响应曲面法优化黄参茎叶多酚的提取工艺及其抗氧化活性

马婷婷， 田呈瑞*， 李龙柱， 权美平， 张 娟， 赵 珮， 张颖娜
（陕西师范大学 食品工程与营养科学学院，陕西 西安 710062）

摘要：研究黄参茎叶多酚的超声波辅助提取工艺及抗氧化活性，以响应曲面法优化黄参茎叶多酚的超声波辅助提取工艺，同时以分光光度法测定提取物的还原力，对羟基自由基(·OH)、DPPH 自由基(DPPH·)的清除作用。结果表明：黄参茎叶多酚的最佳提取工艺条件为：乙醇体积分数 75%、提取温度 70 ℃、料液比(g/mL)1:35、提取时间 30 min，此时多酚得率为 1.1448%；黄参茎叶多酚对羟基自由基、DPPH 自由基具有良好的清除能力，同时还具有一定的还原能力，并且在 0.1~0.6 mg/mL 质量浓度范围内，黄参茎叶多酚对羟基自由基、DPPH 自由基的清除率高于 BHT，表明其具有良好的抗氧化作用，可作为天然抗氧化剂进一步开发和利用。

关键词：黄参茎叶；多酚；响应曲面法；超声波辅助提取；抗氧化活性
中图分类号：TQ 041.7 **文献标志码**：A **文章编号**：1673—1689(2013)11—1218—09

Response Surface Methodology for Optimization Extraction Process of *Sphallerocarpus gracilis* Stem Leaves Polyphenol and Determination of Antioxidant Activity

MA Ting-ting, *TIAN Cheng-rui**, *LI Long-zhu*, *QUAN Mei-ping*, *ZHANG Juan*, *ZHAO Pei*, *ZHANG Ying-na*
(College of Food Engineering and Nutritional Science, Shanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: In order to study the Ultrasound-assisted extraction technology of Sphallerocarpus gracilis stem leaves polyphenol and antioxidant activity. Response surface methodology (RSM) was used to establish the mathematical model of solvent extraction extraction to obtain the optimum conditions. The antioxidant activity of the extraction was evaluated by spectrophotometry on its ability of scavenging hydroxyl radical (·OH), 1-diphenyl-2-picrylhydrazy (DPPH·) and total reducing power. Based on Box-Behnken design, the optimal process parameters were obtained as: ethanol concentration 75%, extraction temperature 70 ℃, ratio of solid to liquid (g/mL)35, ultrasonic time 30 min. Under the optimal condition, the average yield of polyphenol was 1.1448%.

收稿日期：2013-05-30
基金项目：陕西师范大学研究生培养创新基金项目(2013CXS005)。
作者简介：马婷婷(1987—)，女，陕西户县人，食品工程博士研究生。E-mail：442768615@qq.com
* **通信作者**：田呈瑞(1955—)，男，陕西周至人，教授，博士研究生导师，主要从事食品新资源开发利用方面的研究。
E-mail：chrtian@snnu.edu.cn

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Results indicated that the scavenging effects of the extract on ·OH, DPPH· were significant, the extraction also had slightly total reducing power. And within 0.1 ~0.6 mg/mL concentration, the scavenging effects of *Sphallerocarpus gracilis* stem leaves polyphenol on ·OH, DPPH· was higher than BHT. The *Sphallerocarpus gracilis* stem leaves polyphenol with good antioxidant activity has the potential to be further developed and utilized as a natural antioxidant.

Keywords: *Sphallerocarpus gracilis* stem leaves, polyphenol, response surface method, ultrasonic assisted extraction, antioxidation

黄参在植物分类学上属伞形科迷果芹属植物迷果芹(*Sphallerocarpus gracilis*)，多年生草本，主要分布在内蒙古、黑龙江、甘肃、青海、和西藏等高寒地区，俗称黄蒿、小叶山红萝卜，其根肉质，呈淡黄色，可食，富含蛋白质和各种矿质元素，灾年群众用其救饥荒，普通年份也用其烹饪成各种佳肴美食[1-2]。整个植株亦可用药，是一种极具开发前景的药食两用的植物。据《本草纲目》记载，黄参味甘、性温，有补气养血、滋阴壮阳、通经活络、舒肝健胃的功效，对中老年人胃气虚寒、神疲乏力，妇女气血失调，儿童发育迟缓、营养不良、挑食厌食效果俱佳，被誉为“小人参”。另据《晶珠本草》记载，黄参治黄水病，腰肾寒症。因此，黄参是一种营养丰富、药用价值极高的纯天然绿色保健食品，具有广泛的应用与开发前景。黄参在我国分布广泛，资源丰富，然而，目前有关黄参的研究、开发较少，仅有的文献报道也只局限于黄参根部、籽中的化学成分、微量元素的分析及功效作用[3-6]，而据我们所知，有关黄参茎叶的研究国内外尚未报道。作者以黄参茎叶为原料，采用超声波辅助提取多酚，通过响应曲面法优化提取工艺条件，并采用3种方法分析黄参茎叶多酚的抗氧化活性，以期为黄参茎叶的开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

黄参茎叶：于2012年7月采自甘肃山丹军马场，采第二年茎叶；没食子酸标准品、碳酸钠、福林酚试剂，无水乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、三氯化铁、三氯乙酸、氯仿、铁氰化钾、二氯化亚铁、水杨酸、双氧水等：均为分析纯，西安化学试剂厂生产；LAC164型电子分析天平；恒温水浴锅；KQ-200KDE型超声波清洗器；RE-52旋转式蒸发器：上海安亭；722型可见分光光度计：上海光谱；FW100型高速万能植物粉碎机；GZX-9146MBE数显鼓风干燥箱：上海迅博。

