

# 大高良姜不同部位总黄酮的提取工艺优化及体外抗氧化活性研究<sup>Δ</sup>

刘源\*,唐斌,张孝琴,杨刚(西南医科大学基础医学院化学教研室,四川泸州 646000)

中图分类号 R284.1;R285.5 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2016)31-4429-04

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2016.31.32

**摘要** 目的:优化大高良姜根、茎、叶不同部位总黄酮提取工艺并比较其体外抗氧化活性。方法:采用超声辅助提取的方法,在单因素试验基础上,通过Box-Behnken响应面法,以料液比、乙醇体积分数、水浴温度、超声时间为因素,以总黄酮提取率为指标,优化大高良姜总黄酮提取工艺,并对各部位总黄酮在不同质量浓度下(0.1~1.0 mg/ml)进行DPPH自由基清除、O<sub>2</sub><sup>-</sup>自由基清除、植物和动物油脂保护作用的体外抗氧化活性试验[均以维生素C(VC)为对照]。结果:最优提取工艺为料液比1:23.8、乙醇体积分数60%、水浴温度80℃、超声时间33.5 min;此条件下大高良姜根、茎、叶中总黄酮提取率分别为53.5、52.7、52.5 mg/g,与预测值相对误差均不高于2.48%。各部位总黄酮在0.5 mg/ml时对DPPH自由基清除率为叶(94.3%)>根(93.6%)>茎(90.8%),VC为96.4%;在1.0 mg/ml时对O<sub>2</sub><sup>-</sup>自由基清除率为根(63.7%)>茎(60.2%)>叶(42.9%),VC为94.7%;在0.4 mg/ml时对植物油脂的保护率为叶(39.7%)>茎(30.6%)>根(28.3%),对动物油脂的保护率为叶(40.6%)>茎(30.2%)>根(29.3%),VC均约为60%。结论:优化的提取工艺可行,可用于大高良姜不同部位总黄酮的提取;各部位总黄酮均具有一定的抗氧化活性,并以叶中总黄酮的抗氧化活性相对较强。

**关键词** 大高良姜;根;茎;叶;总黄酮;提取工艺;Box-Behnken响应面法;抗氧化活性

## Optimization of the Extraction Technology and Antioxidant Activity Study *in vitro* of Total Flavones from Different Parts of *Alpinia galangal*

LIU Yuan, TANG Bin, ZHANG Xiaoqin, YANG Gang (Dept. of Chemistry, College of Basic Medicine, Southwest Medical University, Sichuan Luzhou 646000, China)

**ABSTRACT** OBJECTIVE: To optimize the extraction technology of total flavonoids from the root, stem and leaves of *Alpinia galangal* and compare the antioxidant activities of the flavonoids *in vitro*. METHODS: Taking into account the four factors, such as the ratio of solid to liquid, the volume fraction of ethanol, the temperature of enzymatic hydrolysis and the time of ultrasonic, using the extraction rate of total flavonoids as index, with the method of ultrasonic assisted, the extraction technology of total flavonoids from *A. galangal* was optimized by Box-Behnken response surface test on the basis of single factor experiment. The antioxidant activity tests *in vitro* of different concentrations of total flavonoids (0.1-1.0 mg/ml) from different parts of *A. galangal* were conducted, including DPPH free radical clearance test, O<sub>2</sub><sup>-</sup> free radical clearance test, protective test of vegetable and animal fat [using vitamin C (VC) as control]. RESULTS: The optimal extraction technology as follows as the ratio of solid to liquid was 1:23.8; the volume fraction of ethanol was 60%; water bath temperature was 80℃; ultrasonic time was 33.5 min. Under this condition, the extraction rates of total flavonoids from the root, stem and leaves of *A. galangal* were 53.5, 52.7, 52.5 mg/g. The rates of their relative error from predicted value were all no more than 2.48%. When the mass concentration was 0.5 mg/ml, the antioxidant capacity of total flavonoids from different parts of *A. galangal* to DPPH free radicals was as follows as leaves (94.3%)>root (93.6%)>stem (90.8%); the antioxidant capacity of VC was 96.4%. When the mass concentration was 1.0 mg/ml, the antioxidant capacity to O<sub>2</sub><sup>-</sup> free radicals was as follows as root (63.7%)>stem (60.2%)>leaves (42.9%); the antioxidant capacity of VC was 94.7%. When the mass concentration was 0.4 mg/ml, the protective rate to vegetable fat was as follows as leaves (39.7%)>stem (30.6%)>root (28.3%); the protective rate to animal fat was as follows as leaves (40.6%)>stem (30.2%)>root (29.3%); the protective rate of VC was about 60%. CONCLUSIONS: Optimized extraction technology is feasible, and can be used for the extraction of total flavones from different parts of *A. galangal*. Total flavones from different parts have certain antioxidant activity, specially the total flavones from leaves of *A. galangal* is stronger than other.

