

响应面法优化甘草酸超声提取工艺研究

段海涛¹, 朱季升¹, 潘元猛¹, 边力文¹, 郭诚诺¹, 杨建平¹, 谷 旭^{2,3},
张 磊⁴, 李 俊^{2,3*}

(1. 河南牧业经济学院动物科技学院, 郑州 450046; 2. 中国农业科学院饲料研究所, 北京 100081;
3. 农业农村部生物技术重点实验室, 北京 100081; 4. 河南省兽药饲料监察所, 郑州 450008)

摘 要: **目的** 研究甘草酸的超声最佳提取工艺参数。**方法** 以料液比、提取时间及提取温度为主要研究因素, 以提取的甘草酸含量为响应值, 先利用单因素确定 3 个水平的拐点, 再用 Box-Behnken 实验设计不同水平实验, 运用 Design-Expert 10.0.3 软件对测得的结果建立二次回归模型。**结果** 通过对单因素实验的分析, 确定料液比 3 个水平分别取 1:50、1:65、1:80(g/mL)。提取温度分别取 20、25、30 °C 3 个水平, 提取时间分别取 2、5、8 min 3 个水平, Box-Behnken 试验结果得甘草酸超声提取工艺最佳参数应为料液比为 1:59(g/mL), 提取温度 25.5 °C, 提取时间 5.7 min 时能取得最大值。**结论** 经过试验反复验证, 所得到的实测值与预测值吻合程度良好, 即说明响应面模型具有较好的预测能力, 能够有效用于甘草酸提取值的预测。

关键词: 响应面法; 超声提取; 甘草酸; 工艺参数

Optimization of ultrasonic extraction of glycyrrhizic acid by response surface method

DUAN Hai-Tao¹, ZHU Ji-Sheng¹, PAN Yuan-Meng¹, BIAN Li-Wen¹, GUO Cheng-Nuo¹,
YANG Jian-Ping¹, GU Xu^{2,3}, Zhang Lei⁴, LI Jun^{2,3*}

(1. College of Animal Science and Technology, Henan University of Animal Husbandry and Economy, Zhengzhou 450046, China; 2. Feed Research Institute Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;
3. Key Laboratory of Biotechnology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China;
4. Henan Veterinary Drug and Feed Supervision Institute, Zhengzhou 450008, China)

ABSTRACT: Objective To study the optimal ultrasonic extraction parameters of glycyrrhizic acid. **Methods** With the ratio of material to liquid, extraction time and extraction temperature as the main research factors, and the extracted glycyrrhizic acid content as the response value, three inflection points at three levels were determined by single factor, and then Box-Behnken was used to design experiments at different levels. A quadratic regression model was established for the measured results by using the design-expert 10.0.3 software. **Results** Through the analysis of single factor experiment, three levels of material-liquid ratio were determined: 1:50, 1:65 and 1:80 (g/mL), respectively. The extraction temperature was set at 20, 25 and 30 °C, and the extraction time was set at 2, 5 and 8 min, respectively. The box-behnken test results showed that the optimal ultrasonic extraction parameters of glycyrrhizic acid were the ratio of material to liquid 1:59 (g/mL), the extraction temperature was 25.5 °C, and the extraction time was 5.7 min. **Conclusion** The experimental results show that the measured value is in good agreement with the

*通讯作者: 李俊, 研究员, 主要研究方向为饲料加工与质量安全。E-mail: lijun08@caas.cn

*Corresponding author: LI Jun, Professor, Institute of Feed, Feed Research Institute Chinese Academy of Agricultural Sciences & Key Laboratory of Biotechnology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chinese Academy of Agricultural Sciences, No. 12, Zhongguancun South Street, Haidian District, Beijing 100081, China. E-mail: lijun08@caas.cn

predicted value, which indicates that the response surface model has a good prediction ability and can be effectively used for the prediction of glycyrrhizic acid extraction value.

KEY WORDS: response surface; ultrasonic extraction; glycyrrhizic acid; process parameter

