

· 研究报告 ·

不同产地姜黄属植物中姜黄素类成分及矿质元素分析

杨小芳¹, 陈育才², 刘建福^{1*}, 李丹丹¹, 胡娴¹

¹华侨大学园艺系, 厦门 361021; ²南安市丰州镇农业服务中心, 泉州 362330

摘要 以福建泉州地区种植的12个姜黄(*Curcuma longa*)和莪术(*Curcuma zedoaria*)种质的成熟根茎为试材, 采用正交设计法优化姜黄素(CCM)、单脱甲氧基姜黄素(DMC)和双脱甲氧基姜黄素(BDMC)的提取工艺条件, 比较不同产地姜黄属种质的3种姜黄素类化合物和16种矿质元素的含量。结果表明, 姜黄素类化合物提取工艺为: 100%甲醇, 1:5 (g·mL⁻¹)固液比, 超声提取2分钟, 提取率达到最高值。CCM、DMC和BDMC的最大吸收波长分别为424、418及414 nm; 回归方程分别为 $Y=0.170\ 3X+0.024\ 3$ (CCM), $Y=0.173\ 8X+0.041$ (DMC), $Y=0.140\ 6X+0.051\ 4$ (BDMC)。GY03种质中CCM、DMC和BDMC含量分别为1.23%、1.22%与1.50%, 总姜黄素类含量最高, 达3.95%; GY01种质的总姜黄素次之(为3.82%); GY03和GY01可在栽培地推广种植; 12个姜黄属种质的16种矿质元素中, 以Mg、Mn、Al、Fe和Zn含量较为丰富。

关键词 姜黄, 莪术, 姜黄素类化合物, 矿质元素, ICP-MS

杨小芳, 陈育才, 刘建福, 李丹丹, 胡娴 (2019). 不同产地姜黄属植物中姜黄素类成分及矿质元素分析. 植物学报 54, 335–342.

姜黄(*Curcuma longa*)和莪术(*Curcuma zedoaria*)为姜科(Zingiberaceae)姜黄属(*Curcuma*)多年生草本植物, 主要分布在中国东南至西南部(江苏、浙江、福建、广东、广西、四川和云南等省)亚热带季风气候区(陈钦等, 2017)。姜黄和莪术生长习性及其形态类似; 莪术花茎由根茎单独发出, 花期3–5月, 叶脉中部具紫色晕; 姜黄花茎由叶鞘中抽出, 花期在8月, 叶片绿色且体积大于莪术(谢忠艳, 2010)。姜黄和莪术的根茎作为中药材应用已有上千年的历史, 姜黄属植物的药用记载始于《唐本草》, “其性味辛、苦, 温, 入心、肝、脾经, 可行气破淤, 通经止血”(付兴会和林连美, 2015)。近年来, 随着现代生物医学的发展, 姜黄和莪术的药用价值与保健功效被进一步开发。姜黄属植物主要活性成分有姜黄素类化合物和挥发油物质, 及糖类、树脂类、生物碱和微量元素等, 姜黄素类在姜黄中的含量为3%–6% (杨模坤等, 1984; Sandeep et al., 2017)。姜黄素类化合物具有抗氧化、抗肿瘤、治疗II型糖尿病、抑制血栓形成、治疗抑郁症、清除自由基及抗微生物等药理作用(胡静和李立,

2007)。中药材中微量元素与人体健康、疾病防治及中医药的关系密切(顾永祚等, 2007; 张翼等, 2008; 张少梅等, 2009); 其是决定中药寒、凉、温、热四性的主要因素之一(陈少东等, 2010), 也可协同中药材有效成分发挥其药理作用, 对药效有着特定影响。

姜黄和莪术属于道地药材, 不同产地姜黄素类化合物含量差异显著, 优良品种按照规范栽培, 才能保证品质(梁立娟等, 2012)。姜黄素类化合物包括姜黄素(CCM)、单脱甲氧基姜黄素(DMC)和双脱甲氧基姜黄素(BDMC) (陆鹏等, 2006), 三者结构与理化性质接近, 较难分离。近年来, 姜黄研究主要集中在总姜黄素(孙鹏尧等, 2016; 史明彪等, 2017)和代谢产物调控(刘建福等, 2014, 2015)等方面。目前, 提取姜黄素类常用的方法有回流提取法(董赫等, 2012)、微波辅助提取法(Wakte et al., 2011; 王丽娜等, 2012)和超声辅助提取法(王志辉等, 2008; 曹雁平和矫庆泽, 2010; 唐小清等, 2013; 张艳等, 2015; 周培培等, 2015)。由于微量元素对中药材的药效有特定的影响, ICP-MS (Inductively coupled plasma mass spectrometry)法

收稿日期: 2018-10-17; 接受日期: 2019-02-20

基金项目: 福建省产业技术创新项目(No.闽发改高技[2014]514号)和泉州市科技计划项目(No.2018N001)