1.2 试验方法

1.2.1 样品处理 黄参茎叶→摊凉→去除杂物→洗净→晒至半干→烘箱内50 ℃烘干→植物粉碎机粉碎→过60目筛→密封保存备用。

1.2.2 标准曲线的建立

1)没食子酸标准溶液的配置：精确称取没食子酸标准品0.010 0 g，置于100 mL容量瓶中，用蒸馏水溶解，稀释至刻度，摇匀，即得质量浓度为100 μg/mL的没食子酸标准溶液。

2)没食子酸标准曲线的建立[7]：精确吸取标准溶液0.0、0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL，分别置于7个10 mL试管中，加入1.5 mL福林酚试剂，2.5 mL 7.5%的碳酸钠溶液，并用蒸馏水定容，摇匀，暗室反应60 min，于765 nm波长下测定吸光值，每个质量浓度做3个平行实验，取平均值并绘制标准曲线，吸光度值Y与没食子酸标准溶液质量浓度X(μg/mL)之间的回归关系为：Y=0.115 1X+0.006 7，R^2=0.998 5。

1.2.3 样品总酚质量浓度的测定 准确称取1.000 g样品粉，按一定体积分数的乙醇和一定的料液比、超声时间、超声温度进行超声提取后，3 500 r/min离心30 min，取上清液按1.2.2的方法测定其在765 nm处的吸光度，并计算多酚得率(%)。

$$Y=c\times V\times D/m \quad (1)$$

式中，Y为多酚得率(%)；c为由标准曲线计算得出的样品液的总酚质量浓度(μg/mL)；V为样品液的体积(mL)；m为样品粉质量(g)；D为稀释倍数。

1.2.4 响应曲面法(RSM)优化设计

1)溶剂选择：采用水、甲醇、乙醇、丙酮、乙酸乙酯作为提取溶剂，观察提取效果，以选择合适溶剂。

2)单因素实验：在超声功率和超声频率分别为

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

200 W 和 80 Hz 的条件下研究乙醇体积分数、超声温度、料液比、超声时间对总酚得率的影响，以料液比 1:20、1:25、1:30、1:35、1:40、1:45 g /mL；提取温度 40、50、60、70、80、90 ℃ 和超声时间 10、20、30、40、50、60 min 作为考察因素，以多酚得率作为实验指标，进行单因素实验，考察各因素对提取效果的影响[8]。

3)响应曲面法优化：在单因素实验的基础上，根据 Box-Behnken 中心组合设计原理，作者以乙醇体积分数(%)、超声温度(℃)、以及料液比(g/mL)为主要的考察因子（自变量），分别以 X_1、X_2、X_3 表示，以黄参茎叶得率 Y 为响应值，利用 Design-ExpertV.8.0.5b 软件设计了 3 因素 3 水平的响应曲面法实验，共有 17 个实验点，其中 12 个为析因点，5 个为零点以估计误差，实验因素水平编码值见表 1。

表 1 中心组合实验 Box-Behnken 设计因素和水平编码值

Table 1 Independent variables and levels in Box-Behnken CCD

因素	编码	未编码	编码水平(x_i)		
			-1	0	1
乙醇体积分数/%	x_1	X_1	60	70	80
超声温度/℃	x_2	X_2	60	70	80
料液比/(g/mL)	x_3	X_3	30	35	40

1.2.5 抗氧化活性的测定

1) 清除 DPPH 自由基能力的测定：参照 Brandwilliams 等[9]的方法，稍作修改测定黄参茎叶多酚粗提取对 DPPH 自由基的清除能力。实验测定前，配制 0.1 mmol/L 的 DPPH 乙醇溶液。精确吸取 2.0 mL 的不同浓度多酚样品水溶液和 6.0 mL 新配制的 DPPH 溶液于试管中，均匀混合，避光反应 30 min，于 517 nm 处测定其吸光度，记录数据。空白对照用等体积的蒸馏水代替多酚样品液测定乙醇溶液中未反应之前 DPPH 的吸光度。用与样品溶液同浓度的抗坏血酸溶液和 BHT 溶液作为阳性对照。以样品液浓度为横坐标，自由基清除率为纵坐标作图分析样品清除自由基的能力。每次实验重复三次。对 DPPH 自由基的清处能力按公式(2)计算：

$$I=1-\frac{A_i-A_j}{A_0} \quad (2)$$

式中，I 表示对自由基的清除率(%)；A_i 表示样品溶液和 DPPH 溶液混合液的吸光度(2 mL 样品溶液+6 mL 的 DPPH 溶液)；A_j 表示未加 DPPH 溶液的样品溶液的吸光度(2 mL 样品溶液+6 mL 的乙醇溶液)；A_0 表示未加样品时 DPPH 溶液的吸光度（2 mL 乙醇溶液+6 mL 的 DPPH 溶液)。

2)还原力的测定：样品提取液还原力的测定依照稍作修改的 Vaquero 等[10]的方法进行。取 2.5 mL 的样品提取液(样品质量浓度的变化范围是 0.1~1.0 mg/mL)加入到装有 2.5 mL 0.2 mol/L pH 6.6 的磷酸缓冲液的试管中，再加入 2.5 mL 1%的铁氰化钾溶液混合均匀。50 ℃反应 20 min 后，加入 2.5 mL 10%的三氯乙酸在 3 000 r/min 的转速下离心 10 min，取上清液 5 mL 与 4 mL 的蒸馏水和 0.5 mL 0.1%的三氯化铁溶液混合。反应 10 min 后，在 700 nm 处测其吸光度。混合液的吸光度越高表示样品提取液的还原能力越强。