**KEYWORDS** *Alpinia galangal*; Root; Stem; Leaves; Total flavones; Extraction technology; Box-Behnken response surface methodology; Antioxidant activity

泸州当地的特色小吃黄粑具有健脾暖胃、久置不腐的特点<sup>[1]</sup>,这与其包裹食物所用的大高良姜叶有关。四川境内的大

Δ 基金项目:2014年泸州市科技局项目[No.2014(56)];2015年西南医科大学科研基金(No.LZ20150026)

\* 讲师,硕士。研究方向:化学教学与科研。电话:0830-2525695。E-mail:190670328@qq.com

高良姜叶的种类很多,但仅在川南泸州独特的地理和气候下生长的大高良姜叶才不长虫、“生病”、种植时也无需农药<sup>[2]</sup>,故其药用价值值得探究。

大高良姜(*Alpinia galangal* Willd)为姜科山姜属植物,是《中国药典》收录的药用植物<sup>[3]</sup>,果实入药称为红豆蔻。其味辛,性热,有温胃、散寒、行气止痛之功效<sup>[4-5]</sup>,通常用作调经剂、

驱风剂、退热剂和抗炎药等,尤其对支气管炎、心脏疾病、慢性肠炎、肾结石、糖尿病、风湿病及肾脏等多种中老年疾病有很好的防治效果<sup>[6]</sup>。黄酮类成分是大高良姜的药效基础。近年来对大高良姜的研究主要集中在根、茎部位<sup>[7]</sup>,但对其根、茎、叶等不同部位黄酮类含量及活性的比较研究鲜有报道。超声提取技术是一种可加速植物细胞内有效成分溶出而强化提取过程的技术,目前已越来越广泛地应用于天然产物的提取工艺中<sup>[8]</sup>。笔者以泸州当地大高良姜的根、茎、叶为研究对象,采用超声技术有效提取其中的总黄酮,并对各部位总黄酮的抗氧化活性进行研究,旨在为大高良姜的有效利用提供参考。

## 1 材料

### 1.1 仪器

RE52CS-1型旋转蒸发器(上海亚荣生化仪器厂);KQ5200型超声波处理机(昆山市超声仪器有限公司);SP-1901型紫外-可见分光光度计(上海光谱仪器有限公司)。

### 1.2 药材、对照品与试剂

大高良姜(2014年3月采挖于四川省泸州市龙马潭区特兴镇魏园村黄金山生态园,经西南医科大学基础医学院唐斌教授鉴定为正品);芦丁对照品(上海阿拉丁化学试剂公司,批号:A2010Q37,纯度:≥98%);1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH,美国Sigma公司,批号:BC515795,纯度:99%);维生素C(VC,东北制药集团有限公司,批号:20130412,纯度:>99.7%);亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、无水乙醇、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、邻苯三酚、盐酸、乙醚等均为分析纯;动物油为市购猪板油熬制而成;植物油为鲁花菜籽油。