* 通讯作者。E-mail: jianfu@hqu.edu.cn

在微量元素分析上具有超痕量和多元素分析的技术优势(谭镭等, 2009)。因此, 本研究收集不同产区的12个姜黄属植物种质在福建省泉州地区进行规范栽培, 以其成熟根茎为材料, 采用超声波辅助提取法提取姜黄素类化合物, 并优化其提取工艺条件, 分析12种姜黄属种质材料成熟根茎的3种姜黄素类化合物含量, 采用ICP-MS方法测定12个姜黄属种质的16种微量元素含量, 并筛选出优良种质进行推广栽培, 为福建省姜黄和莪术的高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省泉州市台商投资区洛阳镇西塘村的泉州市现代农业科技园区生产基地(E118°38'-119°05', N24°49'-25°15')。该地区属亚热带海洋性季风气候, 年均降雨量1 000–1 800 mm, 干、湿季分明, 3–9月降水量占全年的80%; 全年平均气温为19.5–21.0°C, ≥10°C的有效积温为5 610–7 250°C; 年日照时数为1 800–2 200小时, 全年无霜期长, 基本无霜。土壤类型为壤土, 微酸性, 富钾缺磷, 复合肥力中等, 排灌方便。

1.2 设计方法

供试材料购自广西南宁、四川成都、浙江温州和福建龙岩等地, 12个姜黄(*Curcuma longa* L.)和莪术(*Curcuma zedoaria* (christm.) Rosc)种质编号分别为GY01、GY02(莪术)、GY03、GY04、GJYX、GJHP、GJQS、GJHX、YJHS、YJLX(莪术)、HJGG和HJNN(莪术)。于2015–2017年在试验基地种植, 2017年1月采收。采用随机区组设计, 12个种质, 2次重复, 共24个小区, 每小区面积为4 m×6 m, 小区隔离行0.5 m; 行距×株距=70 cm×45 cm, 每穴1块姜黄或莪术, 每小区54穴。种植前将发酵沤制的基肥放入种植穴, 植物根茎芽头朝上, 覆土6–10 cm。采用喷灌系统进行水分管理, 其它田间管理参照黄锦媛等(2008)的栽培方法, 待地上部分完全干燥后采收根茎。

1.3 测定方法

1.3.1 姜黄类化合物含量

(1) 确定最大吸收波长 称取姜黄素、单脱甲氧基和

双脱甲氧基姜黄素标准品各0.010 0 g, 分别置于100 mL容量瓶中。加入甲醇溶解并稀释至刻度, 摇匀, 制成浓度为100.0 μg·mL⁻¹的3种姜黄类化合物标准储备液。分别取贮备液1.0 mL, 置于3个10 mL容量瓶中, 用甲醇稀释并定容, 得到10 μg·mL⁻¹标准品溶液。然后进行200–800 nm全波长扫描, 获取吸光度(A)与波长曲线, 通过曲线吸光度最大值得到姜黄素类的最大吸收波长。

(2) 绘制标准曲线 准确量取标准贮备液(100.0 μg·mL⁻¹) 0.25、0.50、0.75、1.00和1.25 mL置于5个25 mL容量瓶中, 加甲醇稀释至刻度, 摇匀。制成1.0、2.0、3.0、4.0和5.0 μg·mL⁻¹系列标准溶液。在确定的最大吸收波长下测定, 记录吸光度值, 绘制标准曲线, 进行线性回归。

(3) 优化提取工艺 称取1.00 g姜黄粉放入50 mL离心管中, 采用超声波辅助提取法(冯甜华等, 2016)按L₉(3⁴)对甲醇浓度(A)、固液比(B)和提取时间(C)进行正交提取, 以姜黄素类化合物含量为考察指标。1 000 ×g离心5分钟, 取50 μL上清液置于10 mL离心管中, 无水甲醇定容(刘莉等, 2016), 在最大吸收波长下测定吸光度(n=3), 获得姜黄素类最佳提取工艺条件。

(4) 测定方法 姜黄和莪术成熟根茎清洗去皮后, 121°C高温灭菌6小时, 80°C烘箱中烘干, 粉碎过120目筛, 制得姜黄或莪术粉。称取1.0 g姜黄或者莪术粉置于50 mL离心管中, 利用最佳工艺条件进行提取, 1 000 ×g离心5分钟, 获得姜黄素类化合物提取液。在最大吸收波长下测定吸光度(n=3), 通过标准曲线计算提取液中姜黄素类化合物的含量。