3)清除羟基自由基能力的测定：按照 Yan 等[11]描述的方法测定样品提取液对羟基自由基的清楚能力。将 2 mL 的样品溶液与 2 mL、2 mmol/L 的二氯化铁、2 mL、2 mmol/L 的过氧化氢溶液和 2 mL、6 mmol/L 的水杨酸混合，再加入 10 mL 的蒸馏水，在 37 ℃的水浴锅中反应 30 min。在 510 nm 处设置空白对照测定其吸光值。阳性对照为抗坏血酸和 BHT。以样品质量浓度为横坐标，清除率为纵坐标作图分析对羟基自由基的清除能力。每次实验重复三次。清除率(SA)按公式(3)计算：

$$SA(\%)=1-\frac{A_i-A_j}{A_0} \quad (3)$$

式中，A_0 表示未加样品混合液的吸光度(2 mL 的二氯化铁+2 mL 过氧化氢+2 mL 水杨酸)；A_i 表示样品的吸光度（2 mL 的二氯化铁+2 mL 过氧化氢+2 mL 水杨酸+2 mL 的样品溶液)；A_j 未加过氧化氢溶液样品的吸光度(2 mL 的二氯化铁+2 mL 水杨酸+2 mL 的样品溶液)；SA 为样品对羟基自由基的清除率(%)。

2 结果与分析

2.1 提取溶剂对多酚得率的影响

精确称取黄参茎叶粉末 0.2 g，按 1:30 的料液比分别加入水、60%的乙醇、60%的甲醇、60%的丙酮、60%的乙酸乙酯，60 ℃下超声提取 30 min，提取 2 次后合并，并于 3 500 r/min 离心 30 min，取上清液，测定其多酚含量。比较 5 种溶剂的提取效果，

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

从中选择最佳溶剂。每次实验重复 3 次，取平均值。不同溶剂提取效果见图 1。可知提取得率分别是丙酮>乙醇>乙酸乙酯>甲醇>水，但由于丙酮有毒，基于得率和安全性的双重考虑，我们选用提取得率第二的乙醇进行后续试验。

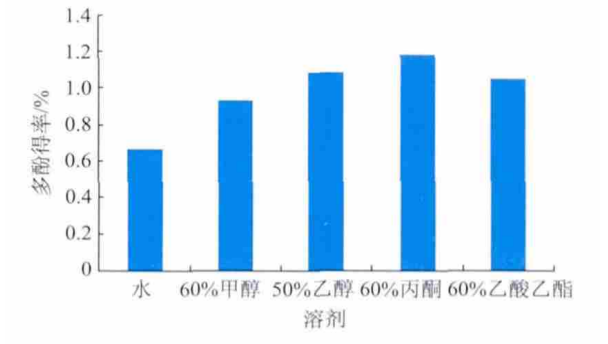


图 1　提取溶剂对多酚得率的影响

Fig. 1　Influence of the kind of solvent on yield of polyphenol

2.2　超声波辅助提取单因素实验

2.2.1　*乙醇体积分数对多酚得率的影响*　按料液比 1:30，超声温度 60 ℃，超声时间 30 min，研究不同浓度的乙醇对多酚得率的影响，其他步骤参照 2.1.1。由图 2 可知，随乙醇体积分数的增加，多酚得率不断增大，当乙醇体积分数为 70%时，黄参茎叶多酚的提取率最大，当乙醇体积分数大于 70%时，多酚得率急剧下降；当乙醇体积分数为 90%时，多酚类的溶出明显受到抑制，最佳乙醇体积分数为 70%。

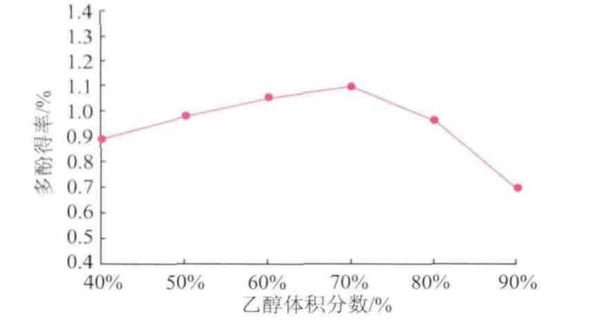


图 2　乙醇体积分数对多酚得率的影响

Fig. 2　Influence of ethanol concentration on yield of polyphenol

2.2.2　*超声温度对多酚得率的影响*　按料液比 1:30，乙醇体积分数 70%，超声时间 30 min，研究不同超声温度对多酚得率的影响，其他步骤参照 2.1.1，结果见图 3。多酚得率随着超声温度的升高而增大，当温度为 70 ℃ 时，多酚得率达到最高，大于 70 ℃ 时，因温度过高导致一部分溶剂挥发损失并且对多酚成分造成一定程度的破坏，所以提取率反而降低。因此提取温度选择 70 ℃为最佳。

