

# 三峡库区不同海拔高度桔梗中重金属的含量测定与分析<sup>Δ</sup>

姜登军<sup>1\*</sup>, 黄 娇<sup>2,3#</sup>(1.重庆市万州食品药品检验所, 重庆 404100; 2.重庆三峡医药高等专科学校, 重庆 404120; 3.重庆市抗肿瘤天然药物工程技术研究中心, 重庆 404120)

中图分类号 R917 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2017)12-1687-05  
DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2017.12.29

**摘要** 目的:建立同时测定桔梗药材中重金属含量的方法,并探索海拔高度对桔梗药材重金属含量的影响。方法:采用氢化物发生法、氢化物发生法、石墨炉法、火焰法、石墨炉法分别测定药材中砷(As)、汞(Hg)、铅(Pb)、铜(Cu)、镉(Cd)的含量。采用SPSS 19.0软件对数据进行聚类分析和相关性分析。结果:As、Hg、Pb、Cu、Cd检测质量浓度线性范围分别为0~16 μg/L( $r=0.996\ 0$ )、0~18 μg/L( $r=0.999\ 6$ )、0~50 μg/L( $r=0.999\ 7$ )、0~0.8 μg/L( $r=0.999\ 0$ )、0~4 μg/L( $r=0.998\ 0$ );检测限分别为 $1.3\times 10^{-3}$ 、 $2.4\times 10^{-4}$ 、 $1.9\times 10^{-3}$ 、0.33、 $1.8\times 10^{-4}$  mg/kg;定量限分别为 $4.4\times 10^{-3}$ 、 $8.0\times 10^{-4}$ 、 $6.2\times 10^{-3}$ 、1.1、 $6.0\times 10^{-3}$  mg/kg;精密性、稳定性、重复性的RSD<3.0%,加样回收率分别为99.1%~107.1%(RSD=3.13%, $n=6$ )、94.1%~100.5%(RSD=2.36%, $n=6$ )、98.9%~104.8%(RSD=1.81%, $n=6$ )、92.7%~100.3%(RSD=2.92%, $n=6$ )、96.6%~99.9%(RSD=1.26%, $n=6$ )。海拔高度相近的样品聚成了一类;各元素的含量随着海拔升高而降低,5种重金属间有显著相关性。结论:该方法操作简便,精密度、稳定性、重复性好,可用于桔梗药材中重金属含量的同时测定;海拔因素对桔梗药材的品质有一定影响。

**关键词** 三峡库区;桔梗;海拔高度;重金属;含量

## Analysis and Contents Determination of Heavy Metals in *Platycodon grandiflorus* at Different Altitudes in the Three Gorges Reservoir Area

JIANG Dengjun<sup>1</sup>, HUANG Jiao<sup>2,3</sup>(1.Chongqing Wanzhou Institute for Food and Drug Control, Chongqing Wanzhou 404100, China; 2.Chongqing Three Gorges Medical College, Chongqing 404120, China; 3. Chongqing Engineering Research Center of Antitumor Natural Drugs, Chongqing 404120, China)

**ABSTRACT** OBJECTIVE: To establish the method for simultaneous determination of heavy metals in *Platycodon grandiflorus*, and to explore the effects of altitude on the contents of heavy metals. METHODS: The contents of As, Hg, Pb, Cu and Cd were determined by hydride generation, hydride generation method, graphite furnace method, flame spectrometry, graphite furnace method. SPSS 19.0 software was adopted for clustering analysis and correlation analysis. RESULTS: The linear ranges of As, Hg, Pb, Cu and Cd were 0-16 μg/L( $r=0.996\ 0$ ), 0-18 μg/L( $r=0.999\ 6$ ), 0-50 μg/L( $r=0.999\ 7$ ), 0-0.8 μg/L( $r=0.999\ 0$ ) and 0-4 μg/L( $r=0.998\ 0$ ). Detection limit were  $1.3\times 10^{-3}$ ,  $2.4\times 10^{-4}$ ,  $1.9\times 10^{-3}$ , 0.33,  $1.8\times 10^{-4}$  mg/kg. Quantitation limit were  $4.4\times 10^{-3}$ ,  $8.0\times 10^{-4}$ ,  $6.2\times 10^{-3}$ , 1.1,  $6.0\times 10^{-3}$  mg/kg. RSDs of precision, stability and repeatability tests were all lower than 3.0%. Recoveries were 99.1%-107.1%(RSD=3.13%, $n=6$ ), 94.1%-100.5%(RSD=2.36%, $n=6$ ), 98.9%-104.8%(RSD=1.81%, $n=6$ ), 92.7%-100.3%(RSD=2.92%, $n=6$ ), 96.6%-99.9%(RSD=1.26%, $n=6$ ). Samples with similar altitudes were clustered into a class; the contents of heavy metals decreased as the increase of altitude; there was significant correlation among 5 heavy metals. CONCLUSIONS: The method is simple, precise, stable and repeatable, and can be used for simultaneous determination of heavy metals' contents in *P. grandiflorus*. The altitude has a certain effect on the quality of *P. grandiflorus*.