## 2 方法与结果

### 2.1 药材的处理

将大高良姜整株洗净后将其分成整株、根、茎、叶4个部分,置于40℃烘箱中烘干,粉碎,乙醚脱脂3次,过60目筛备用。

### 2.2 芦丁的含量测定<sup>[9]</sup>

2.2.1 线性关系考察 精确称取芦丁对照品适量,溶于60%乙醇溶液并制备成0.20 mg/ml的对照品溶液。分别吸取上述溶液0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 ml,置于6个50 ml的量瓶中,加60%乙醇补至10.0 ml,再加5%NaNO<sub>2</sub>溶液0.80 ml,摇匀,静置6 min;加10%Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>溶液0.80 ml,摇匀,静置6 min;加4%NaOH溶液5.00 ml,再用60%乙醇溶液稀释至刻度,摇匀,静置15 min。取不同质量浓度(c)溶液于510 nm波长处测吸光度(A),绘制芦丁标准曲线,得回归方程: $A=8.398c+0.003$  ( $R^2=0.9982$ ),得芦丁检测质量浓度线性范围为10~200 μg/ml。

2.2.2 方法学考察 根据相关要求方法进行方法学考察。结果,精密度试验中吸光度的RSD=1.03% ( $n=6$ ),表明仪器精密度高;稳定性试验中含量的RSD=0.98% ( $n=6$ ),样品溶液在2 h内稳定性良好;准确度试验中平均方法回收率为99.05% (RSD=1.26%,  $n=6$ ),表明该方法的准确度较好。

### 2.3 大高良姜中总黄酮的提取工艺及提取率测定<sup>[10]</sup>

准确称取大高良姜粉2.00 g,加入一定体积分数的乙醇水浴加热,超声辅助提取(功率200 W),抽滤,石油醚萃取(弃去石油醚层),重复萃取2次。将2次滤液合并,加入乙醇定容至25 ml,摇匀,放置过夜。取1 ml置于50 ml量瓶中,按“2.2.1”项下方法于510 nm波长处测定吸光度,根据标准曲线求出质量浓度,并计算大高良姜总黄酮的提取率(提取液中总黄酮量/大高良姜粉量,mg/g)。

### 2.4 单因素试验筛选各因素水平

以大高良姜整株粉为原料,设定超声功率为200 W,乙醇体积分数为80%,料液比为1:25,水浴温度为80℃,超声时间

为30 min。固定其他条件,依次改变料液比(1:20、1:25、1:30、1:35、1:40)、乙醇体积分数(50%、60%、70%、80%、90%)、水浴温度(40、50、60、70、80℃)、超声时间(20、30、40、50、60 min),以总黄酮的提取率为评价指标,采用单因素试验筛选各因素水平。每组试验重复3次,取其平均值。结果如下:(1)随着料液比的增加,总黄酮提取率增大;当料液比大于1:30时,总黄酮提取率增加缓慢,至1:35后逐渐趋于稳定,这可能是由于黄酮溶出量已达到平衡所致。故以料液比为1:30时较优。(2)在乙醇低于70%时,随着体积分数的升高,总黄酮提取率增加较为明显;但高于70%后,总黄酮提取率随之降低,原因可能是随着乙醇体积分数升高,黄酮类化合物扩散速度加快,但当乙醇体积分数过高时,脂溶性的杂质溶出增加并消耗溶剂所致。故以乙醇体积分数为70%时较优。(3)总黄酮提取率随着水浴温度升高而增加,在60~70℃范围内提取率增幅变缓,而后明显下降,原因可能是温度升高导致脂溶性杂质的溶出增加、消耗溶剂所致。故以水浴温度为70℃时较优。(4)随着超声时间的延长,总黄酮提取率增加明显,但50 min后提取率逐渐下降,可能是黄酮的溶出率达到了动态平衡且黄酮氧化分解速度逐渐增加所致。考虑到时间延长耗能增加,故以超声时间为40 min时较优。

### 2.5 Box-Behnken响应面试验优化各因素水平

2.5.1 试验设计与方案 在单因素试验基础上,确定Box-Behnken响应面设计的自变量。以总黄酮的提取率为响应值(Y),设计4因素3水平中心组合试验方案,对提取工艺进行优化。试验因素水平编码设计见表1;响应面试验设计方案及结果见表2。

表1 因素与水平

Tab 1 Factors and levels

因素	水平		
	-1	0	1
X <sub>1</sub> (料液比),g/ml	1:25	1:30	1:35
X <sub>2</sub> (乙醇体积分数),%	60	70	80
X <sub>3</sub> (水浴温度),℃	60	70	80
X <sub>4</sub> (超声时间),min	30	40	50