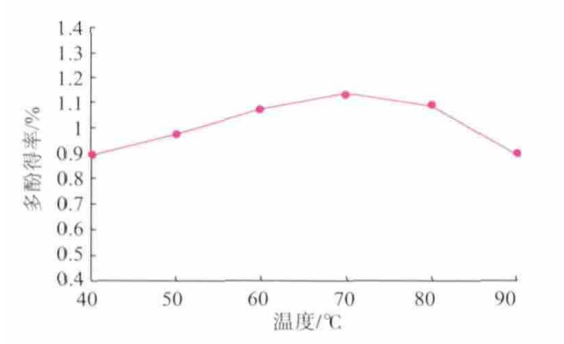


图 3　超声温度对多酚得率的影响

Fig. 3　Influence of ultrasonic temperature on yield of polyphenol

2.2.3　*超声时间对多酚得率的影响*　按料液比 1:30，乙醇体积分数 70%，超声温度 70 ℃，研究不同超声时间对多酚得率的影响，其他步骤参照 2.1.1，结果见图 4。随着超声时间的延长，多酚得率不断提高，尤其是在 30 min 时，得率的提高幅度较大，在 30~50 min 得率呈现缓慢下降趋势，而在 60 min 时，得率明显下降，可能是由于超声作用时间过长，有效成分发生降解或氧化遭到破坏从而导致得率的降低。因此最佳超声时间为 30 min。

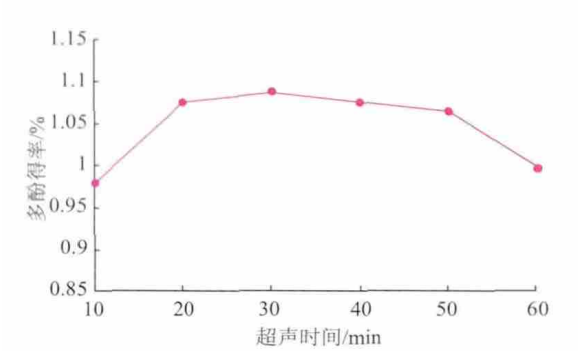


图 4　超声时间对多酚得率的影响

Fig. 4　Influence of ultrasonic time on yield of polyphenol

2.2.4　*料液比对多酚得率的影响*　按乙醇体积分数 70%，超声温度 70 ℃，超声时间 30 min，研究不同料液比对多酚得率的影响，其他步骤参照 2.1.1，结果见图 5。增加液料比可提高乙醇提取的效果，并且在料液比 1:35 之前，多酚得率提高较快，之后便趋于平缓。料液比在 1:35 时得率最大，但从提取成本考虑因此选择料液比 1:35。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

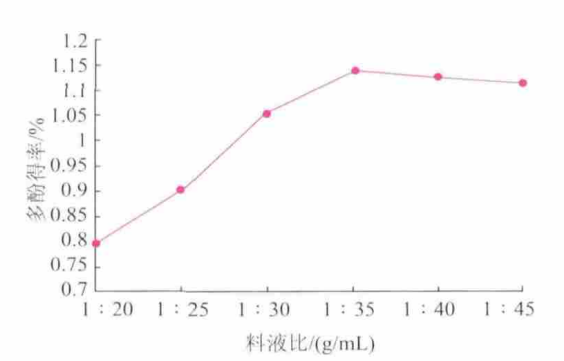


图 5 料液比对多酚得率的影响

Fig. 5 Influence of solid-to-solvent ratio on yield of polyphenol

2.3 响应曲面法优化黄参茎叶多酚提取工艺

2.3.1 响应曲面实验设计与结果 根据 Box-Behnken 试验设计原理,综合单因素影响试验结果,选取乙醇体积分数、超声温度、料液比 3 个对多酚提取影响显著的因素,在单因素试验基础上采用三因素三水平的响应面分析法。单因素试验结果显示:以乙醇为提取溶剂,乙醇体积分数 70%、超声温度 70 ℃、料液比为 1:35 时,黄参茎叶多酚有最大提取率。超声波辅助提取黄参茎叶多酚的响应曲面实验结果与分析见表 2。

表 2 Box-Behnken 设计方案及黄参茎叶多酚得率的测定结果

Table 2 Box-Behnken CCD matrix and resonses values of polyphenol

实验号	x_1	x_2	x_3	响应值	
				实际值/%	预测值/%
1	60.00	70.00	40.00	1.043 3	1.086 4
2	60.00	70.00	30.00	1.098 8	1.093 2
3	80.00	70.00	30.00	1.098 4	1.036 7
4	70.00	70.00	35.00	1.134 2	1.114 4
5	80.00	70.00	40.00	1.102 4	1.089 5
6	70.00	80.00	30.00	1.100 0	1.102 0
7	70.00	60.00	30.00	1.078 5	1.039 7
8	70.00	70.00	35.00	1.134 2	1.111 6
9	80.00	80.00	35.00	1.118 1	1.084 0
10	60.00	80.00	35.00	1.027 6	1.100 1
11	70.00	70.00	35.00	1.134 2	1.094 3
12	70.00	80.00	40.00	1.055 1	1.049 6
13	70.00	70.00	35.00	1.134 2	1.140 7
14	60.00	60.00	35.00	1.082 7	1.104 2
15	70.00	70.00	35.00	1.134 2	1.134 2
16	70.00	60.00	40.00	1.094 5	1.134 2
17	80.00	60.00	35.00	1.102 4	1.134 2

应用 Design expert.V.8.0.5b 软件,结合表 2 实验数据,进行回归拟合,得到得率对乙醇体积分数、超声温度、料液比的二次多项式回归方程:

$$Y=1.13+0.021x_1-0.007\ 16x_2-0.010\ 06x_3+0.017\ 717x_1x_2+0.014\ 857x_1x_3-0.015\ 22x_2x_3-0.023\ 91x_1^2-0.027\ 6x_2^2-0.024\ 56x_3^2 \quad (4)$$

