

# 微波辅助酶法提取葛根黄酮的工艺优化及 抗氧化活性研究

李少华<sup>1</sup>, 高愿军<sup>2</sup>, 李翠翠<sup>3</sup>, 秦令祥<sup>4\*</sup>

(1. 河南职业技术学院, 郑州 450046; 2. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 郑州 450002;  
3. 南阳理工学院张仲景康养与食品学院, 南阳 473000; 4. 漯河市食品研究院有限公司, 漯河 462300)

**摘要:** **目的** 优化微波辅助酶法提取葛根黄酮的工艺, 并对葛根黄酮的抗氧化活性进行评价。 **方法** 以葛根为原料, 葛根黄酮得率为考核指标, 在微波辅助、酶催化作用下, 在单因素试验基础上, 利用正交试验法对葛根黄酮提取工艺进行优化, 并对葛根黄酮的抗氧化活性进行研究。 **结果** 最佳提取工艺参数为: 复合酶添加量 3.0%、酶解 pH=6、微波功率 200 W、提取时间 40 min, 在此条件下, 葛根黄酮的得率为 6.79%。葛根黄酮的抗氧化活性随着质量浓度的增加而增强, 当葛根黄酮的质量浓度为 200  $\mu\text{g/mL}$  时, 葛根黄酮对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH) 自由基的清除率为 80.06%、对羟自由基的清除率为 73.28%。 **结论** 正交试验法优化了葛根黄酮的提取工艺, 得到的葛根黄酮具有较强的抗氧化活性。

**关键词:** 葛根黄酮; 微波; 提取; 抗氧化活性

## Optimization of extraction process of *Radix puerariae* flavonoids by microwave-assisted enzymatic method and study on its antioxidant activity

LI Shao-Hua<sup>1</sup>, GAO Yuan-Jun<sup>2</sup>, LI Cui-Cui<sup>3</sup>, QIN Ling-Xiang<sup>4\*</sup>

(1. Henan Polytechnic, Zhengzhou 450046, China; 2. School of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China; 3. School of Zhang Zhongjing Health Care and Food, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473000, China; 4. Luohe Food Research Institute Co., Ltd., Luohe 462300, China)

**ABSTRACT: Objective** To optimize the extraction process of *Radix puerariae* flavonoids by microwave-assisted enzymatic method, and evaluate the antioxidant activity of flavonoids. **Methods** Taking *Radix puerariae* as raw material, the yield of *Radix puerariae* flavonoids as evaluation index, microwave-assisted, enzyme catalyzed, on the basis of single factor experiment, orthogonal test was used to optimize the extraction process of *Radix puerariae* flavonoids, and the antioxidant activity of *Radix puerariae* flavonoids was studied. **Results** The optimum extraction conditions were as follows: 3.0% compound enzyme, pH=6, microwave power 200 W, extraction time 40 min. Under these conditions, the yield of *Radix puerariae* flavonoids was 6.79%. The antioxidant activity of *Radix puerariae* flavonoids increased with the increase of mass concentration, when the mass concentration of *Radix puerariae* flavonoids was 200  $\mu\text{g/mL}$ , the scavenging rates of *Radix puerariae* flavonoids on 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radicals and hydroxyl radicals were 80.06% and 73.28%. **Conclusion** The extraction process of *Radix*

基金项目: 河南省科技攻关项目(212102110330)

Fund: Supported by the Henan Science and Technology Research Project (212102110330)

\*通信作者: 秦令祥, 副教授, 主要研究方向为功能成分提取与应用研究。E-mail: 10663123@qq.com

\*Corresponding author: QIN Ling-Xiang, Associate Professor, Intersection of Wenming Road and 107, Chencheng District, Luohe City, Henan Province, Luohe 462300, China. E-mail: 10663123@qq.com

*puerariae* flavonoids is optimized by orthogonal test, and the obtained flavonoids have strong antioxidant activity.