2.5.2 回归分析与方差分析 根据表2中的数据采用Design-Expert 8.0.6软件进行多元回归拟合分析,得到模型的拟合曲线方程为: $Y=49.62+1.71X_1-0.31X_2+1.93X_3+1.86X_4+0.30X_1X_2+0.050X_1X_3-0.13X_1X_4+2.73X_2X_3+1.60X_2X_4+2.00X_3X_4-3.27X_1^2-1.10X_2^2-3.25X_3^2-1.52X_4^2$  ( $R^2=0.9926$ )。同时对模型进行了回归系数和方差分析的显著性检验,结果见表3。

由方差分析可知,该模型的 $P=0.0028<0.01$ ,表明该模型的回归方程极为显著。X<sub>3</sub>、X<sub>4</sub>因素对总黄酮提取率有显著影响,各因素对总黄酮提取率影响大小顺序为X<sub>3</sub>>X<sub>1</sub>>X<sub>4</sub>>X<sub>2</sub>。其中,作用显著的是X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>,极显著的是X<sub>3</sub>、X<sub>4</sub>、X<sub>1</sub><sup>2</sup>、X<sub>3</sub><sup>2</sup>。

2.5.3 响应面分析各因素之间的交互作用 根据拟合回归方程,固定4个因素中的任意2个因素为零水平,绘制另外2个交互项的响应面图,以考察其对总黄酮提取率的影响,见图1。

由图1可见,X<sub>1</sub>与X<sub>3</sub>两因素影响最大,而X<sub>2</sub>与X<sub>4</sub>影响不显著。这与方差分析结果相一致。

2.5.4 最优提取工艺的确定 利用Design-Expert 8.0.6软件,得到最优化的提取工艺为料液比1:23.81、乙醇体积分数60.07%、水浴温度79.63℃、超声时间33.65 min。在此条件下总黄酮提取率的预测值为53.838 mg/g。综合考虑总黄酮提取率和试验可操作性等因素,调整最优工艺条件为料液比1:23.8、乙醇体积分数60%、水浴温度80℃、超声时间33.5 min。

### 2.6 大高良姜根、茎、叶不同部位总黄酮提取验证试验

表2 试验设计方案与结果

Tab 2 Design proposal and results of experiment

序号	因素				总黄酮提取率,mg/g
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	
1	0	0	0	0	49.2
2	0	0	1	-1	44.2
3	0	0	0	0	51.6
4	-1	1	0	0	42.7
5	-1	0	1	0	41.3
6	0	-1	1	0	45.2
7	1	-1	0	0	47.9
8	0	-1	0	-1	46.9
9	0	1	0	-1	41.9
10	-1	0	-1	0	39.5
11	0	0	-1	1	42.2
12	0	0	-1	-1	41.5
13	0	1	-1	0	40.8
14	1	0	1	0	45.2
15	0	1	0	1	48.7
16	1	0	-1	0	43.2
17	-1	-1	0	0	41.9
18	0	0	0	0	50.9
19	-1	0	0	1	46.9
20	1	0	0	1	46.5
21	1	0	0	-1	43.9
22	0	0	0	0	48.1
23	0	1	1	0	49.2
24	0	0	0	0	48.3
25	0	0	1	1	52.9
26	1	1	0	0	49.9
27	-1	0	0	-1	43.8
28	0	-1	-1	0	47.7
29	0	-1	0	1	47.3