1.3.2 姜黄属植物矿质元素含量

(1) 仪器工作条件 本实验中微波消解仪的运行程序见表1, ICP-MS仪器参数设置见表2。

(2) 样品前处理 将供试样品清洗去皮, 分成小

表1 微波消解程序

Table 1 Digestion procedure of microwave

Step	Temperature (°C)	Power (J·S ⁻¹)	Time (min)	Fan level	Stirrer
Power ramp		500	8	1	Off
Power hold		500	5	1	Off
Power ramp		1000	8	1	Off
Power hold		1000	25	1	Off
Cooling	70	–	–	3	Off

表2 ICP-MS主要工作参数

Table 2 Operating parameters of ICP-MS

Parameters	Value
Plasma gas (L·min ⁻¹)	15.00
Auxiliary gas (L·min ⁻¹)	1.000
Atomizing gas (L·min ⁻¹)	1.000
Compensation/dilution gas (L·min ⁻¹)	1.000
Spray chamber temperature (°C)	2
Peristaltic pump speed (rps)	0.1

块, 80℃烘箱中烘干, 粉碎备用。精密称量12份姜黄属种质样品各0.250 0 g, 置于聚四氟乙烯高压微波消解罐中, 分别加浓硝酸6 mL, 赶酸仪预消解30分钟, 降温、装罐、放进腔体, 微波消解1小时, 赶酸仪赶酸30分钟, 降温, 吸取1–2 mL消解剩余样品液放入50 mL容量瓶, 以少量超纯水洗涤高压消解内罐和盖子3–4次, 洗液合并至瓶中, 定容混匀。用0.22 μm滤膜过滤, 转移至15 mL离心管中待上机测试, 同时制备空白样品(沈梅, 2009)。

(3) 标准曲线的绘制 将100 μg·mL⁻¹多元素标准溶液逐级稀释为0.1、1、10和100 ng·mL⁻¹系列标准溶液, 待上机测试(廖婉等, 2018), 以2%硝酸溶液作为空白, 获得16种元素的标准曲线。

(4) 待测样品的检测 将12份姜黄属种质的待测溶液依次进样, 分别进行Al、Ba、Be、Cd、Co、Cu、Fe、Ga、Mg、Mn、Ni、Sr、Ti、Tl、V和Zn共16种元素的质量浓度测定分析。

1.4 数据分析

所有数据均采用Microsoft Excel 2003软件处理。

2 结果与讨论

2.1 姜黄素类化合物的紫外吸收光谱测定方法

姜黄素类化合物包括姜黄素(CCM)、单脱甲氧基姜黄素(DMC)和双脱甲氧基姜黄素(BDMC)。本研究对浓度为10 μg·mL⁻¹的3种姜黄类化合物标准品溶液进行200–800 nm紫外分光光度计全波长扫描, 得到波长与吸光度的紫外图谱(图1)。姜黄素、单脱甲氧基和双脱甲氧基姜黄素的最大吸收波长分别为424、418和414 nm。

对3种姜黄素类化合物进行系列浓度测定, 获得

如下回归方程: CCM的线性方程为 $Y=0.170\ 3X+0.024\ 3$, 相关系数 $R=0.996\ 8$; DMC的线性方程为 $Y=0.173\ 8X+0.041\ 4$, 相关系数 $R=0.999\ 3$; BDMC的线性方程为 $Y=0.140\ 6X+0.051\ 4$, 相关系数 $R=0.999\ 7$ 。线性范围为1.0–5.0 μg·mL⁻¹说明呈良好的线性关系。