**KEY WORDS:** *Radix puerariae* flavonoids; microwave; extraction; antioxidant activity

## 0 引言

葛根(*Radix puerariae*)是豆科植物野葛的干燥根<sup>[1]</sup>,味甘辛、性平,是一种药食同源植物,被称为“千年人参”<sup>[2]</sup>。葛根中含有黄酮类、三萜类、生物碱类等多种化合物<sup>[3]</sup>,其中葛根黄酮是其主要有效活性成分之一<sup>[4]</sup>,具有调节血液循环、降低心肌缺氧、抑制肿瘤、抗衰老、抗氧化、降血压、降血脂和增强免疫力的作用<sup>[5]</sup>。

葛根黄酮的提取方法主要有醇回流法、酶法、超声波辅助法、微波辅助法、超临界流体法等<sup>[6-8]</sup>,这些单一方法或多或少存在提取率低、提取时间长等不足。其中传统提取法提取时间长、溶剂消耗大、效率较低;超声波辅助法易操作、省时,但易形成超声空白区,影响提取效率;超临界 CO<sub>2</sub> 萃取法提取效率及纯度高,但成本高、不易大规模推广<sup>[9]</sup>。酶法是近年来提取植物功能成分的一种新技术,具有高效、安全、环保等优点<sup>[10]</sup>。微波辅助法,利用高频电磁波的穿透力和热效应来提取,具有高效、提取时间短等优点<sup>[11]</sup>。王壹等<sup>[12]</sup>利用微波辅助法优化了葛根黄酮的提取工艺;李超<sup>[13]</sup>研究利用纤维素酶来提取葛根黄酮。但微波协同酶解复合的方法用在葛根黄酮提取上还很少见,这种方法比单一的方法具有提取率高、操作简单等优点,因此本研究采用该复合方法进行提取,在微波辅助下,采用酶法,利用正交试验法优化葛根黄酮的提取工艺,以期为葛根黄酮的提取及综合开发应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

葛根: 郑州张仲景大药房。

芦丁标准品(纯度≥98%,上海雅吉生物科技有限公司); 纤维素酶(20000 U/g,北京索莱宝科技有限公司); 果胶酶(20000 U/g,河南庆飞食品配料有限公司); 木瓜蛋白酶(100000 U/g,上海士锋生物科技有限公司); 过氧化氢、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、柠檬酸、无水磷酸氢二钠、无水乙醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司); 硫酸亚铁、水杨酸[分析纯,福晨(天津)化学试剂有限公司]; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH, 上海浩洋生物科技有限公司); 维生素 C (vitamin C, VC, 食品级,北京信诺科美科技有限公司)。

### 1.2 仪器与设备

WBFY-201 型微波化学反应器(郑州英峪领科仪器设备有限公司); WN-20 高速万能粉碎机(广州旭朗机械设备有限公司);

760CRT 岛津紫外可见分光光度计(上海仪电分析仪器有限公司); RE-3000A 旋转蒸发器(上海耀特仪器设备有限公司); DZF-6050 真空干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司)。

## 1.3 方法

### 1.3.1 葛根黄酮的提取工艺

葛根→粗粉碎(机械粉碎,过 60 目筛)→密封保存,备用(放入广口棕色瓶子密封保存)→称取一定质量的葛根粉→加一定量的 60%乙醇溶液,搅拌并混合均匀→然后调节 pH 至试验所需值(采用柠檬酸和磷酸氢二钠缓冲液进行调节,调节范围为 3~7)→然后在水浴锅中进行复合酶酶解(酶解温度 50 °C,酶解时间 40 min)→灭酶(煮沸,15 min)→再进行微波辅助提取→提取液进行离心(4000 g, 10 min)→上清液→减压浓缩→采用 AB-8 型大孔树脂进行纯化<sup>[14]</sup>→减压浓缩→真空干燥→葛根黄酮

### 1.3.2 葛根黄酮含量的测定

采用李婉仪等<sup>[15]</sup>的方法进行测定。以芦丁为标准物,绘制标准曲线,计算葛根黄酮的含量。

### 1.3.3 葛根黄酮得率的测定

葛根黄酮得率<sup>[16]</sup>的计算如式(1)。

$$\text{葛根黄酮得率}/\% = \frac{C \times V \times N}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $C$  为葛根黄酮质量浓度, mg/mL;  $V$  为定容体积, mL;  $N$  为稀释倍数;  $m$  为葛根干粉质量, g。

### 1.3.4 试验用酶

根据纤维素酶、果胶酶和木瓜蛋白酶等单一酶和质量比为 1:1:1 的此 3 种的复合酶进行酶解预试验,根据预试验结果,复合酶效果强于单一酶。因此,本研究选择混合质量比为 1:1:1 的复合酶作为试验所用的酶。