式中,Y 为黄参茎叶多酚的预测值,x_1、x_2、x_3 分别为上述 3 个自变量的编码值,该模型的方差分析结果见表 3,模型系数显著性检验见表 4。

表 3 模型方差分析

Table 3 Variance for regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	p 值	显著性*
模型	0.017	9	1.885E-003	29.04	< 0.000 1	**
残差	4.542E-004	7	6.489E-005			
失拟项	4.542E-004	3	1.514E-004	4.75	0.083 1	*
纯误差	0.056	4	0.017			
总和	0.017	16				

注:R=0.986 8,R^2=0.973 9,R^2adj=0.940 4,*<0.05 显著,**<0.01 极显著

从表 3 可知,本实验选用的模型极显著(p<0.01),失拟项不显著(p=0.083 1>0.05),说明模型是合适的,模型的校正决定系数 R^2_{Adj}=0.940 4,说明该模型可以解释 94.04%的响应值变化,相关系数 R=0.986 8,说明该模型拟合程度良好,实验误差小,该模型是合适的,可以用此模型对黄参茎叶多酚的提取工艺进行分析和预测。

从表 4 的回归方程系数显著性检验可知,方程的二次项的影响均极显著,交互影响显著,各一次项显著性参差不齐,表明各影响因素对多酚得率的影响不是简单的线性关系,所以可以利用回归方程来确定最佳提取工艺条件。依据参数估计值可判断影响因子的主效应主次顺序为:乙醇体积分数>超声温度>料液比。

2.3.2 响应曲面分析 根据回归方程式(4),作响应曲面图,考察所拟合的响应曲面的形状,分析乙醇体积分数、超声温度和料液比对多酚得率的影响。其响应曲面及其等高线见图 6~8。图 6 显示,当料液比为最佳值(x_3=1:35)时,乙醇体积分数和超声温度对多酚得率的交互作用。图 7 显示,当乙醇体积分数为最佳值(x_1=70%)时,超声温度和料液比对

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 4 模型各系数显著性检验结果

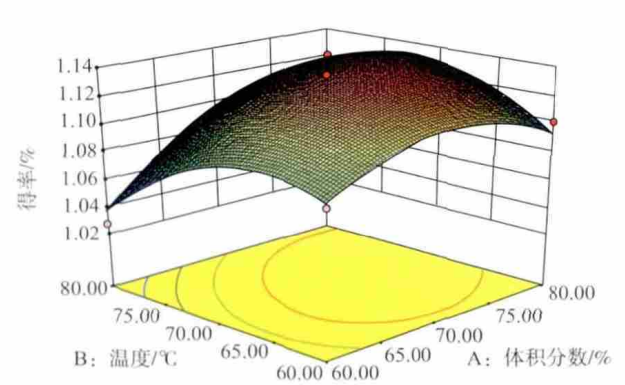
Table 4 Test of significance for regression coefficients

系数项	参数估计值	自由度	标准误差	95%置信下限	95%置信上限	F 值	p 值	显著性 *
截距	1.134 2	1	0.003 602	1.125 681	1.142 719	29.044 21	< 0.000 1	**
x_1	0.021 115	1	0.002 848	0.014 38	0.027 849	54.963 82	0.000 1	**
x_2	−0.007 16	1	0.002 848	−0.013 89	−0.000 42	6.311 524	0.040 3	*
x_3	−0.010 06	1	0.002 848	−0.016 79	−0.003 32	12.467 53	0.009 6	**
x_1x_2	0.017 717	1	0.004 028	0.008 193	0.027 241	19.348 18	0.003 2	**
x_1x_3	0.014 857	1	0.004 028	0.005 333	0.024 382	13.607 33	0.007 8	**
x_2x_3	−0.015 22	1	0.004 028	−0.024 74	−0.005 69	14.274 81	0.006 9	**
x_1^2	−0.023 91	1	0.003 926	−0.033 2	−0.014 63	37.104 21	0.000 5	**
x_2^2	−0.027 61	1	0.003 926	−0.036 89	−0.018 33	49.464 08	0.000 2	**
x_3^2	−0.024 56	1	0.003 926	−0.033 85	−0.015 28	39.150 64	0.000 4	**

注:*<0.05 显著,**<0.01 极显著。

多酚得率的交互作用。图 8 显示,当超声温度为最佳值(x_2=70 ℃)时,乙醇体积分数和料液比对多酚得率的交互作用,三组图直观地反映了各因素对响应值的影响,对应的等高图直观地反映出各因素交互作用对响应值的影响,圆形表示二因素交互作用不显著,椭圆形表示二因素交互作用显著[11]。

2.3.3 最佳工艺参数及验证试验 通过 design expert8.0 优化的工艺条件为提取黄参茎叶多酚的工艺优化条件为:乙醇体积分数 74.25%,超声温度 70.30 ℃,料液比 1:34.57,此时多酚的理论得率为 1.145 2%。为检验响应曲面法优化结果的可靠性,采用上述优化条件提取黄参茎叶多酚,考虑实际操作的便利性,将条件优化为:乙醇体积分数 75%,超声温度 70 ℃,料液比 1:35,在此条件下做 3 次重复试验得到相对标准偏差进行验证,结果见表 5。平均得率达到了 1.1448%,和理论预测值相比,其相对误差小于 1%,因此,基于响应曲面法所得的黄参茎叶多酚优化提取工艺参数准确可靠,具有实用价值。