1 引言

甘草,又名甜草、密甘等,是一种常见的药用价值高的中草药之一。甘草的成分包括甘草酸、类黄酮、异黄酮、查耳酮、香豆素、三萜类化合物等,其中甘草酸是甘草的最主要的活性成分,含量约 10%。甘草酸具有肾上腺皮质激素样作用,能抑制毛细血管通透性,减轻过敏性休克的症状。可以降低高血压病人的血清胆固醇,还具有抗癌防癌、干扰素诱生剂及细胞免疫调节剂等功能^[1]。目前,随促生长类抗菌药物饲料添加剂品种的退出,植物提取物产品成为近年来研究热点。然而,植物提取物行业仍然存在一些问题,提取工艺效率低,产品质量参差不齐等。甘草酸的提取方法中,单罐分批提取法属于固相萃取其缺点是溶剂用量大、萃取时间长、萃取效率低^[2]。而超声提取的收率更高、速度更快,简单方便是植物提取行业应用较多的提取方法^[3,4]。然而,用于甘草酸的提取,超声提取工艺中料液比、时间及温度等因素对提取效率的影响却尚不清楚。本实验利用 Box-Behnken 响应面回归设计,以提取的甘草酸含量为评价指标,探究料液比、提取时间和提取温度的最佳组合工艺参数,以期对甘草提取物产品的加工提供技术支持。

2 材料与方法

2.1 试验仪器

DJ-05 小型高速粉碎机(烟台凌宇粉末机械有限公司); Multifuge X1R 台式离心机(上海智岩科学仪器有限公司); CSZD-85 超声振荡器(常州易晨仪器制造有限公司); 1260 Infinity 高效液相色谱仪(上海莱睿科学仪器有限公司)。

2.2 试验材料和试剂

甘草样品(乌拉尔甘草,市购); 甲醇(色谱纯,广州市信洪贸易有限公司); 冰醋酸(分析纯,广州市信洪贸易有限公司); 0.2 mol/L 醋酸铵溶液(取醋酸铵 15.42 g 加水溶解成 1000 mL 溶液)、甘草酸按标准品(USP 标准品,上海甄淮生物科技有限公司); 实验用水均为超纯水。

2.3 实验方法

采用高效液相色谱条件为色谱柱: Agela Odyssil C₁₈ 柱, (250 mm×4.6 mm, 5 μm)。柱温: 25 °C。紫外检测器: 检测波长 250 nm。流动相 A 为甲醇: 0.2 mol/L、B 为醋酸铵溶液: 冰醋酸=67:33:1(V/V/V)。进样量: 10 μL。流速: 1.0 mL/min。

单因素试验影响甘草酸含量的主要因素有料液比、提取温度、提取时间。料液比采用 1:20、1:50、1:80、1:100、1:200(g/mL)5 个水平, 提取温度采用 10、20、30、40、50、60 °C, 6 个水平; 提取时间采用 0、2、4、6、8、10、20、30、40、50、60 min, 11 个水平, 分别考察它们对甘草酸提取效果的影响。

在单因素试验的基础上, 选取合适范围的因素参数, 采用 3 因素 3 水平的响应面分析法进行优化试验, 得到超声波提取甘草酸的最佳工艺参数。

2.4 数据统计分析

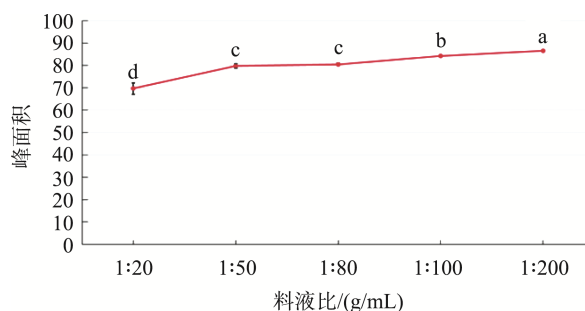
试验数据采用 SPSS 13.0 软件进行差异显著性检验, 试验数据用平均值±标准差表示, $P < 0.05$ 为差异显著, 建立以甘草酸含量(Y)和自变量的函数关系, 将得到的回归方程求解, 获得最佳提取条件。

3 结果与分析

3.1 单因素试验结果

3.1.1 料液比对甘草酸提取的影响

超纯水为溶剂, 按照料液比分别为 1:20、1:50、1:80、1:100、1:200(g/mL), 提取温度为 25 °C, 超声提取时间为 20 min, 频率 50 Hz, 进行单因素试验, 将料液比转化为统一浓度下, 由图表 1 可知, 料液比最佳为 1:65(g/mL)。



注: 数据肩标相同字母表示差异不显著($P > 0.05$), 不同表示差异显著($P < 0.05$), 下表同。

图 1 不同料液比下甘草酸提取结果

Fig.1 Extraction results of glycyrrhizic acid under different material ratio

3.1.2 提取温度对甘草酸提取的影响

以超纯水为溶剂, 料液比为 1:100(g/mL), 提取温度分别为 10、20、30、40、50、60 °C, 提取时间为 20 min, 频率 50 Hz。由图 2 可知, 最佳提取温度为 25 °C。