### 1.3.5 葛根黄酮提取的单因素试验

#### (1) 复合酶添加量对得率的影响

准确称取 5.0 g 葛根粉 5 份,以 60%乙醇溶液作为提取溶剂,料液比为 1:30 (g/mL),微波功率 300 W,提取时间 40 min,酶解 pH 为 5,提取温度 50 °C,复合酶添加量分别为 1.0%、1.5%、2.0%、2.5%、3.0%,测定得率,分析复合酶添加量对得率的影响。

#### (2) pH 对得率的影响

准确称取 5.0 g 葛根粉 5 份,以 60%乙醇溶液作为提取溶剂,料液比为 1:30 (g/mL),微波功率 300 W,提取时间 40 min,提取温度 50 °C,复合酶添加量 2.5%,酶解 pH 分别为 3、4、5、6、7,测定得率,分析酶解 pH 对得率的影响。

#### (3) 微波功率对得率的影响

准确称取 5.0 g 葛根粉 5 份,以 60%乙醇溶液作为提

取溶剂, 料液比为 1:30 (g/mL), 提取时间 40 min, 提取温度 50 °C, 复合酶添加量 2.5%, 酶解 pH 为 5, 微波功率分别为 100、200、300、400、500 W, 测定得率, 分析微波功率对得率的影响。

#### (4) 提取时间对得率的影响

准确称取 5.0 g 葛根粉 5 份, 以 60%乙醇溶液作为提取溶剂, 料液比为 1:30 (g/mL), 提取温度 50 °C, 复合酶添加量 2.5%, 酶解 pH 为 5, 微波功率 300 W, 提取时间分别为 20、30、40、50、60 min, 测定得率, 分析提取时间对得率的影响。

#### 1.3.6 正交试验设计

在单因素试验结果的基础上, 选取复合酶添加量、酶解 pH、微波功率和提取时间等 4 个因素, 以葛根黄酮得率为考核指标, 按表 1 进行正交试验。

表 1 正交试验因素水平

Table 1 Factor levels table of orthogonal experimental design

水平	因素			
	A 复合酶添加量/%	B 酶解 pH	C 微波功率/W	D 提取时间/min
1	2.0	4	200	30
2	2.5	5	300	40
3	3.0	6	400	50

#### 1.3.7 葛根黄酮的抗氧化活性

##### (1) DPPH 自由基清除率的测定

参照秦生华等<sup>[17]</sup>的方法, 稍作改变, 准确量取 1 mL 不同质量浓度葛根黄酮溶液, 与 3 mL DPPH 溶液混合, 摇匀, 作为样品组, 空白组以等量的超纯水代替样品葛根黄酮溶液, 对照组以等量的无水乙醇代替 DPPH 溶液, 在常温下, 避光反应 30 min, 在波长 517 nm 处测吸光度。DPPH 自由基清除率的计算如式(2)。

$$\text{DPPH 自由基清除率}/\% = (1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}) \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $A_0$  为空白组的吸光度;  $A_1$  为样品组的吸光度;  $A_2$  为对照组的吸光度。

##### (2) 羟自由基清除率的测定

参照扈芷怡等<sup>[18]</sup>的方法, 稍作改变, 准确量取 0.5 mL 不同质量浓度的葛根黄酮溶液, 依次加入 1 mL 浓度为 6 mmol/L 的硫酸亚铁溶液, 1 mL 浓度为 6 mmol/L 的水杨酸溶液, 1 mL 浓度为 8.8 mmol/L 的过氧化氢溶液和 1 mL 超纯水作为样品组, 空白组以等量的超纯水代替样品葛根黄酮溶液, 对照组以超纯水代替水杨酸, 混合摇匀, 在 37 °C 水浴中反应 30 min, 在波长 536 nm 处测吸光度。羟自由基清除率的计算如式(3)。

$$\text{羟自由基清除率}/\% = (1 - \frac{A_4 - A_5}{A_3}) \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $A_3$  为空白组的吸光度;  $A_4$  为样品组的吸光度;  $A_5$  为对照组的吸光度。

#### 1.3.8 数据处理

试验数据采用 SPSS 分析软件和 Excel 软件进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 葛根黄酮提取的单因素试验