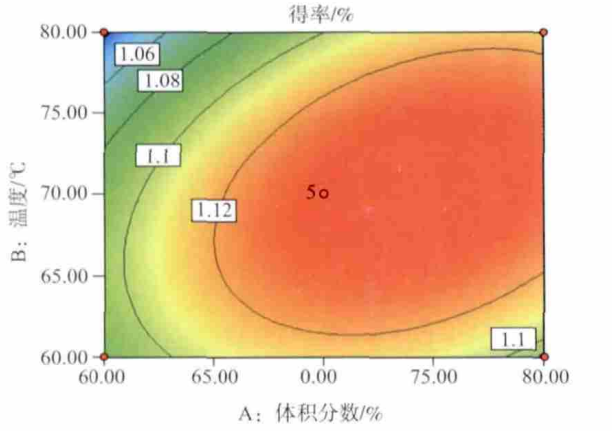


图 6 乙醇体积分数(x_1)、超声温度(x_2)及其相互作用对多酚得率影响的响应面和等高线

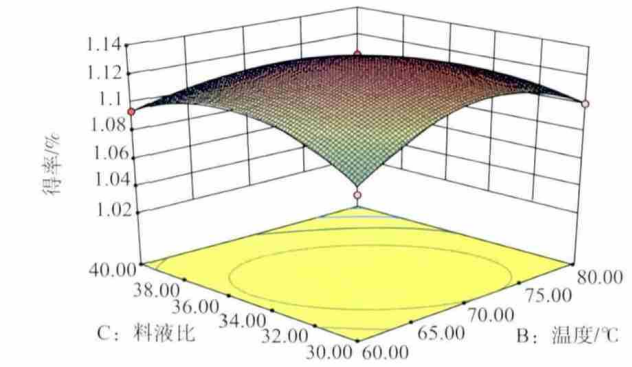
Fig. 6 Response surface plot and its contour plot of the effect of ethanol concentration (x_1) and ultrasonic temperature (x_2) and theirs mutual interactions on yield of polyphenol

表 5 验证试验结果

Table 5 Results of experimental verifications

试验号	黄参茎叶多酚得率/%
1	1.152 4
2	1.144 3
3	1.137 8
平均值	1.144 8
RSD/%	0.73

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



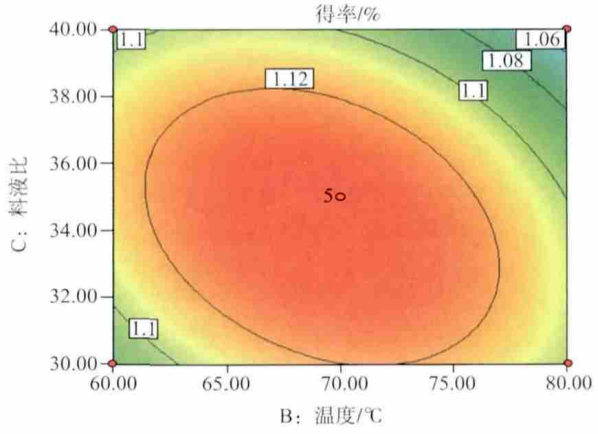
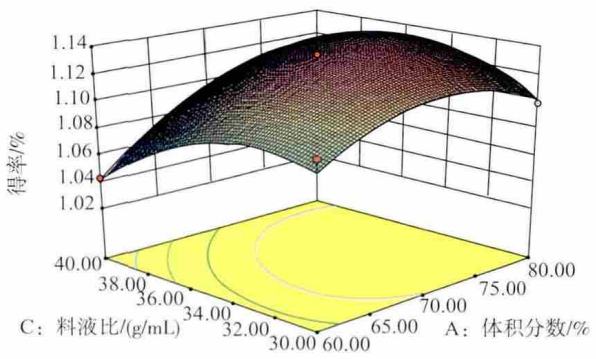


图 7　超声温度(x_2)、料液比(x_3)及其相互作用对多酚得率影响的响应面和等高线

Fig. 7　Response surface plot and its contour plot of the effect of ultrasonic temperature (x_2) and solid-to-solvent ratio (x_3) and theirs mutual interactions on yield of polyphenol



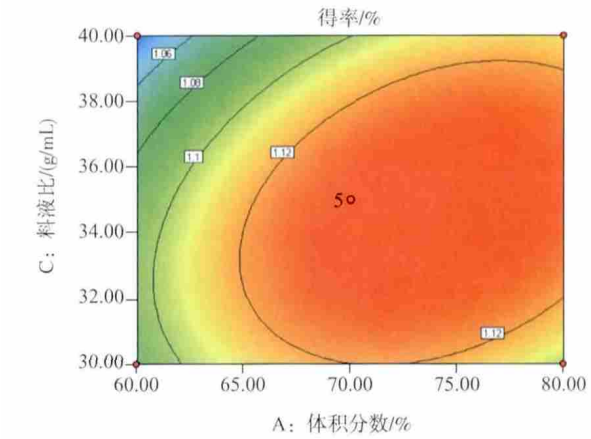


图 8　乙醇体积分数(x_1)、料液比(x_3)及其相互作用对多酚得率影响的响应面和等高线

Fig. 8　Response surface plot and its contour plot of the effect of ethanol concentration (x_1) and solid-to-solvent ratio (x_3) and theirs mutual interactions on yield of polyphenol