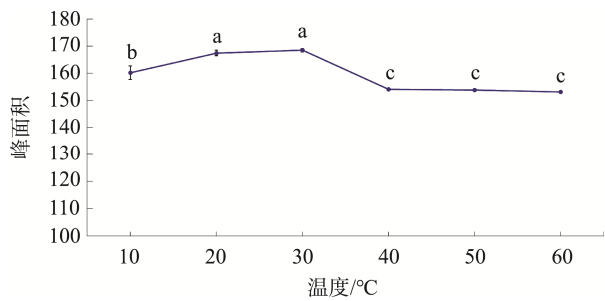


图 2 不同温度下甘草酸提取结果
Fig.2 Extraction results of glycyrrhizic acid at different temperatures

3.1.3 提取时间对甘草酸提取的影响

以超纯水为溶剂,按照料液比为 1:100(g/mL),提取温度为 25 ℃,提取时间分别为 0、2、4、6、8、10、20、30、40、50、60 min,频率 50 Hz。由图 3 可知,最佳提取时间为 5 min。

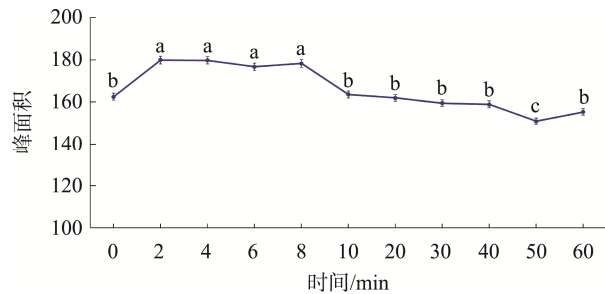


图 3 不同提取时间下甘草酸的提取结果
Fig.3 Extraction results of glycyrrhizic acid at different extraction time

3.2 Box-Behnken 试验

通过对单因素实验的分析,可以确定拐点数据,最终确定出料液比 3 个水平分别取 1:50、1:65、1:80(g/mL)。提取温度分别取 20、25、30 ℃ 3 个水平,提取时间分别取 2、5、8 min 3 个水平,Box-Behnken 实验设计因素和水平编码见表 1。

表 1 Box-Behnken 实验设计因素和水平编码 Table 1 The factor of Box-Behnken experimental design and horizontal coding			
水平	料液比/(g/mL)	提取温度/℃	提取时间/min
-1	1:80	20	2
0	1:65	25	5
1	1:50	30	8

依据单因素预试验结果,筛选以料液比(A)、提取温度(B)、提取时间(C)中的合理条件进行三因素三水平的 Box-Behnken 响应面分析试验,试验设计及结果见表 2。

表 2 Box-Behnken 实验结果 Table 2 Box-Behnken results				
试验处理组	料液比/(g/mL)	提取温度/℃	提取时间/min	峰面积
1	1:80	20	5	2147.5
2	1:50	20	5	2153.6
3	1:80	30	5	2157.7
4	1:50	30	5	2185.5
5	1:80	25	2	2143.5
6	1:50	25	2	2152.7
7	1:80	25	8	2159.2
8	1:50	25	8	2162.4
9	1:65	20	2	2157.5
10	1:65	30	2	2167.4
11	1:65	20	8	2168.5
12	1:65	30	8	2179.8
13	1:65	25	5	2207.5
14	1:65	25	5	2213.1
15	1:65	25	5	2219.3
16	1:65	25	5	2206.5
17	1:65	25	5	2218.4

用 Design-Expert 8.05 对表 2 中的数据进行方差分析和显著性检验,得甘草酸(Y)与 3 因子 A、B、C 的三元二次多项式回归方程:

$$Y=2212.98+5.7875*A+7.875*B+6.0625*C+5.425*AB-1.5*AC+0.275*BC-32.84*A^2-19.065*B^2-25.69*C^2$$

由表 3 分析可知,一次项 B,二次项 A²,B²,C²对提取效果有极显著性影响;一次项 A,C 对提取效果有显著性影响;交互项 AC,BC,AB 对提取效果影响不够显著。本试验模型 P<0.01,说明响应面的模型显著性较高;而失拟误差项 P>0.05,说明响应面模型对试验拟合的情况较好,试验误差小,可以很好的对甘草酸超声提取效果进行分析和预测。

利用 Design-Expert 10.0.3 软件,根据回归方程绘制不同影响因素对响应值(综合评价)的三维曲线图,响应面分析图形是特定响应值对应自变量构成的一个三维空间图(见图 4),可以直观的反映出各自变量对响应值的影响。看图可知提取时间和提取温度一定时,峰面积随料液比的增大而增大,到达一定值后,又随料液比的增大而减小。当料液比和提取时间一定时,峰面积随提取温度增大而增大在到达一定值后,又随提取温度增大而减小。当料液比和提取温度一定时,峰面积随提取时间增长而增大,在到达一定值后随提取时间增长而缩小。利用 Design-Expert