#### 2.1.1 复合酶添加量对得率的影响

随着复合酶添加量的增加, 葛根黄酮得率逐渐增大, 当复合酶添加量为 2.5% 时, 得率达到最大, 随着复合酶添加量进一步增加, 得率逐渐减小。这是由于随着复合酶添加量增加, 酶解活力不断增加, 细胞壁破碎不断增加, 得率升高。当复合酶添加量为 2.5% 时, 黄酮得率达到最大值 6.75%, 再增加添加量, 底物浓度对酶达到饱和, 会抑制酶解, 造成得率下降, 这与李超<sup>[13]</sup>的研究结果基本一致。综合分析, 复合酶添加量为 2.5% 比较合适。

#### 2.1.2 pH 对得率的影响

随着酶解 pH 的增大, 葛根黄酮的得率逐渐增大, 当 pH 为 5 时, 得率达到最大, 再增大酶解 pH, 得率逐渐减小。这是因为, 在最适 pH 下, 酶解活性和程度最好, 酶解最彻底, 得率达到最大值。而 pH 过小或过大都会影响酶解活性和酶解程度。张雪松等<sup>[19]</sup>在研究 pH 对葛根黄酮提取率影响时与本研究得到的结果趋势相似。综合分析, 最终选择 pH 为 5。

#### 2.1.3 微波功率对得率的影响

随着微波功率的增加, 葛根黄酮的得率逐渐增大, 当微波功率增大到 300 W 时, 得率达到最大, 在增加微波功率, 得率逐渐减小。这是因为, 随着微波功率的增加, 细胞破裂的程度和数量加大, 黄酮溶出增多, 得率升高。当微波功率 300 W 时, 得率达到最大值 6.59%, 再继续增大微波功率, 葛根黄酮结构会受到较强的微波高温作用而部分破坏, 得率降低, 这与胡瑶瑛等<sup>[20]</sup>的研究结果趋势相近。综合分析, 微波功率 300 W 比较合适。

#### 2.1.4 提取时间对得率的影响

随着提取时间的延长, 葛根黄酮得率逐渐增大, 到提取时间为 40 min 时, 得率达到最大, 再增加提取时间, 得率逐渐减小。这可能由于, 随着提取时间的延长, 微波功率作用于提取温度, 使其不断升高, 溶液中分子运动速度加快, 葛根黄酮更易溶出, 得率升高。当提取时间为 40 min 时, 得率达到最大值 6.64%, 再增加微波时间, 微波加热过长, 会破坏葛根黄酮的结构, 降低得率, 这与王壹等<sup>[12]</sup>的研究结果趋势相似。综合分析, 提取时间 40 min 比较合适。

### 2.2 正交试验设计及结果

在单因素试验结果的基础上, 选取复合酶添加量、酶解 pH、微波功率和提取时间 4 个因素, 以葛根黄酮得率为

考核指标,设计正交试验优化提取工艺,正交试验结果如表 2,方差分析结果如表 3。

表 2 正交试验结果  
Table 2 Results of orthogonal experimental design

试验号	因素					葛根黄酮得率/%
	A 复合酶添加量/%	B 酶解 pH	C 微波功率/W	D 提取时间/min	葛根黄酮得率/%	
1	2.0	4	200	30	3.62	
2	2.0	5	300	40	5.76	
3	2.0	6	400	50	6.02	
4	2.5	4	300	50	6.53	
5	2.5	5	400	30	3.78	
6	2.5	6	200	40	6.78	
7	3.0	4	400	40	6.57	
8	3.0	5	200	50	6.45	
9	3.0	6	300	30	4.43	
$k_1$	5.133	5.573	5.617	3.943		
$k_2$	5.697	5.330	5.573	6.370		
$k_3$	5.817	5.743	5.457	6.333		
R	0.684	0.413	0.160	2.427		

由表 2 可以看出,复合酶添加量、酶解 pH、微波功率和提取时间 4 个因素对葛根黄酮得率的影响主次顺序:  $D>A>B>C$ ,即提取时间>复合酶添加量>酶解 pH>微波功

率;葛根黄酮最佳提取工艺条件为:  $A_3B_3C_1D_2$ ,即复合酶添加量 3.0%、酶解 pH 为 6、微波功率 200 W、提取时间 40 min,在此条件下进行 3 次平行验证试验,葛根黄酮得率为 6.79%。由表 3 方差分析结果可以看出,复合酶添加量和提取时间具有显著性影响( $P<0.05$ ),酶解 pH 和微波功率无显著性影响( $P>0.05$ )。