**KEYWORDS** Three gorges reservoir area; *Platycodon grandiflorus*; Altitude; Heavy metal; Content

桔梗为桔梗科植物桔梗 *Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC.的干燥根,具有宣肺、利咽、祛痰和排脓之功效,可用于咳嗽痰多、胸闷不畅、咽痛音哑、肺痛吐脓等症的治疗<sup>[1]</sup>。桔梗主要分布于我国东北、华北以及

Δ 基金项目:重庆市教委科学技术研究项目(No.KJ131801、KJ1725388);重庆市高等职业院校新技术推广项目(No.GZ-TG201603)

\* 主管药师。研究方向:食品药品分析与评价。E-mail: 15503141@qq.com

# 通信作者:讲师。研究方向:中药质量分析与评价。E-mail: huangjiao1108@126.com

贵州、四川等地,在朝鲜、日本和东西伯利亚地区的南部也有分布,生长于海拔2 000 m以下的阳处草丛、灌丛中<sup>[2]</sup>。桔梗作为药食两用的传统中药,因具有营养、保健、防病治病等多种功能而越来越受到人们的重视。近年来,海内外学者对桔梗中多种成分,特别是三萜皂苷类成分的药理活性进行了较多研究<sup>[3-5]</sup>。三峡地区桔梗大多种植在500~1 500 m处,为综合评价桔梗药材质量,人工规范化种植基地环境条件筛选和保证临床用药安全提供科学依据,本课题组从多方面研究了海拔因素对桔梗药材质量的影响<sup>[6-8]</sup>。随着对中药重金属含量的

重视,对桔梗药材中重金属含量研究就显得非常必要。本课题组采用原子吸收分光光谱法测定其砷(As)、汞(Hg)、铅(Pb)、铜(Cu)、镉(Cd)的含量,旨在为三峡库区桔梗药材的重金属控制和安全食用提供参考依据。

## 1 材料

### 1.1 仪器

AE240型电子分析天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];EH20A型电热板(北京莱伯泰科仪器设备有限公司);PinAAcle 900T型原子吸收分光光度计(美国PerkinElmer公司);MARS6型智能微波消解仪(美国CEM公司)。

### 1.2 试剂

As、Hg、Pb、Cu、Cd标准品溶液(国家标准物质研究中心,批号分别为GSB04-17422004、GSB04-17422004、GSB04-17422004、GSB04-17422004、GSB04-17422004,质量浓度均为1 000  $\mu\text{g/mL}$ );试验所用试剂均为分析纯,水为超纯水。

## 1.3 药材

桔梗药材于2014年采自三峡库区不同海拔高度(见表1),药材采集后清洗去除泥沙,刮去根皮后干燥,即得药材样品,经重庆万州食品药品检验所孟家安教授鉴定为真品。

表1 桔梗药材来源

编号	来源/海拔,m	编号	来源/海拔,m
1	奉节/1 000	7	万州/500
2	奉节/1 250	8	万州/600
3	奉节/1 500	9	万州/700
4	开县/800	10	万州/800
5	开县/1 200	11	万州/900
6	开县/1 500	12	万州/1 000