表3 方差分析结果

Tab 3 Results of variance analysis

项目	平方和	自由度	均方	F	P
模型	296.01	14	21.14	4.84	0.002 8**
$X_1$	35.02	1	35.02	8.02	0.013 3*
$X_2$	1.14	1	1.14	0.26	0.617 2
$X_3$	44.47	1	44.47	10.18	0.006 5**
$X_4$	41.44	1	41.44	9.49	0.008 1**
$X_1X_2$	0.36	1	0.36	0.082	0.778 2
$X_1X_3$	0.01	1	0.01	0.002 3	0.962 5
$X_1X_4$	0.062	1	0.062	0.014	0.906 5
$X_2X_3$	29.70	1	29.70	6.80	0.020 7*
$X_2X_4$	10.24	1	10.24	2.34	0.148 0
$X_3X_4$	16.00	1	16.00	3.66	0.076 3
$X_1^2$	69.47	1	69.47	15.91	0.001 3**
$X_2^2$	7.81	1	7.81	1.79	0.202 4
$X_3^2$	68.41	1	68.41	15.66	0.001 4**
$X_4^2$	15.04	1	15.04	3.44	0.084 7
残差	61.14	14	4.37		
失拟性	51.35	10	5.13	2.10	0.247 4
纯误差	9.79	4	2.45		
总和	357.15	28			

注: \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$

Note: \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$

在上述最优提取工艺条件下,分别对大高良姜不同部位(根、茎、叶)进行总黄酮的提取、测定,各试验重复3次,结果见表4。

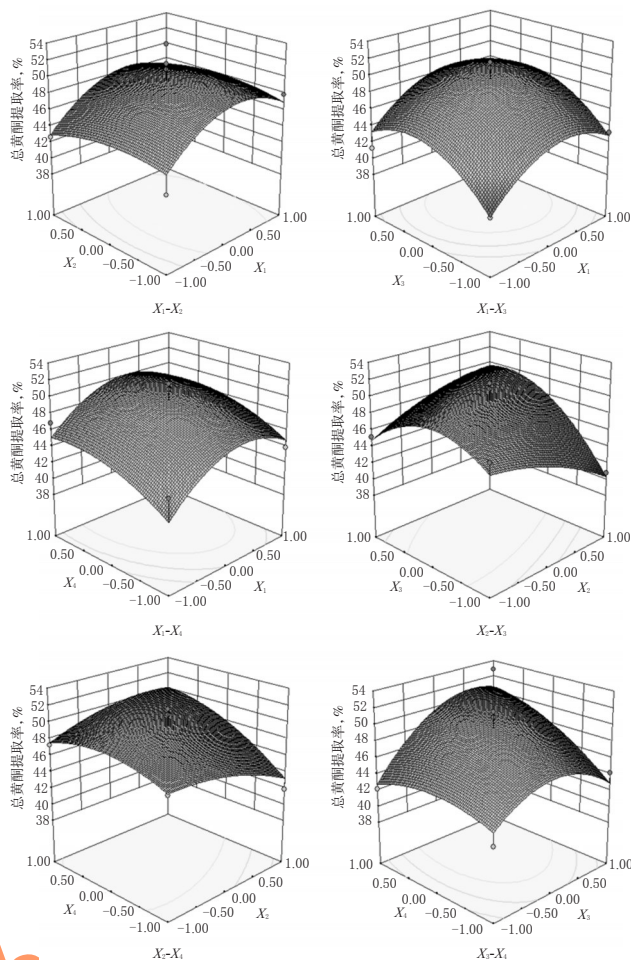


图1 两因素交互作用对总黄酮提取率影响的响应面图

Fig 1 Response surface of the extraction rate of total flavonoids effected by two factors interaction

表4 大高良姜不同部位的总黄酮提取率

Tab 4 The extraction rate of total flavonoids from different parts of *A. galangal*

部位	总黄酮提取率			与预测值的相对误差, %
	测定值,mg/g	平均值,mg/g	RSD, %	
根	53.1, 53.6, 53.8	53.5	0.67	0.63
茎	52.8, 52.7, 52.0	52.5	0.83	2.48
叶	52.6, 52.2, 53.4	52.7	1.16	2.11

