et al. Analysis of the effect of soybean isoflavones on the function of BRCA1 in cancer prevention and therapy [J]. Soy Protein Research Japan, 2010, (13): 120-124

[5] 王晓炜,程光宇,吴京燕,等.大豆异黄酮和牛初乳复合制剂对去卵巢大鼠骨密度及子宫组织抗氧化作用的研究[J].食品科学,2007,28(2): 297-302
WANG Xiao-wei, CHENG Guang-yu, WU Jing-yan, et al.

- Effects of complexes of soy isoflavones and bovine colostrum (SIBC) on bone density and anti-oxidant of uterus in OVX rats [J]. *Food Science*, 2007, 28(2): 297-302
- [6] 翟文.大豆异黄酮对女性更年期综合征及骨密度的影响[J]. *中国妇幼保健*,2012,27(21):3318-3320
- ZHAI Wen. Effects of soybean isoflavones on female climacteric syndrome and bone mineral density [J]. *Maternal and Child Health Care of China*, 2012, 27(21): 3318-3320
- [7] Barnes, Stephen. The Biochemistry, chemistry and physiology of the isoflavones in soybeans and their food products [J]. *Lymphatic Research and Biology*, 2010, 8(1): 89-98
- [8] 马善峰,关宿东,祝延.大豆异黄酮对阿霉素致心衰大鼠心功能的影响[J].*中西医结合学报*,2004,2(4):278-280
- MA Shan-feng, GUAN Su-dong, ZHU Yan. Effect of soybean isoflavones on heart function of rats with adriamycin-induced heart failure [J]. *Journal of Chinese Integrative Medicine*, 2004, 2(4): 278-280
- [9] 牛新春.豆粕中大豆异黄酮的提取、纯化与精制[D].长春:吉林大学,2007
- NIU Xin-chun. Study on the extraction,purification and refining of isoflavones from soybean [D]. Changchun: Jilin University, 2007
- [10] 左玉帮.从豆粕中提取大豆异黄酮的研究[D].天津:天津大学,2008
- ZUO Yu-bang. Study on extraction of soy isoflavones from soybean meal [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008
- [11] 王丹.脱脂豆粕中大豆异黄酮提取工艺的研究[J].*天津:食品研究与开发*,2017,38(6):52-55
- WANG Dan. Study on the extraction technology of isoflavones from defatted soybean meal [J]. *Tianjin: Food Research and Development*, 2017, 38(6): 52-55
- [12] 陈燕.黑豆中提取大豆异黄酮研究[J].*沈阳:当代化工*,2019, 48(1):80-82,97
- CHEN Yan. Extraction of soybean isoflavones from black soybeans [J]. *Shenyang: Contemporary Chemical Industry*, 2019, 48(1): 80-82, 97
- [13] 韩锋,翟桂香.大豆异黄酮及其水解研究进展[J].*粮油食品科技*,2004,5:35-36
- HAN Feng, ZHAI Gui-xiang. Research progress of soybean isoflavones and their hydrolysis [J]. *Science and Technology Cereals, Oils and Foods*. 2004, 5: 35-36
- [14] 张爱武,张永忠,钱丽丽,等.弱碱水解丙二酰基型大豆异黄酮的研究[J].*中国食品工业*,2006,12:52-53
- ZHANG Ai-wu, ZHANG Yong-zhong, QIAN Li-li, et al. Study on malonyl isoflavone glucosides by alkali hydrolysis [J], *China Food Industry*, 2006, 12: 52-53

(上接第 200 页)

- [15] 蓝平,蓝丽红,吴如春,等.次氯酸钠氧化淀粉的制备工艺研究[J].*广西民族学院学报(自然科学版)*,2006,3:104-107
- LAN Ping, LAN Li-hong, WU Ru-chun, et al. Preparation process of sodium hypochlorite oxidized starch [J]. *Journal of Guangxi University for Nationalities (Natural Science Edition)*, 2006, 3: 104-107
- [16] 刘文娟,梁琪,方东平,等.木薯醋酸酯淀粉的制备及性能研究[J].*中国食品添加剂*,2012,6:142-146
- LIU Wen-juan, LIANG Qi, FANG Dong-ping, et al. Study on preparation and properties of cassava acetate starch [J]. *China Food Additives*, 2012, 6: 142-146
- [17] 孙平,高秀敏,张津凤,等.玉米淀粉醋酸酯的制备与物性研究[J].*天津科技大学学报*,2006,3:15-19
- SUN Ping, GAO Xiu-min, ZHANG Jin-feng, et al. Preparation and properties of corn starch acetate [J]. *Journal of Tianjin University of Science and Technology*, 2006, 3: 15-19
- [18] 曹立松.氧化羟丙基木薯淀粉制备及对玉米馒头食用品质的影响[D].*郑州:河南工业大学*,2014
- CAO Li-song. Preparation of hydroxypropyl cassava starch and its influence on the eating quality of corn taro [D]. *Zhengzhou: Henan University of Technology*, 2014
- [19] 王俊明.阳离子淀粉的制备及其在纸张增强中的应用研究[D].*杭州:浙江大学*,2015
- WANG Jun-ming. Preparation of cationic starch and its application in paper reinforcement [D]. *Hangzhou: Zhejiang University*, 2015