## 2 方法与结果

### 2.1 仪器测定条件

仪器测定条件见表2。

### 2.2 溶液的制备

表2 仪器测定条件

Tab 2 Instrumental determination condition

测定条件	As	Hg	Pb	Cu	Cd
测定方法	氢化物发生法	氢化物发生法	石墨炉法	火焰法	石墨炉法
测定光源	砷无极放电灯	汞无极放电灯	铅空心阴极灯	铜空心阴极灯	镉空心阴极灯
灯电流,mA	380	185	10	15	4
狭缝宽度,nm	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
波长,nm	193.7	253.65	283.3	324.75	228.8
干燥温度/时间, $^{\circ}\text{C}/\text{s}$			130/30		130/15
灰化温度/时间, $^{\circ}\text{C}/\text{s}$			800/20		300/20
原子化温度/时间, $^{\circ}\text{C}/\text{s}$			1 600/5		1 500/5
背景校正			塞曼效应		塞曼效应
还原剂	1%硼氢化钠和0.3%氢氧化钠溶液	0.5%硼氢化钠和0.1%氢氧化钠溶液			
载液	1%盐酸溶液(1 $\rightarrow$ 100)	1%盐酸溶液(1 $\rightarrow$ 100)			
读数方式	峰面积	峰面积	峰面积	峰面积	峰面积
测量方法	标准曲线法	标准曲线法	标准曲线法	标准曲线法	标准曲线法

2.2.1 标准品溶液 (1)As:取As标准品溶液1.0 mL,置于100 mL量瓶中,加0.2%硝酸溶液定容,制成As质量浓度为10  $\mu\text{g/L}$ 的标准品贮备液。取上述As标准品贮备液1.0 mL,置于100 mL量瓶中,加0.2%硝酸溶液定容,得As质量浓度为100  $\mu\text{g/L}$ 的标准品溶液。精密量取上述As标准品溶液0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 mL,分别置于25 mL量瓶中,分别精密加25%碘化钾溶液1 mL,摇匀,加10%抗坏血酸溶液1 mL,摇匀,加盐酸溶液(20 $\rightarrow$ 100)定容,摇匀,密塞,置于80  $^{\circ}\text{C}$ 水浴中加热3 min,取出,放冷,得As质量浓度分别为0、2、4、8、12、16  $\mu\text{g/L}$ 的系列标准品溶液。(2)Hg:按“2.2.1(1)”项下方法制成Hg质量浓度为100  $\mu\text{g/L}$ 的标准品溶液。精密量取上述Hg标准品溶液0、1.0、3.0、5.0、7.0、9.0 mL,置于5 mL量瓶中,分别精密加20%硫酸溶液0.5 mL,5%高锰酸钾溶液10 mL,摇匀,滴加5%盐酸羟胺溶液至紫红色恰好消失,加水定容,摇匀,得Hg质量浓度分别为0、2、6、10、14、18  $\mu\text{g/L}$ 的系列标准品溶液。(3)Pb:按“2.2.1(1)”项下方法制成Pb质量浓度为100  $\mu\text{g/L}$ 的标准品溶液A。量取

上述Pb标准品溶液A 1.0 mL,置于10 mL量瓶中,加0.2%硝酸溶液定容,制成Pb质量浓度为10  $\mu\text{g/L}$ 的标准品溶液B;另取上述Pb标准品溶液A 5.0 mL,置于10 mL量瓶中,用0.2%硝酸溶液定容,制成Pb质量浓度为50  $\mu\text{g/L}$ 的标准品溶液C。取上述Pb标准品溶液B、C各适量,加0.2%硝酸溶液制成Pb质量浓度分别为0、5、10、20、40、50  $\mu\text{g/L}$ 的系列标准品溶液。(4)Cu:按“2.2.1(1)”项下方法制成Cu质量浓度为10  $\text{mg/L}$ 的标准品贮备液。取上述Cu标准品贮备液1.0 mL,置于10 mL量瓶中,加0.2%硝酸溶液定容,制成Cu质量浓度为1  $\mu\text{g/mL}$ 的标准品溶液。精密量取上述Cu标准品溶液0、0.25、1、2、3、4 mL,置于10 mL量瓶中,加0.2%硝酸溶液定容,得Cu质量浓度分别为0、0.05、0.2、0.4、0.6、0.8  $\mu\text{g/L}$ 的系列标准品溶液。(5)Cd:按“2.2.1(1)”项下方法制成Cd质量浓度为100  $\mu\text{g/L}$ 的标准品溶液A。取上述Cd标准品溶液A 1.0 mL,置于25 mL量瓶中,加0.2%硝酸溶液定容,得Cd质量浓度为4  $\mu\text{g/L}$ 的标准品溶液。取上述Cd标准品溶液适量,加0.2%硝酸溶液制成质量浓度