2.4　黄参茎叶多酚的抗氧化能力

2.4.1　清除 DPPH 自由基的能力　**图 9 为不同质量浓度的黄参茎叶多酚提取物和阳性对照清除** DPPH **自由基的能力。从图 9 可知，随着多酚提取物质量浓度的增加(由** 0.1~1.0 mg/mL)，DPPH **自由基的清除率由** 33.01%**增加到** 83.88%**。与同质量浓度的抗坏血酸和** BHT **相比较，样品的清除率在低质量浓度时稍微高于** BHT，**高质量浓度时和** BHT **相当，但低于抗坏血酸的清除率。在实验质量浓度范围内，抗坏血酸对** DPPH **自由基的清除率在** 92.4%~98.1%**范围内。**

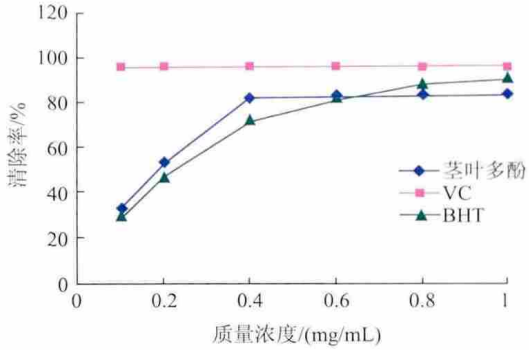


图 9　黄参茎叶多酚、BHT 和抗坏血酸对 DPPH 自由基的清除效果

Fig. 9　Scavenging effect of *Sphallerocarpus gracilis* stem leaves polyphenol, BHT and VC on DPPH radical

2.4.2　清除羟基自由基的测定　**由图** 10 **不同质量**

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

浓度的黄参茎叶多酚和阳性对照对羟基自由基的清除效果可知，当多酚质量浓度由 0.1 mg/mL 增加至 1.0 mg/mL 时，其对羟基自由基的清除率由 22.95%上升到 44.79%，且低质量浓度时样品对羟基自由基的清除率略低于 BHT，高浓度时和 BHT 基本持平，但抗坏血酸对羟基自由基的清除率明显高于样品和BHT。从图 10 还可看出，随着质量浓度的增加，样品和 BHT 对羟基自由基的清除能力并没有呈现明显的量效关系。

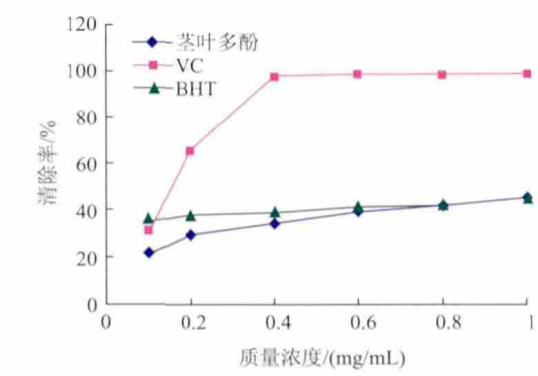


图 10　黄参茎叶多酚、BHT 和抗坏血酸对羟基自由基的清除效果

Fig. 10　Scavenging effect *Sphallerocarpus gracilis* stem leaves polyphenol, BHT and VC on hydroxyl free radical

2.4.3 *提取物的还原能力*　黄参茎叶多酚、抗坏血酸和 BHT 的还原能力见图 11。可以看到，随着多酚质量浓度的增加，其还原力也随之增加。在实验质量浓度范围内，还原力与质量浓度呈现一定的量效关系，同等质量浓度条件下，还原能力的大小顺序为 VC>BHT>黄参茎叶多酚。还原能力的测定中，多酚类化合物的存在使得铁氰化物中的三价铁变成以 Fe^{2+}存在的复杂化合物。根据文献[13-15]的研究报道，测定多酚类物质的还原能力对解释说明它们的抗氧化效果和还原能力之间的关系是必要的。多酚类化合物是良好的电子供体，能够通过使自由基转化成更稳定的产物而使终止自由基反应链。

3 结　语

根据单因素试验和响应曲面法得到黄参茎叶多酚的最佳提取工艺条件为：乙醇体积分数 74.25%、提取温度 70.30 ℃、料液比(g/mL)34.57、超声时间为 30 min，此时黄参茎叶多酚的提取得率是 1.1448%，和理论预测值相比，其相对误差小于 1%，因此采用响应曲面法对黄参茎叶多酚超声波辅助提取条件进行优化可行。依据参数估计值可判断影响因子的主效应主次顺序为：乙醇体积分数>超声温度>料液比。

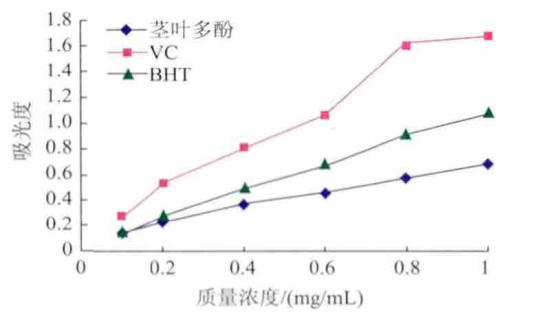


图 11　黄参茎叶多酚、BHT 和抗坏血酸的还原能力

Fig. 11　Reducing power of *Sphallerocarpus gracilis* stem leaves polyphenol, BHT and VC

体外抗氧化试验研究表明：黄参茎叶多酚具有一定的还原力和清除羟基自由基的能力，并且对 DPPH 自由基有较强的清除效果，黄参茎叶多酚具有较强的抗氧化活性，可以开发为一种高效、天然的抗氧化剂。

本研究结果表明：黄参的茎叶多酚具有较强的抗氧化活性，这不仅为黄参茎叶的研究提取了基础的理论数据，而且还为黄参的进一步开发利用提供了参考依据。黄参作为一种药食两用的植物，若能在保健功效和药用价值等方面进行开发，其应用前景将更加广阔。开发黄参茎叶资源，变资源优势为经济优势，推动地方经济的发展，使黄参这种药食两用的资源产生更大的经济效益与社会效益。

参考文献：

[1] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志(第 55 卷，第 1 分册)[M]. 北京：科学出版社，1979：72-74.
[2] 中国科学院西北高原生物研究所. 青海经济植物志[M]. 西宁：青海人民出版社，1987：417-418.
[3] Gao C Y, Lu Y H, Tian C R, et al. Main nutrients, phenolics, antioxidant activity, DNA damage protective effect and

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

microstructure of *Sphallerocarpus gracilis* root at different harvest time[J]. **Food Chemistry**,2011,127:615-622.