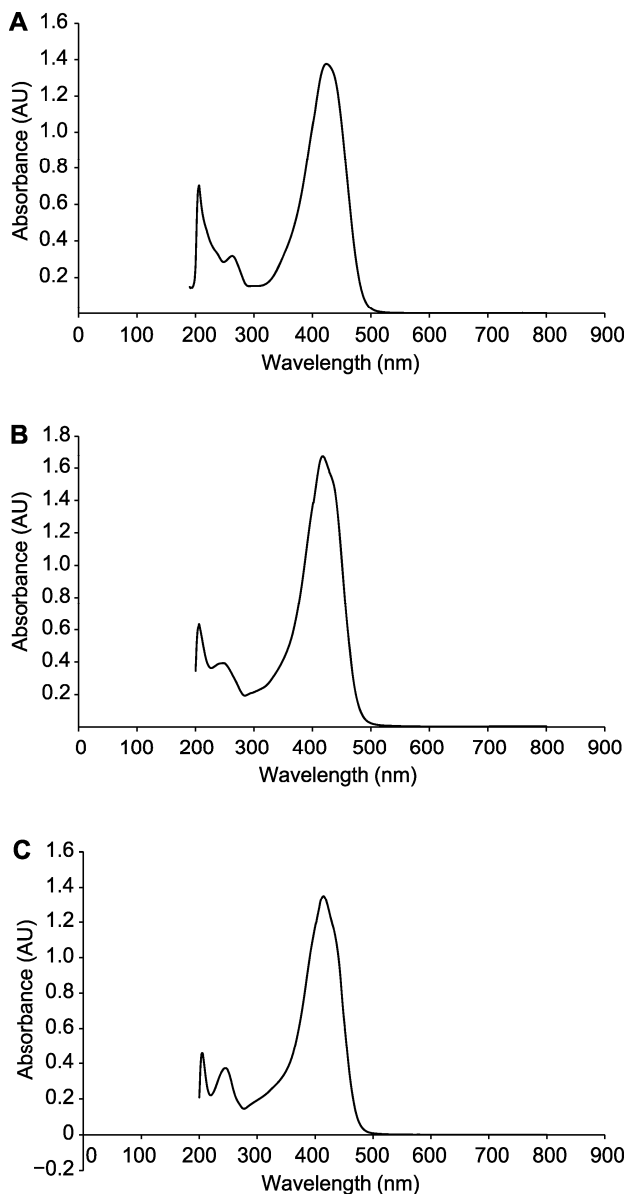


图1 CCM (A)、DMC (B)和BDMC (C)标准品溶液的紫外图谱
CCM: 姜黄素; DMC: 单脱甲氧基姜黄素; BDMC: 双脱甲氧基姜黄素

Figure 1 UV spectrum of CCM (A), DMC (B), and BDMC (C) standard solutions

CCM: Curcumin; DMC: Demethoxycurcumin; BDMC: Bisdemethoxycurcumin

2.2 超声波辅助法提取姜黄素类的工艺条件

依据 $L_9(3^4)$ 正交表对甲醇浓度(100%、85%和70%)、固液比(1:4、1:5和1:6)和超声时间(1、2和3分钟) 3个因素进行工艺条件优化实验, 结果(表3)显示, 3种姜黄素类化合物提取效果的影响因素均为 $A>B>C$ 。即甲

醇浓度(A)对提取率的影响显著, 固液比(B)影响不显著, 超声提取时间(C)对实验结果无影响。3种姜黄素类化合物的最佳提取工艺为 $A_1B_2C_1$, 即在以100%甲醇为溶剂、固液比1:5 ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、超声提取2分钟时CCM、DMC和BDMC的提取率均最高。

表3 正交试验结果

Table 3 Orthogonal test results

Experiment number	A		B	C	D	CCM content (%)	DMC content (%)	BDMC content (%)
	Methanol concentration (%)		Solid-liquid ratio ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)	Ultrasonic time (min)	Empty column			
1	100 (1)		1:4 (1)	2 (1)	1	0.39	0.38	0.46
2	1		1:5 (2)	4 (2)	2	0.52	0.51	0.61
3	1		1:6 (3)	6 (3)	3	0.39	0.37	0.44
4	85 (2)		1	2	3	0.25	0.24	0.28
5	2		2	3	1	0.42	0.40	0.48
6	2		3	1	2	0.31	0.29	0.35
7	70 (3)		1	3	2	0.23	0.22	0.26
8	3		2	1	3	0.23	0.22	0.26
9	3		3	2	1	0.23	0.21	0.25
CCM	K ₁	1.30	0.87	0.93	1.04			
	K ₂	0.98	1.17	1.00	1.06			
	K ₃	0.69	0.93	1.04	0.87			
	k ₁	0.43	0.29	0.31	0.35			
	k ₂	0.33	0.39	0.33	0.35			
	k ₃	0.23	0.31	0.35	0.29			
	R	0.20	0.10	0.04	0.06			
DMC	K ₁	1.26	0.84	0.89	0.99			
	K ₂	0.93	1.13	0.96	1.02			
	K ₃	0.65	0.87	0.99	0.83			
	k ₁	0.42	0.28	0.30	0.33			
	k ₂	0.31	0.38	0.32	0.34			
	k ₃	0.22	0.29	0.33	0.28			
	R	0.20	0.10	0.03	0.06			
BDMC	K ₁	1.51	1.00	1.07	1.19			
	K ₂	1.11	1.35	1.14	1.22			
	K ₃	0.77	1.04	1.18	0.98			
	k ₁	0.50	0.33	0.36	0.40			
	k ₂	0.37	0.45	0.38	0.41			
	k ₃	0.26	0.35	0.39	0.33			
	R	0.24	0.12	0.03	0.08			

CCM、DMC和BDMC同图1。CCM, DMC and BDMC see Figure 1.

表4 12个姜黄和莪术种质根茎中姜黄素类化合物含量的比较
Table 4 Comparison of curcuminoid compounds in rhizomes of 12 germplasms of *Curcuma longa* and *C. zedoaria*

Variety	CCM content (%)	DMC content (%)	BDMC content (%)	Total curcumin content (%)
GY03	1.23	1.22	1.50	3.95
GY01	1.19	1.18	1.45	3.82
YJHS	1.06	1.05	1.29	3.40
GJHP	0.58	0.56	0.67	1.81
GJYX	0.35	0.33	0.40	1.08
GJQS	0.25	0.25	0.28	0.78
HJCG	0.23	0.22	0.26	0.71
GY04	0.22	0.21	0.25	0.68
GJHX	0.16	0.16	0.19	0.51
YJLX	0.07	0.06	0.07	0.20
HJNN	0.07	0.06	0.07	0.20
GY02	0.03	0.02	0.02	0.07

CCM、DMC和BDMC同图1。CCM, DMC and BDMC see Figure 1.