分别为0、0.8、1、2、3、4 μg/L的系列标准品溶液。

2.2.2 供试品溶液 (1)Pb:取药材样品粗粉0.2 g,精密称定,置于聚四氟乙烯消解罐内,加硝酸9 mL、氢氟酸0.5 mL和30%过氧化氢溶液0.5 mL,混匀,盖上内盖,旋紧外套,置于微波消解炉中进行消解。消解完全后,取消解内罐置电热板上缓缓加热至红棕色蒸气挥尽,并继续缓缓浓缩至2 mL,放冷,加水定容至25 mL,摇匀,制成Pb供试品溶液。缺药材样品,同法制备空白对照溶液。(2)As:取“2.2.2(1)”项下空白对照溶液和Pb供试品溶液各10.0 mL,置于250 mL量瓶中,加入25%碘化钾溶液1 mL,摇匀,加10%抗坏血酸溶液1 mL,摇匀,用盐酸溶液(20→100)定容,摇匀,密塞,置于80℃水浴中加热3 min,取出,放冷,制成As供试品溶液。缺药材样品,同法制备空白对照溶液。(3)Hg:取药材样品粗粉0.2 g,精密称定,置于聚四氟乙烯消解罐内,加硝酸9 mL、氢氟酸0.5 mL和30%过氧化氢溶液0.5 mL,混匀,盖上内盖,旋紧外套,置于微波消解炉中进行消解。120℃赶酸,放冷,精密加20%硫酸溶液2 mL,5%高锰酸钾溶液0.5 mL,摇匀,滴加5%盐酸羟胺溶液至紫红色恰好消失,移至10 mL量瓶中,用水洗涤容器,洗液合并于量瓶中,加水定容,摇匀,制成Hg供试品溶液。缺药材样品,同法制备空白对照溶液。(4)Cu:按“2.2.2(1)”项下方法制备Cu供试品溶液和空白对照溶液。(5)Cd:按“2.2.2(1)”项下方法制备Cd供试品溶液和空白对照溶液。

### 2.3 线性关系考察

精密量取“2.2.1”项下As、Hg、Pb、Cu、Cd系列标准品溶液各适量,按“2.1”项下仪器工作条件进样测定,记录吸光度。以待测元素质量浓度(x, μg/L)为横坐标,吸光度(y)为纵坐标进行线性回归,得回归方程与线性范围,详见表3。

表3 回归方程、线性范围与定量限、检测限

Tab 3 Regression equation, linear range and detection limit, quantitation limit

待测元素	回归方程	r	线性范围, μg/L	定量限, mg/kg	检测限, mg/kg
As	$y=0.01497x+0.00688$	0.9960	0~16	$4.4 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^{-3}$
Hg	$y=0.00779x-0.00193$	0.9996	0~18	$8.0 \times 10^{-4}$	$2.4 \times 10^{-4}$
Pb	$y=0.00168x+0.00094$	0.9997	0~50	$6.2 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-3}$
Cu	$y=0.08485x+0.00169$	0.9990	0~0.8	1.1	0.33
Cd	$y=0.04765x+0.00486$	0.9980	0~4	$6.0 \times 10^{-3}$	$1.8 \times 10^{-4}$

### 2.4 定量限与检测限考察

精密量取“2.2.2”项下各待测元素空白对照溶液各适量,按“2.1”项下仪器工作条件进样测定,以检测结果的3倍标准偏差除以标准曲线斜率作为各待测元素的检测限,10倍标准偏差作为定量限,详见表3。