10.0.3 软件可以推导出甘草酸超声提取工艺最佳参数应为料液比为 1:59(g/mL)(实际为 1:58.82), 提取温度 25.5 °C(实际为 25.54 °C), 提取时间 5.7 min 时能取得最大值。响应面的陡峭程度表明各个因素对于甘草酸含量的影响情况。等高线图表示两因素之间交互作用的强弱程度。等高线为椭圆时表示两种因素之间的交互作用强, 等高线为圆形时则表示两种因素之间的交互作用较弱。等高线的密集程度也可以表示因素的变化对甘草酸含量的影响。

表 3 回归模型方差分析
Table 3 Regression model analysis of variance

方差来源	平方和	<i>f</i>	均方	<i>F</i>	<i>P</i>
模型	11009.51	9	1223.28	33.09	< 0.0001 ¹⁾
A-料液比	267.96	1	267.96	7.25	0.0310 ²⁾
B-提取时间	496.13	1	496.13	13.42	0.0080 ¹⁾
C-提取温度	294.03	1	294.03	7.95	0.0258 ²⁾
AB	117.72	1	117.72	3.18	0.1175 ³⁾
AC	9.00	1	9.00	0.24	0.6368 ³⁾
BC	0.30	1	0.30	8.183E-003	0.9305 ³⁾
A ²	4540.91	1	4540.91	122.84	< 0.0001 ¹⁾
B ²	1530.42	1	1530.42	41.40	0.0004 ¹⁾
C ²	2778.85	1	2778.85	75.17	< 0.0001 ¹⁾
误差	254.23	7	36.32		
失拟项	112.88	3	37.63	1.06	0.4574

注: ¹⁾*P* < 0.01 为极其显著, ²⁾*P* < 0.05 为显著, ³⁾*P* > 0.05 为不够显著。

4 讨 论

4.1 料液比对甘草酸提取效率的影响

从料液比这一因素分析, 大部分情况下, 植物提取物的提取率都与料液比的增大成正比关系, 即料液比的增大会使提取率增高。胡卫成在进行莲蓬壳总黄酮提取时发现随着料液比的增大会使黄酮得到更充分的溶解, 在料液比达到 1:30(g/mL)之前, 随着料液比的增大会使总黄酮提取率增高, 总黄酮提取量与料液比呈正比^[5]。刘娟等^[6]在进行地椒总黄酮提取工艺优化时, 通过单因素实验证明了在料液比到达 1:35(g/mL)之前, 地椒中总黄酮提取率与料液比成正比。张赛男等^[7]在对夜来香根茎多糖进行超声提取时, 通过单因素实验得出结论, 在料液比 1:40(g/mL)之前, 料液比的增大会使多糖提取率随之增大, 同样也说明了随着提取率与料液比成正比。在一定比例之前, 料液比的增大的确会使得提取率随之增大, 但是也有一些植物提取物, 或者说当料液比增大到一定数值后, 因为各种原因会导致随着料液比的继续增大, 从而使得提取率随之变小。李珍^[8]