2.3 不同产地姜黄属植物中姜黄素类化合物的变化

12个姜黄和莪术种质中姜黄素类化合物含量差异明显(表4)。GY03、GY01和YJHS的姜黄素类化合物含量高于其它种质, 而YJLX、HJNN和GY02含量最低。GY03总姜黄素含量最高, 且BDMC、DMC和CCM含量均高于其它种质; 3种莪术种质YJLX、HJNN和GY02总姜黄素含量最低, 且BDMC、DMC和CCM含量均显著低于其它种质。不同品种的姜黄素含量差异可达几十倍, 莪术种质中姜黄素类化合物的含量较少, 姜黄GY03的总姜黄素含量是莪术GY02的56.43倍。因此, 品种特性是姜黄素类化合物含量差异显著的根本原因, 制备中药时应根据姜黄植物来源考虑所用剂量。

2.4 矿质元素标准曲线方程

使用ICP-MS仪器测试多元素混合标准溶液, 绘制标准曲线并计算出回归方程及相关系数。所得结果(表5)显示, 在线性范围0–100 ng·mL⁻¹内, Al、Ba、Be、Cd、Co、Cu、Fe、Ga、Mg、Mn、Ni、Sr、Ti、Tl、V及Zn共16种元素的线性关系较好, 相关系数范围为0.990 4–1.000 0。

2.5 不同产地姜黄属植物矿质元素的变化

姜黄和莪术种质的矿质元素含量存在差异(表6)。12

种姜黄属种质中16种矿质元素的含量差异很大, 说明姜黄属植物中含有相近的元素成分; 其中, Mg含量最高, 其次是Mn, Be含量最少。不同产地姜黄属植物中个别矿质元素的含量存在差异, 其中GJQS种质的Al含量是GJYX种质的17倍, Fe含量是YJHS种质的6倍。12种姜黄属种质均含有人体必需的微量元素Fe、Cu、Zn、Mn、Co、Sr和Ni等; Mg是人体需要的宏量元素且在姜黄中属于宏量元素, 有害元素Cd在不同姜黄属种质中的含量均未超过0.5 mg·kg⁻¹。

表5 线性回归方程及相关系数
Table 5 Linear regression equations and correlation coefficients

Element	Linear regression equation	Correlation coefficient
²⁷ Al	Y=0.0062X+0.0635	0.9983
¹³⁷ Ba	Y=0.0043X+0.0033	0.9997
⁹ Be	Y=0.0260X	1.0000
¹¹¹ Cd	Y=0.0285X–2.9371E-005	1.0000
⁵⁹ Co	Y=1.6282X+0.0206	1.0000
⁶³ Cu	Y=1.4942X+0.1912	1.0000
⁵⁶ Fe	Y=0.6704X+4.7793	0.9979
⁶⁹ Ga	Y=0.1868X+0.0320	1.0000
²⁴ Mg	Y=0.0325X–0.0631	0.9958
⁵⁵ Mn	Y=0.2312X+0.0369	1.0000
⁶⁰ Ni	Y=0.5521X+0.0492	1.0000
⁸⁸ Sr	Y=0.0339X–0.0089	1.0000
⁴⁷ Ti	Y=0.0096X+0.0057	1.0000
²⁰⁵ Tl	Y=0.0789X–9.5059E-006	1.0000
⁵¹ V	Y=0.5372X+0.0078	1.0000
⁶⁶ Zn	Y=0.1656X+0.7115	0.9904

2.6 讨论

随着过度采挖和自然环境破坏的加剧, 我国野生姜黄属药用植物资源逐渐减少, 人工种植姜黄已成为姜黄属药材的主要来源。姜黄的长期人工栽培导致品种退化严重, 有效成分含量降低, 品质变差。我国相关生产企业多数从印度和缅甸进口姜黄素。因此, 对国内姜黄属药用植物资源收集与优异种质筛选等方面进行研究, 将有助于更加清楚地了解姜黄属药用植物资源的现状, 合理开发利用姜黄属植物资源。

姜黄素类化合物具有很大的市场与药用潜力, 但因其难溶于水且体外易氧化, 故从植物中提取较为困

表6 12个姜黄和莪术种质根茎中矿质元素含量的比较

Table 6 Comparison of mineral elements in rhizomes of 12 germplasms of *Curcuma longa* and *C. zedoaria*