### 2.5 精密度试验

取“2.2.1”项下各待测元素标准品溶液(As、Hg、Pb、Cu、Cd标准品溶液质量浓度分别为2、2、5、0.05、0.8 μg/mL)各适量,按“2.1”项下仪器工作条件连续进样测定6次,记录吸光度。结果,As、Hg、Pb、Cu、Cd吸光度的RSD分别为1.47%、0.98%、0.92%、1.32%、1.66% (n=

6),表明仪器精密度良好。

### 2.6 稳定性试验

取“2.2.2”项下各供试品溶液(编号:1)各适量,分别于室温下放置0、2、4、8、12、24 h时按“2.1”项下仪器工作条件进样测定,记录吸光度。结果,As、Hg、Pb、Cu、Cd吸光度的RSD分别为1.25%、1.97%、2.92%、1.52%、1.69% (n=6),表明供试品溶液在室温放置24 h内基本稳定。

### 2.7 重复性试验

精密称取同一批样品(编号:1)适量,按“2.2.2”项下方法制备供试品溶液,共6份,再按“2.1”项下仪器工作条件进样测定,记录吸光度。结果,As、Hg、Pb、Cu、Cd吸光度的RSD分别为1.4%、1.7%、2.1%、2.5%、2.0% (n=6),表明本方法重复性良好。

### 2.8 加样回收率试验

取已知含量样品(编号:1)适量,共6份,分别加入一定质量的待测元素标准品,按“2.2.2”项下方法制备供试品溶液,再按“2.1”项下仪器工作条件进样测定,记录吸光度并计算加样回收率,结果见表4。

表4 加样回收率试验结果(n=6)

待测元素	取样量, g	样品含量, μg/g	加入量, μg	测得量, μg/g	加样回收率, %	平均加样回收率, %	RSD, %			
As	0.2485	0.4801	0.32	0.80394	101.2	102.7	3.13			
	0.2634	0.5003	0.32	0.83822	105.6					
	0.2511	0.4910	0.32	0.83372	107.1					
	0.2496	0.4861	0.32	0.80546	99.8					
	0.2530	0.4921	0.32	0.82234	103.2					
	0.2603	0.5049	0.32	0.82202	99.1					
	Hg	0.2485	0.0142	0.36	0.35656			95.1	96.3	2.36
		0.2634	0.0159	0.36	0.37770			100.5		
		0.2511	0.0149	0.36	0.36374			96.9		
		0.2496	0.0144	0.36	0.35316			94.1		
0.2530		0.0150	0.36	0.36132	96.2					
0.2603		0.0152	0.36	0.35792	95.2					
Pb		0.2485	0.501	0.10	0.6058	104.8	95.7	1.81		
		0.2634	0.582	0.10	0.6847	102.7				
		0.2511	0.521	0.10	0.6199	98.9				
		0.2496	0.511	0.10	0.6123	101.3				
	0.2530	0.528	0.10	0.6315	103.5					
	0.2603	0.565	0.10	0.6639	98.9					
	Cu	0.2485	10.03	1.6	11.5628	95.8			96.5	2.92
		0.2634	10.91	1.6	12.5148	100.3				
		0.2511	10.21	1.6	11.6932	92.7				
		0.2496	10.16	1.6	11.7232	97.7				
0.2530		10.45	1.6	11.9556	94.1					
0.2603		10.77	1.6	12.3428	98.3					
Cd		0.2485	0.0038	0.08	0.083728	99.91	98.28	1.26		
		0.2634	0.0054	0.08	0.083944	98.18				
		0.2511	0.0041	0.08	0.082492	97.99				
		0.2496	0.0039	0.08	0.081188	96.61				
	0.2530	0.0046	0.08	0.082592	97.49					
	0.2603	0.0049	0.08	0.084516	99.52					

### 2.9 样品含量测定

取12批样品各适量,分别按“2.2.2”项下方法制备供试品溶液,再按“2.1”项下仪器工作条件进样测定,记录

吸光度并计算样品含量,结果见表5。

表5 样品含量测定结果( $n=3, \mu\text{g/g}$ )