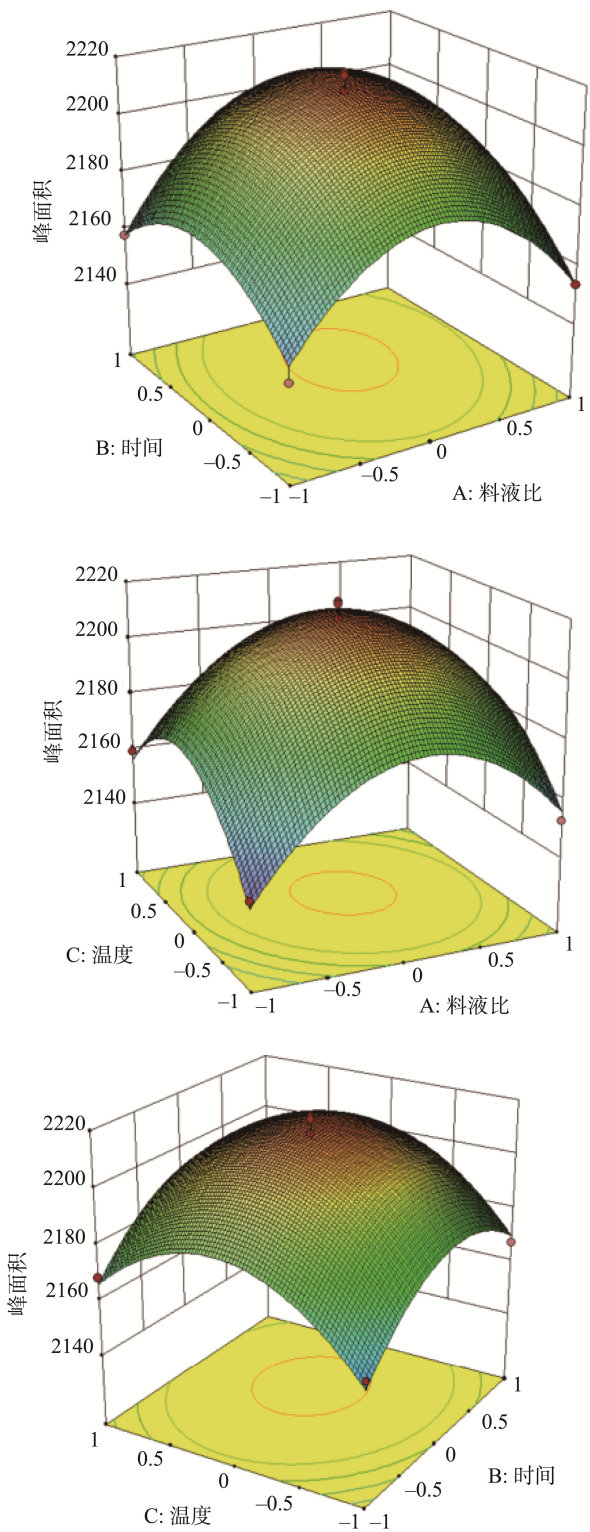


图 4 因变量相对各自变量效应面三维图
Fig.4 Effect plane of dependent variable relative to respective variable

在苹果皮渣多酚超声提取工艺研究中通过其单因素实验可以明显看出,当料液比超过 1:30(g/mL)之后,提取率并没有随之增大,而是随着料液比的继续增大越变越小,得出超出一定料液比之后,提取率会与料液比呈反比。可能是因为苹果皮渣中一些其他物质如多糖溶解,妨碍了多酚的提取分离。也有实验证明当料液比到达一定数值后,随着料液比的增大提取率保持动态平衡,变化不明显^[9]。陈亮在利用响应面法优化黑果枸杞多糖超声提取工艺的实验通过单因素实验证明了当料液比到达 1:35(g/mL)时,黑果枸杞多糖在水中溶解基本到达动态平衡,料液比继续增大基本不影响提取率^[10]。在赵柯等^[11]响应面法优化番木瓜籽油的超声提取实验中也发现当料液比到达 1:5(g/mL)之后,继续增大料液比并不能使提取率发生变化。综上所述,结合本实验,在料液比到达 1:59(g/mL)之前,随着料液比的增大,甘草酸提取率与其成正比,这是因为料液比的增大会提高传质推动力,所以甘草酸的含量增加。在料液比到达 1:59(g/mL)时,甘草酸的提取率到达一个阈值,随着料液比的继续增大,当超过一定数值后,会使提取率降低,这可能是由于料液比过大使的甘草样品中的有机杂质提取增多,不利于甘草酸的溶出。所以出于对生产成本以及提取率的综合考虑,最终得出料液比的最佳提取参数为 1:59(g/mL)。

4.2 提取时间对甘草酸提取效率的影响

植物提取物提取率与提取时间一般成正比,随提取时间增长提取率一般也会增大。刘娜在超声提取汉麻大麻素时,通过单因素实验得出结论超声辅助提取初期,产生的空化效果主要作用在物料上,超声时间的叠加使得细胞破壁率提高、传质速率增大^[12]。蒋志华等^[13]通过响应面法优化仙鹤草总黄酮的超声提取工艺时同样证明了在提取时间在 20 min 之前,提取率随提取时间增大。通过赵鹏等^[14]对金银花中多糖超声提取的单因素实验,也发现在提取时间到达 40 min 之前,提取率同样也是和提取时间成正比。林国荣^[15]在其优化超声提取杏鲍菇皂苷的实验中也能够对此结论做出证明。张霞忠等^[16]在其中心组合优化超声提取柠檬籽中的柠檬苦素的实验中证明了在提取时间到达 30 min 之前提取率也是与提取时间成正比。但也存在实验证明,并不是所有物质提取效率均随时间延长而增大。植物提取物在提取时间开始增大的时候的确会随其增大,但是当超过一定值后,就不会再继续增大,甚至还会随之变小。主要原因可能是当超声时间超过一定值,超声波会对物质产生破坏。张彬在超声提取茶多糖工艺的优化实验中,同样发现当超声时间过长时提取率也会由于茶多糖结构被破坏因此下降。还有一些植物提取物,在超过某一个提取时间后提取率不会发生很大变化^[17]。王莉等^[18]在响应面法优化小丛红景天的实验中,发现了提取时间到达 40 min 后,