### 2.3 对比试验

将微波辅助酶法(a)提取葛根黄酮与单独微波辅助法(b)、复合酶解法(c)提取葛根黄酮进行对比试验研究,重复 3 次,试验结果如表 4 所示。其中,(a)法工艺条件为:料液比 1:30 (g/mL)、复合酶添加量 3.0%、酶解 pH 为 6、微波功率 200 W 和提取时间 40 min; (b)法工艺条件为:料液比 1:30 (g/mL)、微波功率 200 W、提取时间 40 min; (c)法工艺条件为:料液比 1:30 (g/mL)、复合酶添加量 3.0%、提取时间 40 min。

表 3 方差分析结果  
Table 3 Variance analysis results

因素	偏差平方和	自由度	F	F 临界值	显著性
A	0.774	2	24.968	19.000	*
B	0.226	2	7.290	19.000	
C	0.031	2	1.000	19.000	
D	11.456	2	369.548	19.000	*
误差	0.03	2			

注: \*表示对结果影响差异显著( $P<0.05$ )。

表 4 不同提取方法对葛根黄酮提取率的影响( $n=3$ )  
Table 4 Effects of different extraction methods on the extraction rates of *Radix puerariae* flavonoids ( $n=3$ )

提取方法	料液比(g/mL)	复合酶添加量/%	酶解 pH	微波功率/W	提取时间/min	葛根黄酮得率/%
微波辅助酶法(a)	1:30	3.0%	6	200	40	6.76±0.03 <sup>d</sup>
微波辅助法(b)	1:30	/	/	200	40	6.03±0.02 <sup>e</sup>
复合酶解法(c)	1:30	3.0%	6	/	40	5.97±0.05 <sup>e</sup>

注: /表示无此项;同一列不同小写字母表示有显著性差异( $P<0.05$ )。

由表 4 可知,微波辅助酶法(a)提取葛根黄酮的得率与其他 2 种方法相比显著提高( $P<0.05$ ),说明微波辅助酶法(a)提取葛根黄酮更高效。

### 2.4 葛根黄酮的抗氧化活性

#### 2.4.1 葛根黄酮对 DPPH 自由基的清除能力

由图 1 可知,在试验的质量浓度范围内,随着葛根黄酮质量浓度的增加,对 DPPH 自由基的清除率逐渐增大,当葛根黄酮的质量浓度为 200  $\mu\text{g/mL}$  时,对 DPPH 自由基的清除率达到 80.06%,与相同质量浓度的 VC 无明显差异,表明葛根黄酮对 DPPH 自由基具有较强的清除能力。

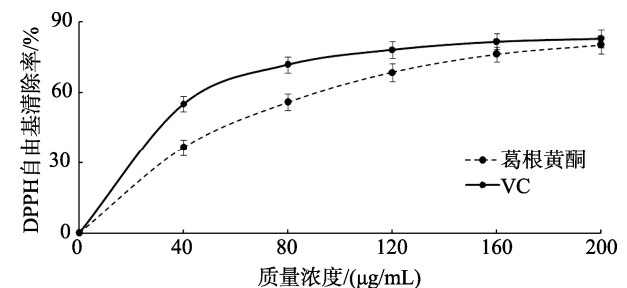


图 1 葛根黄酮对 DPPH 自由基清除率的影响( $n=3$ )  
Fig.1 Effects of *Radix puerariae* flavonoids on the scavenging rates of DPPH free radicals ( $n=3$ )

### 2.4.2 葛根黄酮对羟自由基的清除能力

由图 2 可知, 在试验的质量浓度范围内, 随着葛根黄酮质量浓度的增加, 对羟自由基的清除率逐渐增大, 并呈现良好的正相关, 当葛根黄酮的质量浓度为 200  $\mu\text{g}/\text{mL}$  时, 对羟自由基的清除率为 73.28%, 其清除能力与 VC 相差不多, 表明葛根黄酮对羟自由基具有较强的清除能力。

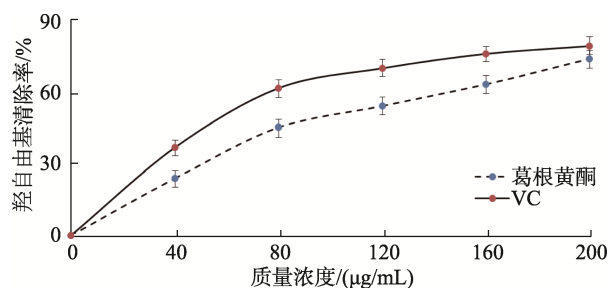


图 2 葛根黄酮对羟自由基清除率的影响( $n=3$ )