Tab 5 Results of contents determination of samples ( $n=3, \mu\text{g/g}$ )

编号	As	Hg	Pb	Cu	Cd
1	0.48	0.014	0.50	10.03	0.003 8
2	0.40	0.012	0.47	7.47	0.002 7
3	0.38	0.007	0.43	7.03	0.001 8
4	0.62	0.015	0.63	11.53	0.004 0
5	0.41	0.009	0.53	8.01	0.001 5
6	0.39	0.005	0.42	7.42	0.001 3
7	0.83	0.053	0.67	15.20	0.022 5
8	0.81	0.053	0.63	14.10	0.021 7
9	0.72	0.027	0.58	13.30	0.019 5
10	0.66	0.020	0.53	13.30	0.019 2
11	0.61	0.012	0.51	10.90	0.011 2
12	0.53	0.009	0.46	10.10	0.010 3

由表5可知,不同桔梗中重金属元素含量存在一定的差异,可能与其生长的土壤、空气等环境中重金属污染及品种的富集能力有关。根据《药用植物及制剂进出口行业绿色标准》对中药材重金属含量限值规定:  $\text{As} \leq 2.0 \text{ mg/kg}$ ,  $\text{Hg} \leq 0.2 \text{ mg/kg}$ ,  $\text{Pb} \leq 5.0 \text{ mg/kg}$ ,  $\text{Cu} \leq 20.0 \text{ mg/kg}$ ,  $\text{Cd} \leq 0.3 \text{ mg/kg}$ 。本研究结果表明,不同海拔高度的桔梗中重金属残留量有差异,但均远低于国家及行业标准中重金属的允许量。

### 2.10 聚类分析

利用 SPSS 19.0 统计软件对 12 批不同海拔高度的桔梗药材进行聚类分析,使数据分析的结果更具客观性,得聚类树状图,详见图1。

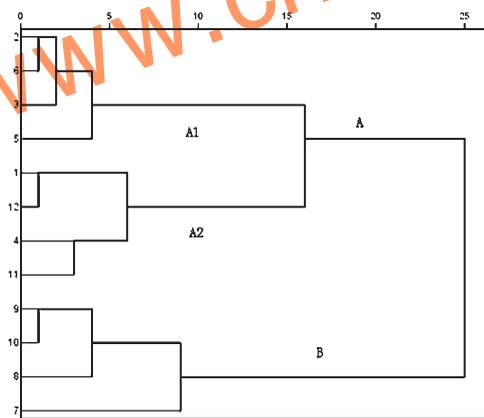


图1 聚类分析树状图

Fig 1 Dendrogram of cluster analysis

由图1可知,12批桔梗药材最终归为一类,可以分为A、B两大类,其中A类分为A1和A2类,S2、S6、S3、S5聚为A1类,S1、S12、S4、S11聚为A2类,S9、S10、S8、S7聚为B类,可以看出海拔高度相近的聚成了一类,A类的重金属含量比B类的含量要低些,质量稍好些。聚类结果也验证了含量测定结果。

### 2.11 相关性分析

采用 SPSS 19.0 统计软件对各重金属间进行相关性分析。结果表明,各元素之间均存在显著相关性,详见表6。

表6 重金属之间的 Pearson 相关系数

Tab 6 Pearson correlation coefficients among heavy metals

重金属元素	As	Hg	Pb	Cu	Cd
As	1				
Hg	0.879**	1			
Pb	0.860**	0.819**	1		
Cu	0.983**	0.838**	0.844**	1	
Cd	0.929**	0.831**	0.644*	0.927**	1

注: \* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关, \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

Note: \* correlation is significant at the 0.05 level (bilateral), \*\* correlation is significant at the 0.01 level (bilateral)