继续增大提取时间提取率并不会发生变化。另外还有一些植物提取物十分特殊,随着提取时间的变大,提取率会先增长再下降,最后又转为增长。赵惠茹等^[19]在金银花绿原酸超声提取工艺优化的实验中,发现随着提取时间的增大提取率先增长,到 25 min 后提取率变为下降趋势,到 45 min 后又转为增长,可能是因为超声时间太短,金银花中的绿原酸不能完全溶出,当超声时间过长,提取液中增加的杂质会吸附部分绿原酸,或者由于提取液中的绿原酸在超声波作用下发生聚合,使其得率降低。本试验结果表明,开始提取时间过短,甘草酸在超声波产生的空化作用并不能充分使细胞壁破裂使其溶解,所以提取率会随着提取时间增长而增大,在到达一定时间后,超声波的空化效应使得甘草酸细胞壁的破裂基本完成,导致提取率变小,通过利用软件对结果进行分析发现在 5.7 min 左右甘草酸提取率最高,因此得出了最佳提取时间参数为 5.7 min。

4.3 提取超声温度对甘草酸提取效率的影响

温度越高,提取效率越高。陈金娥等^[20]在响应面法优化胡麻籽壳多糖的超声提取工艺优化的实验中,发现了当温度过低时,提取率很低,在 56 °C 之前随着温度的增大提取率与超声温度成正比关系,随其增大而增大。杨林等^[21]在响应面法优化锁阳总黄酮超声提取工艺的实验中,也发现在超声温度到达 77 °C 之前提取率随温度升高而升高。对于植物提取物来说高温会导致大部分植物提取物的结构发生破坏,所以说当温度在一定范围内的增大确会使提取率随之升高,但是到达了一定值时,内部结构遭到破坏,提取率也会相对应的降低。薛众等^[22]在超声提取铁棍山药中薯蓣皂苷的实验中证明了当超声温度超过 50 °C 后,随着温度的继续增高,导致提取率下降。王飞等^[23]在青扦针叶总黄酮超声提取的实验中同样也发现了当温度超过 65 °C 后,提取率会随提取温度的增高而变小。结合本实验分析,甘草酸的提取也是类似的,当温度太低时,没有办法使甘草酸充分溶解,所以需要提高超声温度,但是温度到达 25.54 °C 之后,这可能是由于温度过高导致其部分挥发,提取率就会变低,所以出于综合考虑选择温度 25.5 °C 为温度的最佳提取参数。

5 结 论

本实验以甘草提取物甘草酸为研究对象,通过超声的方法对甘草中的甘草酸进行提取,通过高效液相对提取物进行检测,通过观察其峰面积,从而确定出在不同条件下,提取参数对于甘草酸提取的影响。通过单因素实验及 Box-Behnken 法优化实验,最终确定甘草酸超声提取工艺最佳参数应为料液比为 1:59(g/mL),提取温度 25.5 °C,提取时间 5.7 min 时能取得最大值。

此技术应用于甘草甘草酸的研究中,也可以与多种

提取纯化技术相结合, 取长补短, 优选出效率高、成本低、重现性好的提取纯化工艺, 以提高甘草酸的收率、纯度。且本研究采用 Box-Behnken 设计对甘草样品中甘草酸的超声提取工艺进行了优化, 为其进一步在食品和医药领域产业化开发提供了科学、合理的理论和实验依据。