Fig.2 Effects of *Radix puerariae* flavonoids on the scavenging rates of hydroxyl radicals ( $n=3$ )

## 3 结 论

微波辅助酶法提取葛根黄酮的最佳工艺条件为: 复合酶添加量 3.0%、酶解 pH 为 6、微波功率 200 W、提取时间 40 min, 在此条件下进行 3 次平行验证试验, 葛根黄酮得率为 6.79%。各因素对葛根黄酮得率的影响主次顺序为提取时间>复合酶添加量>酶解 pH>微波功率; 复合酶添加量和提取时间对得率具有显著性影响( $P<0.05$ )。葛根黄酮对 DPPH 自由基和羟自由基的清除率随着质量浓度的增加而增大, 当葛根黄酮质量浓度为 200  $\mu\text{g}/\text{mL}$  时, 对 DPPH 和羟自由基的清除率分别为 80.06% 和 73.28%, 表明葛根黄酮具有较强的抗氧化活性。本试验方法可为葛根黄酮的提取和综合开发应用提供理论依据, 而葛根黄酮结构、组分及其他生物活性还有待进一步研究。

### 参考文献

- 占晨, 周琪, 刘光斌, 等. 天然野生植物葛根黄酮的提取及其在化妆品中的应用[J]. 应用化工, 2019, 48(6): 1351-1353.  
ZHAN C, ZHOU Q, LIU GB, et al. Extraction of flavonoids from *Pueraria lobata* and its application in cosmetics [J]. Appl Chem Eng, 2019, 48(6): 1351-1353.
- 李臻, 赖富饶, 吴晖. 葛根的营养成分分析[J]. 现代食品科技, 2011, 27(8): 1010-1011.  
LI Z, LAI FR, WU H. Analysis of nutritional components of *Pueraria lobata* [J]. Mod Food Sci Technol, 2011, 27(8): 1010-1011.
- 任正肖, 车萍, 李紫薇, 等. 葛根素药理作用的研究进展[J]. 山东化工, 2019, 48(19): 74-75.  
REN ZX, CHE P, LI ZW, et al. Research progress on pharmacological action of puerarin [J]. Shandong Chem Ind, 2019, 48(19): 74-75.
- 魏述永. 葛根及葛根素脑保护作用的研究进展[J]. 食品科学, 2015, 36(17): 259-263.
- WEI SY. Research progress of pueraria and puerarin on brain protection [J]. Food Sci, 2015, 36 (17): 259-263.
- 柏琳, 邹天琪, 张成义. 葛根总黄酮对佐剂性关节炎大鼠免疫器官指数、IL-1 $\beta$  及 TNF- $\alpha$  的影响分析[J]. 吉林医学, 2021, 42(6): 1298-1300.  
BAI L, ZOU TQ, ZHANG CY. Effects of total flavonoids of *Pueraria lobata* on immune organ index, IL-1 $\beta$  and TNF- $\alpha$  [J]. Jilin Med Sci, 2021, 42(6): 1298-1300.
- 杨旭东, 王爱勤, 何龙飞. 葛根种质资源及其开发利用研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 11-16.  
YANG XD, WANG AIQ, HE LF. Research progress of *Pueraria lobata* germplasm resources and its development and utilization [J]. Chin Agron Bull, 2014, 30(24): 11-16.
- TOMASZ B, ANNA O. Extraction methods for the isolation of isoflavonoids from plant material [J]. Open Chem, 2017, 15(1): 34.
- WONG KH, LI GQ, LI KM, et al. Optimisation of pueraria isoflavonoids by response surface methodology using ultrasonic-assisted extraction [J]. Food Chem, 2017, 231: 231.
- WANG SY, YANG ZW, PENG N, et al. Optimization of ionic liquids based microwave-assisted hydrolysis of puerarin and daidzein derivatives from radix *Puerariae lobatae* extract [J]. Food Chem, 2018, 256: 249.
- 裴莉昕, 纪宝玉, 陈随清. 不同采收期葛根中总黄酮含量的动态变化研究[J]. 药物研究, 2017, 14(19): 28-30.  
PEI LX, JI BY, CHEN SQ. Study on dynamic changes of total flavonoids content in *Pueraria lobata* at different harvest time [J]. Pharm Res, 2017, 14(19): 28-30.
- 刘雨诗, 刘娟汝, 张存艳, 等. 微波萃取葛根总黄酮工艺及其抗氧化活性研究[J]. 时珍国医国药, 2020, 31(1): 68-72.  
LIU YS, LIU JR, ZHANG CY, et al. Microwave extraction of total flavonoids from *Pueraria lobata* and its antioxidant activity [J]. Lishizhen Med Mater Med Res, 2020, 31(1): 68-72.
- 王壹, 王兴玲, 杜超. 微波辅助提取葛根总黄酮工艺的优化[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(2): 136-138.  
WANG Y, WANG XL, DU C. Optimization of microwave assisted extraction of total flavonoids from *Pueraria lobata* [J]. Guizhou Agric Sci, 2018, 46(2): 136-138.
- 李超. 葛根总黄酮的纤维素酶提取工艺优化[J]. 中国食品添加剂, 2012, (5): 108-114.  
LI C. Optimization of cellulase extraction process of total flavonoids from *Pueraria lobata* [J]. China Food Addit, 2012, (5): 108-114.
- 张喜梅, 程光亮, 李琳. 超声提取葛根总黄酮成分的研究[J]. 声学技术, 2006, 25(2): 110-111.  
ZHANG XM, CHENG GL, LI L. Ultrasonic extraction of total flavonoids from *Pueraria lobata* [J]. Acoust Technol, 2006, 25(2): 110-111.
- 李婉仪, 吉文丽, 李蕊, 等. 响应面优化牡丹籽壳总黄酮超声波提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2018, 43(4): 121-125.  
LI WY, JI WL, LI R, et al. Optimization of ultrasonic extraction process and antioxidant activity of total flavonoids from peony seed shell by response surface methodology [J]. China Oils Fats, 2018, 43(4): 121-125.
- 崔建强, 李萌萌, 孙贝贝. 响应面法优化菊花总黄酮的微波提取工艺[J]. 化学与生物工程, 2018, 35(12): 34-37, 58.  
CUI JQ, LI MM, SUN BB. Optimization of microwave extraction of total flavonoids from *Chrysanthemum indicum* by response surface methodology