Variety	Quality score (mg·kg ⁻¹)															
	Al	Ba	Be	Cd	Co	Cu	Fe	Ga	Mg	Mn	Ni	Sr	Ti	Tl	V	Zn
GY03	53.28	15.47	0.00	0.05	0.19	4.62	49.43	4.02	2516.60	330.74	0.10	11.64	1.60	0.15	0.05	40.12
GY01	107.33	23.95	0.01	0.05	0.22	7.81	74.10	6.45	2342.13	137.41	0.16	12.44	1.91	0.16	0.06	70.06
YJHS	29.96	21.05	0.01	0.24	0.24	6.67	23.12	2.89	1482.64	284.59	0.20	9.35	1.50	0.15	0.05	62.79
GJHP	113.11	15.37	0.01	0.41	0.47	4.32	51.43	4.19	1689.62	304.13	0.16	14.73	4.24	0.15	0.18	51.33
GJYX	13.62	18.12	0.01	0.43	0.37	7.55	60.71	2.59	1745.52	250.38	0.08	13.25	0.88	0.26	0.05	58.44
GJQS	224.21	18.37	0.01	0.08	0.23	6.46	138.65	3.68	2443.95	195.78	0.10	16.48	4.15	0.10	0.28	54.51
HJCG	89.33	12.87	0.00	0.50	0.30	6.20	91.73	3.14	2588.57	293.92	0.15	10.80	1.28	0.15	0.11	38.77
GY04	152.67	17.31	0.01	0.30	0.46	6.24	125.42	4.26	3027.62	492.75	0.08	17.28	2.10	0.17	0.13	83.69
GJHX	56.54	11.05	0.01	0.31	0.34	5.49	101.39	2.80	2721.11	437.41	0.05	14.18	0.71	0.16	0.03	70.53
YJLX	35.70	8.17	0.00	0.09	0.11	4.40	34.42	2.01	1598.89	291.26	0.03	8.30	0.44	0.20	0.03	46.33
HJNN	37.88	9.02	0.01	0.09	0.24	3.31	44.30	2.25	1584.92	417.02	0.02	10.44	0.45	0.36	0.03	58.61
GY02	57.45	8.90	0.01	0.25	0.38	5.67	77.38	2.12	1991.98	382.80	0.04	11.44	0.62	0.06	0.04	56.35

难。为拓宽姜黄素的临床应用，改善其提取工艺是必经之路。近年来对其提取方面的研究主要集中在总姜黄素上，本研究则对3种姜黄素类化合物分别进行了提取优化。相比传统的溶剂提取法及微波辅助提取法，超声辅助提取法操作简单且效率高。对超声波辅助提取法中甲醇浓度、固液比和超声时间3个因素进行工艺条件优化，结果表明甲醇浓度对CCM、DMC和BDMC提取效果影响最大，超声时间影响最小。正交实验得到的超声波辅助提取法提取姜黄素类化合物的最佳工艺条件为100%甲醇，固液比1:5 (g·mL⁻¹)，提取时间2分钟。该方法操作简便、省时、高效并对姜黄素类化合物活性的影响较小。

12种姜黄属种质的姜黄素类化合物含量差异很大，不同品种总姜黄素含量差异可达几十倍；且3种姜黄素类化合物含量在种间差异较大，种内差异很小。本研究的12个姜黄属种质中CCM含量介于0.03%–1.23%之间，DMC则为0.02%–1.22%，BDMC为0.02%–1.5%。CCM、DMC和BDMC单体结构上依次相差1个甲氧基，极性从CCM到BDMC依次增大，说明用甲醇作溶剂提取姜黄素类化合物，提取量与极性大小无关，而与根茎中姜黄素类化合物含量多少相关。实验结果表明，GY03和GY01种质姜黄素类化合物含量较高，可作为生产姜黄素类化合物的优良育种材料在栽培地推广种植；3个莪术种质中BDMC、

DMC、CCM和总姜黄素含量均显著低于姜黄种质，故不适宜作为生产姜黄素的中药材。姜黄素类化合物含量在不同种与不同居群间差异很大。9种姜黄种质的姜黄素化合物中BDMC含量均最高，且BDMC含量高的其DMC与CCM含量也高，而3个莪术种质的3种姜黄素化合物含量普遍不高，且彼此之间差异不显著。特定的环境赋予植物特有生长特征，包括次生代谢物的合成与积累。杨海玲等(2016)使用一测多评法测定了多种广西姜黄饮片中总姜黄素的平均含量(为2.59%)。相比原产地广西，福建泉州地区种植的姜黄种质总姜黄素平均含量较高(为3.89%)，说明除了遗传特性，姜黄成分的含量还受环境因子的影响。