[4] Gao C Y,Tian C R,Lu Y H,et al. Essential oil composition and antimicrobial activity of *Sphallerocarpus gracilis* seeds against selected food-related bacteria[J]. **Food Control**,2011,22(3-4):508-516.

[5] Shi R M,Pe D,Liu J X,et al. Chemical constituents from *Sphallerocarpus gracilis* [J]. **Biochemical Systematics and Ecology**,2012,127:1-3.

[6] 郝果,田呈瑞,高春燕,等. 不同采收期黄参功效成分及甲醇提取物抗氧化性研究[J]. 食品工业科技,2012,33(5):131-133.
HAO Guo,TIAN Cheng-rui,GAO Chun-yan,et al. Nutrient analysis and methanol extracts oxidation resistance of *Sphallerocarpus racills* collected at different harvest time[J]. **Science and Technology of Food Industry**,2012,33(5):131-133. (in Chinese)

[7] Cintia Sorane Good Kitzberger,Artur SmaniaJr,Rozangela Curi Pedrosa,et a1. Antioxidant and antimicrobial activities of shiitake Lentinula edodes extracts obtained by organic solvents and supercritical fluids[J]. **Journal of Food Engineering**,2007,80:631-638.

[8] 郑利琴,张慜,孙金才,等. 微波与超声波提取杨梅汁多酚类物质的对比研究[J].食品与生物技术学报,2010,29(4):514-520.
ZHENG Li-qin,ZHANG Min,SUN Jin-cai,et al. Comparison study on the microwave and ultrasonic wave extraction polyphenol from bayberry juice[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2010,29(4):514-520. (in Chinese)

[9] Brandwilams W,Cuvellier M E,Berset C. Use of a free-radical method to evaluate antioxidant activity [J]. **LWT-Food Science and Technology**,1995,28(1):25-30.

[10] Vaquero M J R,Serravvalie L R T,de Nadra M C M,et al. Antioxidant capacity and antibacterial activity of phenolic compounds from argentinean herbs infusions[J]. **Food Control**,2010,21(5):779-785.

[11] Yan H L,Bo J,Tao Z,et al. Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysate [J]. **Food Chemistry**,2008,106(2):444-450.

[12] 孙翔宇,段爱莉,高贵田,等. 猫屎瓜籽油提取及脂肪酸组成分析[J].食品工业科技,2012,33(15):236-241.
SUN Xiang-yu,DUAN Ai-li,GAO Gui-tian,et al. Optimization of decaisnea insignis seed oil extraction process and analysis of fatty acid[J]. **Science and Technology of Food Industry**,2012,33(15):236-241. (in Chinese)

[13] Yen G C,Duh P D,Tsai C. Relationship between antioxidant activity and maturity of peanut hulls [J]. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**,1993,41(1):67-70.

[14] Siddhuraju P,Mohan P,Becker K. Studies on the antioxidants activity of indian laburnum (*Cassia fistula* L.):a preliminary assessment of crude extract from stem bark,leaves,flowers and fruit pulp[J]. **Food Chemistry**,2002,79(1):61-67.

[15] 解利利,张慜,孙金才. 蓝莓冻果多酚粗提物体外抗氧化活性的研究[J].食品与生物技术学报,2011,30(6):818-821.
XIE Li-li,ZHANG Min,SUN Jin-cai. Optimization of decaisnea insignis seed oil extraction process and analysis of fatty acid[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2011,30(6):818-821. (in Chinese)

科　技　信　息

科学家研究多酚类成分对美拉德模型中呋喃及丙烯酰胺形成的影响

据 sciencedirect 数据库消息,2014 年 1 月土耳其研究人员在《Food Chemistry》上刊登一项多酚成分对美拉德模型中呋喃、丙烯酰胺形成的影响及储藏过程中总呋喃含量影响的研究。

本研究采用葡萄糖-甘氨酸及果糖-天冬酰胺体系作为美拉德反应模型,分别研究咖啡酸、绿原酸、ECE(欧洲蔓越莓多酚提取物)、鞣花酸、表儿茶酸、橄榄苦苷、PPE(石榴皮多酚提取物)、OMWWE(橄榄多酚提取物)、安石榴苷、对羟苯基乙醇对美拉德模型及饼干焙烤过程中呋喃、丙烯酰胺形成影响。

研究表明,除橄榄苦苷外,其他多酚类成分均可明显降低美拉德模型及饼干焙烤过程中丙烯酰胺含量。同时可抑制储藏过程中总呋喃形成。

[信息来源]Rasim Alper Oral, , Mahmut Dogan, Kemal Sarioglu. Effects of certain polyphenols and extracts on furans and acrylamide formation in model system, and total furans during storage [J]. 2014,142(1): 423 - 429.

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net