- [J]. Chem Bioeng, 2018, 35(12): 34–37, 58.
- [17] 秦生华, 李珊, 凌旭彬, 等. 百香果果皮总黄酮的超声波辅助提取工艺优化及其性质研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 153–160, 166.
- QIN SH, LI S, LING XB, *et al.* Optimization of ultrasonic assisted extraction process and properties of total flavonoids from passion fruit peel [J]. Food Ind Sci Technol, 2020, 41(17): 153–160, 166.
- [18] 扈芷怡, 廖彭莹, 周忠玉, 等. 金毛狗脊多糖提取工艺的优化及其抗氧化活性[J]. 中成药, 2018, 40(3): 733–736.
- HU ZY, LIAO PY, ZHOU ZY, *et al.* Optimization of extraction process and antioxidant activity of polysaccharides from *Cibotium vicifolius* [J]. Chin Patent Med, 2018, 40(3): 733–736.
- [19] 张雪松, 刘海燕, 周燕, 等. 响应面法优化酶法提取葛根黄酮[J]. 中国食品添加剂, 2018, (2): 55–66.
- ZHANG XS, LIU HY, ZHOU Y, *et al.* Optimization of enzymatic extraction of pueraria flavonoids by response surface methodology [J]. China Food Addit, 2018, (2): 55–66.
- [20] 胡瑶瑛, 单跃, 姚张杰, 等. 大别山区葛根黄酮的微波辅助提取工艺研究[J]. 广州化工, 2019, 47(16): 92–95.

HU YY, SHAN Y, YAO ZJ, *et al.* Microwave assisted extraction of flavonoids from *Pueraria lobata* [J]. Guangzhou Chem Ind, 2019, 47(16): 92–95.

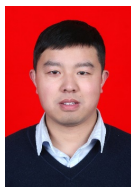
(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

## 作者简介



李少华, 硕士, 讲师, 主要研究方向为功能食品研究与开发。

E-mail: 2623609118@qq.com



秦令祥, 副教授, 主要研究方向为功能成分提取与应用研究。

E-mail: 10663123@qq.com