参考文献

- [1] 廖建庆, 王涵, 王威鹏, 等. 超声波甘草酸提取动力学模型[J]. 声学技术. 2018, 37(6): 565–570.
- Liao JQ, Wang H, Wang XP, *et al.* Kinetic model of ultrasonic glycyrrhizic acid extraction [J]. *Acoust Technol*, 2018, 37(6): 565–570.
- [2] Bi W, Tian M, Row KH. Solid-phase extraction of liquiritin and glycyrrhizin from licorice using porous alkyl-pyridinium polymer sorbent [J]. *Phytochem Anal*, 2010, 21(5): 496–501.
- [3] Pan X, Liu H, Jia G, *et al.* Microwave-assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root [J]. *Biochem Eng J*, 2000, 5(3): 173–177.
- [4] 赵茜, 李秉滔, 刘欣, 等. 超声强化甘草酸提取的研究[J]. 食品科技. 2000, (5): 38–39.
- Zhao Q, Li BT, Liu X, *et al.* Study on extraction of glycyrrhizic acid by ultrasound [J]. *Food Sci Technol*, 2000, (5): 38–39.
- [5] 胡卫成, 王新风, 沈婷, 等. 响应面法优化莲蓬壳总黄酮超声提取条件及其抗氧化活性[J]. 食品科学, 2015, 36(24): 51–56.
- Hu WC, Wang XF, Shen T, *et al.* The ultrasonic extraction conditions and antioxidant activity of total flavonoids from lotus seed pod were optimized by response surface test [J]. *Food Sci*, 2015, 36(24): 51–56.
- [6] 刘娟, 罗仓学, 魏丽娜, 等. 地椒总黄酮超声提取工艺优化及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2020, 45(1): 268–273.
- Liu J, Luo CX, Wei LN, *et al.* Study on ultrasonic extraction process optimization and antioxidant activity of total flavones from radix capsicum [J]. *Food Sci Technol*, 2020, 45(1): 268–273.
- [7] 张赛男, 王妙飞, 曾靖, 等. 夜来香根茎多糖超声提取工艺[J]. 赣南医学院学报, 2019, 39(11): 1093–1096.
- Zhang SN, Wang MF, Zeng J, *et al.* Ultrasonic extraction technology of polysaccharides from rhizome of rhizome of nightshade [J]. *J Gannan Med Coll*, 2019, 39(11): 1093–1096.
- [8] 李珍, 哈益明, 李安, 等. 响应面优化苹果皮渣多酚超声提取工艺研究[J]. 中国农业科学, 2013, 46(21): 4569–4577.
- Li Z, Ha YM, Li A, *et al.* Study on ultrasonic extraction of polyphenols from apple peel residue by response surface optimization [J]. *Chin Agric Sci*, 2013, 46(21): 4569–4577.
- [9] 常星, 赵樱霞, 王怒, 等. 超声辅助提取柴胡中柴胡皂苷 a 工艺响应面法优化研究[J]. 辽宁中医药大学学报, 2019, 21(2): 62–65.
- Chang X, Zhao YX, Wang N, *et al.* Study on the optimization of ultrasonic assisted extraction of bupleurum saponin a from bupleurum chinensis by response surface method [J]. *J Liaoning Univ Chin Med*, 2019, 21(2): 62–65.
- [10] 陈亮, 张炜, 陈元涛, 等. 响应面法优化黑果枸杞多糖的超声提取工艺[J]. 食品科技. 2015, 40(1): 220–227.
- Chen L, Zhang W, Chen YT, *et al.* The ultrasonic extraction process of LBP was optimized by response surface method [J]. *Food Sci Technol*, 2015, 40(1): 220–227.
- [11] 赵珂, 李娟, 陈湛娟, 等. 响应面法优化番木瓜籽油超声提取工艺[J]. 广东化工, 2019, 46(2): 32–34.
- Zhao K, Li J, Chen ZJ, *et al.* Ultrasonic extraction technology of papaya seed oil was optimized by response surface method [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2019, 46(2): 32–34.
- [12] 刘娜, 陈灵智, 张彦, 等. 响应面法优化超声提取汉麻大麻素及其抗氧化性研究[J]. 现代化工, 2019, 39(1): 144–149.
- Liu N, Chen LZ, Zhang Y, *et al.* Response surface optimization ultrasonic extraction of hanhemp cannabinoids and its antioxidant properties [J]. *Mod Chem Ind*, 2019, 39(1): 144–149.
- [13] 蒋志华, 俞力超, 冯子旺, 等. 响应面法优化仙鹤草总黄酮的超声提取工艺[J]. 中国实验方剂学杂志. 2011, 17(20): 17–20.
- Jiang ZH, Yu LC, Feng ZW, *et al.* Response surface method was used to optimize the ultrasonic extraction process of total flavones from radix cynandiae [J]. *Chin J Exp Formulae*, 2011, 17(20): 17–20.
- [14] 赵鹏, 李稳宏, 朱骤海, 等. 响应面法优化金银花多糖超声提取工艺研究[J]. 食品科学, 2009, 30(20): 151–154.
- Zhao P, Li WH, Zhu ZH, *et al.* Study on ultrasonic extraction technology of honeysuckle polysaccharide by response surface method [J]. *Food Sci*, 2009, 30(20): 151–154.
- [15] 林国荣, 李剑君, 国亮, 等. 采用响应曲面法优化甘草饮片中甘草酸的超声提取工艺[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, (9): 187–192.
- Lin GR, Li JJ, Guo L, *et al.* The ultrasonic extraction technology of glycyrrhizic acid in licorice slices was optimized by response surface method [J]. *J Northwest A&F Univ (Nat Sci Ed)*, 2006, (9): 187–192.
- [16] 张霞忠, 王丹, 董垠红, 等. 中心组合设计优化超声提取柠檬籽中的柠檬苦素[J]. 中成药. 2016, 38(7): 1500–1504.
- Zhang XZ, Wang D, Dong YH, *et al.* The central combination design was optimized for ultrasonic extraction of citric bitrin from lemon seeds [J]. *Proprietary Chin Med*, 2016, 38(7): 1500–1504.
- [17] 张彬, 谢明勇, 殷军艺, 等. 响应面分析法优化超声提取茶多糖工艺的研究[J]. 食品科学. 2008, (9): 234–238.
- Zhang B, Xie MY, Yin JY, *et al.* Study on the optimization of ultrasonic extraction of tea polysaccharide by response surface analysis [J]. *Food Sci*, 2008, (9): 234–238.
- [18] 王莉, 赵桦, 马英丽, 等. 响应面法优化小丛红景天多糖超声提取工艺研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(14): 315–320.
- Wang L, Zhao H, Ma YL, *et al.* Study on ultrasonic extraction technology of polysaccharides from small tufts of rhodiola rosea by response surface method [J]. *Food Ind Sci Technol*, 2014, 35(14): 315–320.
- [19] 赵惠茹, 路荣荣, 靖会, 等. 金银花中绿原酸超声提取工艺的优化[J]. 化工科技, 2018, 26(6): 22–26.
- Zhao HR, Lu RR, Jing H, *et al.* Optimization of ultrasonic extraction process of chlorogenic acid from flos lonicerae [J]. *Chem Sci Technol*, 2018, 26(6): 22–26.
- [20] 陈金娥, 高瑞苑, 张海容. 响应面法优化胡麻籽壳多糖超声提取工艺[J]. 中国油脂, 2017, 42(9): 145–148.
- Chen JE, Gao RY, Zhang HR. Response surface method was used to optimize the ultrasonic extraction process of husp from flax seeds [J]. *Chin Oils Fats*, 2017, 42(9): 145–148.
- [21] 杨林, 林鹏, 钱娇玲, 等. 响应面法优化锁阳总黄酮超声提取工艺[J]. 中医药学报, 2013, 41(5): 76–80.
- Yang L, Lin P, Qian JL, *et al.* Response surface method was used to