由表4可见,实测值与预测值间的相对误差极小,说明建立的模型可信度较高、预测性良好,提取工艺可行,可用于大高良姜中总黄酮的提取。

## 2.7 大高良姜各部位总黄酮的体外抗氧化活性考察<sup>[11-12]</sup>

2.7.1 DPPH 自由基清除率测定 将不同部位的总黄酮提取物用95%乙醇制备成0.1、0.2、0.3、0.4、0.5 mg/ml的总黄酮乙醇溶液,另同法制备VC溶液(作为阳性对照),分别取2.0 ml,各分别加入2.0 ml DPPH(1 mmol/L)溶液,混合均匀后于25℃避光反应30 min,在517 nm波长处测定吸光度 $A_1$ ;另取2.0 ml各不同质量浓度总黄酮乙醇溶液(VC溶液),加入2.0 ml 95%乙醇混合均匀后测定吸光度 $A_2$ ;测定2.0 ml水加入2.0 ml DPPH(1 mmol/L)溶液后的吸光度 $A_0$ 。计算DPPH自由基清除率:  $[1 - (A_1 - A_2)/A_0] \times 100\%$ 。大高良姜不同部位总黄酮对DPPH自由基的清除率测定结果见图2A。

由图2A可见,大高良姜不同部位总黄酮对DPPH自由基的清除能力随质量浓度增大而增大,在0.1~0.5 mg/ml范围

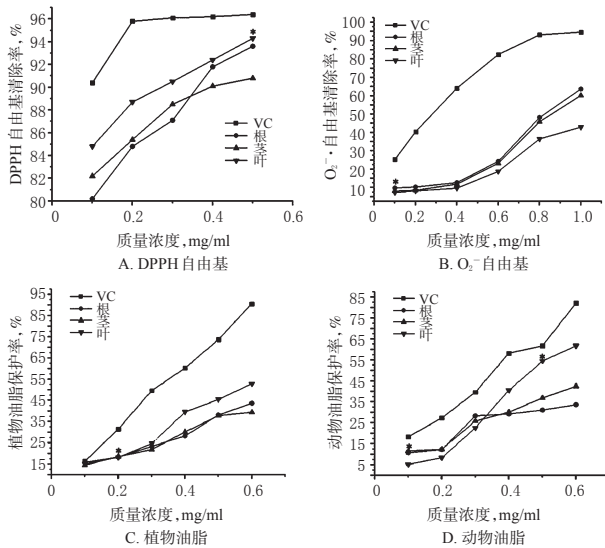


图2 大高良姜不同部位总黄酮的体外抗氧化活性  
注:与VC比较, \* $P > 0.05$

Fig 2 Antioxidant activity of total flavonoids from different parts of *A. galangal* in vitro  
Note: vs. VC, \* $P > 0.05$

内,从叶中提取的总黄酮在各质量浓度下对DPPH自由基的清除率均高于根和茎;在质量浓度为0.5 mg/ml时,根、茎、叶提取的总黄酮及VC对DPPH自由基清除率分别为93.6%、90.8%、94.3%、96.4%,排序为VC>叶>根>茎,但差别不大。

2.7.2  $O_2^-$  自由基清除率测定 取0.05 mol/L Tris-HCl缓冲溶液(pH 8.2)4.0 ml,置于25 °C水浴中预热20 min,分别加入1 ml不同部位的0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mg/ml总黄酮乙醇溶液和VC溶液(作为阳性对照),再加入1 ml 25 mmol/L邻苯三酚溶液,混匀后于25 °C水浴中反应5 min,加入1 ml 8% HCl终止反应,于320 nm波长处测定吸光度 $A$ ;空白对照组以相同体积蒸馏水取代总黄酮乙醇溶液,测定吸光度 $A_0$ 。计算 $O_2^-$  自由基清除率:  $(A_0 - A) / A_0 \times 100\%$ 。大高良姜不同部位总黄酮对 $O_2^-$  自由基的清除率测定结果见图2B。

由图2B可见,在0.1~1.0 mg/ml范围内,随总黄酮质量浓度增大清除率增大,但各部位总黄酮对 $O_2^-$  自由基的清除率明显低于VC,根与茎的清除率非常接近,略高于叶;当质量浓度为1.0 mg/ml时,根、茎、叶、VC对 $O_2^-$  自由基的清除率分别为63.7%、60.2%、42.9%、94.7%,排序为VC>根>茎>叶。

2.7.3 油脂保护率测定 取0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6 mg/ml的各部位总黄酮乙醇溶液及VC溶液,加至温热油脂中,搅匀;在一定温度的烘箱中强化保存,并以未加抗氧化剂者为对照组,于不同时间取样,按GB/T5009.37-1996<sup>[12]</sup>测定油脂过氧化值(POV),再计算保护率。结果,大高良姜不同部位总黄酮对植物和动物油脂的保护率分别见图2C、D。