姜黄和莪术均含人体必需的微量元素(Fe、Cu、Zn、Mn、Co、Sr和Ni)及人体需要的矿质元素(Mg)。微量元素对疾病的预防及治疗有重要作用(薛福玲等, 2010)。中药中的微量元素不仅影响药效，而且直接参与或协同中药材有效成分发挥其药理作用，对生物体特别是对人体有着极其重要的生理和病理意义(舒薇等, 2015)。本研究中的12种姜黄属种质均含有16种矿质元素且含量差异不大，说明姜黄属植物含有相近的元素成分。相比姜黄种质，3种莪术种质YJLX、HJNN以及GY02的矿质元素含量差异更小，说明其同源性更高，药效更相近。不同产地姜黄属种质的矿质元素含量与其生长土壤所含的矿质元素有一定的关

系。本研究中将不同产地姜黄属种质在同一地区进行规范栽培,可排除土壤中矿质元素对姜黄属种质的干扰,对规范姜黄属优良种质的种植有重要意义。从矿质元素含量特征来看,12个姜黄属种质的含量存在一定差异,这与种质来源有一定相关性。因此,矿质元素可作为姜黄属植物道地性评价的指标。

参考文献

- 曹雁平, 矫庆泽 (2010). 粒度、液料比和乙醇体积分数对姜黄素超声间歇浸取的影响. 北京理工大学学报 **30**, 1000–1004.
- 陈钦, 高俊杰, 刘建福, 陈育才, 庄卫东, 林金秀, 张平泉 (2017). 姜黄不同种质生物学特性及品质成分比较. 云南农业大学学报 **32**, 101–105.
- 陈少东, 陈剑平, 陈福北 (2010). ICP-MS/ICP-AES法测定姜黄中的无机元素. 中国调味品 **35**(8), 102–104.
- 董赫, 殷钟意, 郑旭煦 (2012). 珊瑚姜中姜黄素回流提取工艺条件的优化. 贵州农业科学 **40**(9), 213–215, 221.
- 冯甜华, 侯长军, 霍丹群, 马懿 (2016). 姜黄素不同提取方法比较研究. 应用化工 **45**, 1011–1014.
- 付兴会, 林连美 (2015). 中药姜黄主要有效成分药理学研究进展. 湖北中医药大学学报 (4), 109–110.
- 顾永祚, 顾兴平, 徐敏 (2007). 中药川黄柏中有效化学元素的分析研究. 世界元素医学 **14**(4), 43–49.
- 胡静, 李立 (2007). 姜黄素药理作用研究现状. 检验医学与临床 **4**, 1186–1187.
- 黄锦媛, 周全光, 庞新华 (2008). 不同管理措施对姜黄产量的影响. 广西热带农业 (6), 17–18.
- 梁立娟, 庞新华, 黄慧芳, 黄锦媛 (2012). 固定栽培模式下年度间不同姜黄品种品质比较. 农业研究与应用 (2), 8–11.
- 廖婉, 高天慧, 林美斯, 张保献, 傅超美 (2018). 姜黄属中药重金属元素与道地性的相关性研究. 中草药 **49**, 2833–2839.
- 刘建福, 王明元, 唐源江, 范燕萍, 钟书淳, 陈钦 (2014). 光质对姜黄生理特性及根茎次生代谢的影响. 植物生理学报 **50**, 1871–1879.
- 刘建福, 王明元, 唐源江, 杨晨, 钟书淳, 陈钦, 范燕萍 (2015). 水杨酸和一氧化氮对姜黄生长及次生代谢产物的影响. 园艺学报 **42**, 741–750.
- 刘莉, 赵振东, 刘志荣, 韩刚 (2016). 不同溶剂对姜黄中姜黄素类化合物提取率的比较. 湖北中医药大学学报 **18**, 33–35.
- 陆鹏, 童强松, 姜凤超, 陈方敏, 郑丽端, 张胜民, 曾甫清, 董继华 (2006). 姜黄素前体药物的合成及其体外抗肿瘤活性研究. 中国药理学通报 **22**, 321–324.
- 沈梅 (2009). 微波消解-ICP-MS法测定抗艾滋病中药材姜黄中的5种重金属元素. 中国卫生检验杂志 **19**, 1265–1266, 1377.
- 史明彪, 张文, 刘河, 刘丽宏 (2017). 紫外-可见分光光度法定量测定姜黄素及其载体药物方法的优化. 国际药学研究杂志 **44**, 366–368.
- 舒薇, 高秋, 周芥锋, 谭双, 吕瑞 (2015). 火焰原子吸收光谱法测定中药莪术及姜黄中的微量元素含量. 微量元素与健康研究 **32**(6), 34–35.
- 孙鹏尧, 李丹丹, 牟德华 (2016). 响应面法优化超声波辅助提取姜黄素类化合物工艺及动力学分析. 中国食品添加剂 (12), 99–108.
- 谭锺, 吕昊, 詹雁, 徐超群 (2009). 微波消解-ICP-MS法测定金银花和白芷中5种有害重金属元素. 中国测试 **35**(6), 78–80.
- 唐小清, 高苏亚, 范涛 (2013). 中药姜黄中姜黄素的超声提取法条件的选择. 广州化工 **41**(17), 101–105.
- 王丽娜, 李坚柱, 刘彩琴 (2012). 响应面法优化微波辅助提取姜黄中姜黄素工艺的研究. 食品工业科技 **33**(20), 248–250, 254.
- 王志辉, 蔡洁, 周建敏 (2008). 正交实验优化紫色姜中总姜黄素的提取工艺. 化学与生物工程 **25**(10), 76–78.
- 谢忠艳 (2010). 姜黄莪术郁金的鉴别. 中外医疗 **29**(15), 143.
- 薛福玲, 蔺志铎, 韩明, 吴冬青 (2010). 三种中药材微量元素测定及其多糖抗氧化性研究. 中药材 **33**, 293–296.
- 杨海玲, 吴丽丹, 覃德杰, 张益, 肖荣昌, 朱彦霖 (2016). 一测多评法同时测定广西姜黄饮片3种姜黄素类成分含量. 药物分析杂志 **36**, 1571–1577.
- 杨模坤, 董晓萍, 唐耀书 (1984). 姜黄化学成分的研究. 植物学通报 **2**(2–3), 51–52.
- 张少梅, 王恒山, 陈振锋, 潘英明, 梁宏 (2009). ICP-AES测定广西巴豆不同部位中的十种微量元素. 广西植物 **29**, 774–776, 743.
- 张艳, 段雪芹, 高刚, 苟学梅, 王茜, 邓家彬, 周永红, 杨瑞武 (2015). 响应面法优化姜黄素的提取工艺及其抗氧化活性的研究. 食品工业科技 **36**(6), 269–273.
- 张翼, 徐子刚, 唐弥尧 (2008). 药食两用中药材中元素含量的测定. 浙江大学学报(理学版) **35**, 550–552, 556.
- 周培培, 杜欣韵, 刘宁芝, 王松林, 蒋建兰 (2015). 姜黄素类化合物不同提取方法的工艺优化和比较. 现代化工 **35**(6),