optimize the ultrasonic extraction process of total flavonoids from *Suo* Yang [J]. *J Tradit Chin Med*, 2013, 41(5): 76–80.

- [22] 薛众众, 崔锦灿, 刘景辉, 等. 超声提取铁棍山药中薯蓣皂苷工艺研究 [J]. *安徽农学通报*, 2019, 25(13): 36–38.

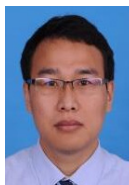
Xue ZZ, Cui JC, Liu JH, *et al*. Study on ultrasonic extraction of diosgenin from iron stick yam [J]. *Bull Anhui Agric*, 2019, 25(13): 36–38.

- [23] 王飞, 樊金拴, 冯慧英, 等. 青扦针叶总黄酮超声提取及抗氧化活性 [J]. *西北林学院学报*, 2016, 31(1): 243–249.

Wang F, Fan JS, Feng HY, *et al*. Ultrasonic extraction and antioxidant activity of total flavones from the needle leaves of *corundum* [J]. *J Northwest Forestry Univ*, 2016, 31(1): 243–249.

(责任编辑: 王 欣)

作者简介



段海涛, 博士, 讲师, 主要研究方向为动物营养与饲料加工。

E-mail: duanhaitao07@126.com



李 俊, 博士, 研究员, 主要研究方向为饲料加工与质量安全。

E-mail: lijun08@caas.cn



“食品安全风险评估与风险监测”专题征稿函

食品安全风险评估与风险监测对保障人体健康有着重要的意义, 越来越得到国内外广泛关注。

鉴于此, 近期本刊特别策划了“食品安全风险评估与风险监测”专题, 专题将围绕(1)危害识别、(2)危害特征描述、(3)暴露评估、(4)风险特征描述、(5)区域性风险监测、(6)风险管理等方面。或您认为本领域有意义的问题综述及研究论文均可, 专题计划在 2020 年 6~7 月出版。

我们去年也组织过此专题, 于 6 月见刊, 专题共收录文章 65 篇, 独立出版整本期刊, 是本期刊以学科为分类的最大专题, 影响较为深远。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员及编辑部全体成员特别邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 2020 年 04 月 30 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题**食品安全风险评估与风险监测**):

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者登录-注册投稿-投稿选择“专题: 食品安全风险评估与风险监测”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: **食品安全风险评估与风险监测**专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部