由图2C可见,在0.1~0.6 mg/ml范围内,随总黄酮质量浓度增大其对植物油脂的保护率增大。当总黄酮质量浓度小于0.2 mg/ml时,各部位总黄酮对植物油脂的保护率与VC相似;在0.4 mg/ml时,对植物油脂的保护率大小为叶(39.7%)>茎(30.6%)>根(28.3%),VC约为60%;当质量浓度在0.3~0.5 mg/ml范围内,对植物油脂的保护率大小顺序为叶>茎>根;质量浓度高于0.5 mg/ml时,则叶>根>茎。但总体来说,大高良姜根、茎、叶部位提取的总黄酮对植物油脂的保护率均低于

VC。

由图2D可见,当总黄酮质量浓度小于0.3 mg/ml时,对动物油脂的保护率大小顺序为根>茎>叶;质量浓度高于0.4 mg/ml时,则叶>茎>根。在0.4 mg/ml时,对动物油脂的保护率大小为叶(40.6%)>茎(30.2%)>根(29.3%),VC约为60%。总体来说,当质量浓度在0.1 mg/ml时,不同部位对动物油脂的保护率与VC相当;当质量浓度在0.5 mg/ml时,叶提取物对动物油脂的保护率最大,且与VC相当。

### 3 讨论

通过比较大高良姜不同部位总黄酮的提取率及体外抗氧化作用,结果表明,虽然叶中总黄酮的提取率与其他部位比较不是最高,但综合来看,叶中的总黄酮在各不同的抗氧化性试验中其抗氧化活性是相对较强的。比如当其质量浓度达到0.5 mg/ml时,对动物油脂的抗氧化活性与VC相当。故此结论为泸州黄芩用其叶包裹能久置不腐提供了科学依据,此结论也对综合开发利用川南泸州独特的大高良姜及大高良姜叶提供了一定的实践指导意义。

为更全面地分析大高良姜及大高良姜叶活性成分,笔者在此试验的基础上,下一步还将对提取工艺中的其他可能有影响的相关因素如超声功率和提取次数等进行研究,并将针对大高良姜叶采用其他提取方法如酶解法、微波法来进行总黄酮的提取研究,将多种方法进行比较以选择最优方案,从而更好地开发利用大高良姜叶。

### 参考文献

- [1] 王其跃. 泸州黄芩[J]. 四川烹饪, 1993, 5(1): 36.
- [2] 周书来, 范春梅. 一种米制特色食品: 泸州黄芩的开发[J]. 粮食加工, 2015, 40(1): 65.
- [3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 2010年版. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 497.
- [4] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1998: 2 243-2 246.
- [5] 赵志礼, 王峥涛, 董辉, 等. 山姜属药用植物及生药学研究进展[J]. 中草药, 2001, 32(2): 171.
- [6] Dhirender K, Jyoti Y, Pawan K, et al. Current pharmacological and phytochemical studies of the plant *Alpinia galanga*[J]. *Journal of Chinese Integrative Medicine*, 2011, 10(9): 1 061.
- [7] 牛付阁. 大高良姜黄酮的提取、分离纯化及抗氧化作用研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2011.
- [8] 杨世林, 杨学东, 刘江云. 天然产物化学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 17.
- [9] 涂华, 陈碧琼, 张燕军. 超声波提取荔枝壳总黄酮的工艺研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8 350.
- [10] 杨小军, 丁永辉. 响应面法优化藏药绿萝花总黄酮的超声波辅助提取工艺[J]. 中国药房, 2015, 26(25): 3 565.
- [11] Concepcion SM, Jose AL. Free radical scavenging capacity and inhibition of lipid oxidation of wines, grape juices and related polyphenolic constituent[J]. *Food Res Int*, 1999, 32(7): 407.
- [12] 卫生部. GB/T5009.37-1996 食品植物油卫生标准的分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 306.

(收稿日期: 2016-01-05 修回日期: 2016-03-21)

(编辑: 刘 萍)