132–135.

Sandeep IS, Das S, Nasim N, Mishra A, Acharya L, Joshi RK, Nayak S, Mohanty S (2017). Differential expression of *CURS* gene during various growth stages, climatic condition and soil nutrients in turmeric (*Curcuma longa*): towards site specific cultivation for high curcumin yield.

Plant Physiol Biochem **118**, 348–355.

Wakte PS, Sachin BS, Patil AA, Mohato DM, Band TH, Shinde DB (2011). Optimization of microwave, ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. *Sep Purif Technol* **79**, 50–55.

Analysis of Curcuminoids and Mineral Elements in *Curcuma* from Different Habitats

Xiaofang Yang¹, Yucai Chen², Jianfu Liu^{1*}, Dandan Li¹, Xian Hu¹

¹Department of Horticulture, Huaqiao University, Xiamen 361021, China; ²Agricultural Service Center of Fengzhou Town Nan'an City, Quanzhou 362330, China

Abstract In this study, the mature rhizomes of 12 germplasms of *Curcuma longa* and *C. zedoaria* from different origins cultivated in Fujian, Quanzhou, were used as experimental materials. The orthogonal design method was used to optimize the extraction of curcumin (CCM), demethoxycurcumin (DMC) and bisdemethoxycurcumin (BDMC), and the content of 3 curcuminoids and 16 mineral elements in different germplasms were compared. The extraction rate peaked with the following extraction process: 100% methanol as solvent, 1:5 (g·mL⁻¹) solid-liquid ratio, and ultrasonic extraction for 2 min. The maximum absorption wavelengths for CCM, DMC and BDMC were 424, 418 and 414 nm, respectively. The linear equations for the 3 curcuminoids were $Y=0.170\ 3X+0.024\ 3$ (CCM), $Y=0.173\ 8X+0.041$ (DMC), and $Y=0.140\ 6X+0.051\ 4$ (BDMC). The content of CCM, DMC and BDMC in GY03 was 1.23%, 1.22% and 1.50%, respectively, and that of total curcumin was the highest, 3.95%; The content of total curcumin in GY01 was next, up to 3.82%. GY03 and GY01 can be promoted in cultivated land as excellent breeding material. Among the 16 mineral elements detected in 12 turmeric, the contents of Mg, Mn, Al, Fe, and Zn were relatively abundant.

Key words *Curcuma longa*, *C. zedoaria*, curcuminoids, mineral elements, ICP-MS

Yang XF, Chen YC, Liu JF, Li DD, Hu X (2019). Analysis of curcuminoids and mineral elements in *Curcuma* from different habitats. *Chin Bull Bot* **54**, 335–342.

* Author for correspondence. E-mail: jianfu@hqu.edu.cn