### 3 讨论

三峡库区位于南温带与亚热带过渡地带,加上主体地形地貌,使该地区具有高温、高湿、风力小、雾多、秋雨多、气象要素日差小等气候特点,其得天独厚的自然生态环境生存和繁衍了许多的药用植物。为了更好地指导桔梗的科学栽培,本试验对桔梗中的重金属 As、Hg、Pb、Cu、Cd 进行检测,结果表明 As、Hg、Pb、Cu、Cd 的含量分别为 0.38~0.83、0.005~0.053、0.42~0.67、7.03~15.20、0.001 3~0.022 5  $\mu\text{g/g}$ ,各元素的含量随着海拔升高而降低。由于重金属是评价药材品质的重要因素,因此本试验得出:高海拔的桔梗药材品质优于中低海拔,聚类分析结果也得到了验证。

许多学者在海拔这一因素对植物品质的影响方面做了大量工作,赵广琦等<sup>[9]</sup>研究表明,生长在低海拔地区的黄连质量显著高于高海拔地区;王惠珍等<sup>[10]</sup>研究表明,当归根中阿魏酸量随海拔升高而增加;张霁等<sup>[11]</sup>认为,海拔的升高会导致物种密度较少,随着海拔的增高,物种与黄连的竞争力减少,黄连从土壤中吸收的养分丰富,使根茎发育更好;周镁等<sup>[12]</sup>研究认为,宽叶缬草根总黄酮含量与海拔无密切相关性。这些研究结果说明,海拔对不同植物的影响程度不同,可能同一植物体内不同的成分对海拔变化的响应程度也不尽相同。

三峡库区地形特殊,更不能忽略海拔因子是影响药用植物分布及生长发育的重要环境因子<sup>[13]</sup>。潘红丽等<sup>[14]</sup>研究表明,海拔梯度造成的温度、水分和土壤肥力等环境异质性可能会极大地影响到植物的生长,从而导致植物生理生态适应性发生变化。三峡库区随着海拔升高而年降水量增多,薄雾天气相对较多。这可能是由于降

雨的频度和总量大于低中海拔处,受到雨水冲刷,使得高海拔的土壤中化肥和农药较低海拔处相应减少;也有可能是中低海拔处农工业废水及含有有害物质的固体废物废弃物的排放等原因,而高海拔药材生长在偏远的地区,受土壤、空气和水污染比较小<sup>[15]</sup>。

相关文献表明,我国目前的中药材重金属污染状况严重,使得我国中药的国际竞争力不高<sup>[16]</sup>。重金属问题已成为影响中药出口和阻碍我国中医药走向世界的主要问题,因此准确检测和限定重金属的含量是保障人民用药安全,促进中药走向国际化的关键<sup>[17-19]</sup>。重金属的潜在污染与药用植物生长环境、产地土壤、采收季节和加工仓储等许多复杂因素有关。不同产地也能造成重金属的污染程度有差异性,另一方面,不同的植物本身的遗传特性对重金属的富集能力也不同<sup>[20-22]</sup>。整体看来,12批不同海拔高度的桔梗的重金属含量都没有超过国家规定,5种重金属之间有显著的相关性,究竟是受共同的因素影响还是和药材的遗传性富集能力有关,值得进一步深入研究。三峡库区的桔梗药材中,重金属含量高海拔区低于中低海拔区,海拔因素对桔梗药材的品质有影响。因此,在人工规范化种植基地环境条件筛选时应考虑海拔这一影响因子,更好地提升桔梗药材品质,以保证临床用药安全。

### 参考文献

[1] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:一部[S].2015年版.北京:中国医药科技出版社,2015:277-279.

[2] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志[M].北京:科学出版社,2010:77.

[3] Choi JH, Hwang YP, Han EH, et al. Inhibition of acrolein-stimulated MUC5AC expression by Platycodon grandiflorum root-derived saponin in A549 cells[J]. *Food Chem Toxicol*, 2011, 49(9):2157-2166.

[4] Kim MS, Kim WG, Chung HS, et al. Improvement of atopic dermatitis-like skin lesions by Platycodon grandiflorum fermented by *Lactobacillus plantarum* in NC/Nga mice[J]. *Biol Pharm Bull*, 2012, 35(8):1222-1229.

[5] Yu JS, Kim AK. Platycodin D induces reactive oxygen species-mediated apoptosis signal-regulating kinase 1 activation and endoplasmic reticulum stress response in human breast cancer cells[J]. *J Med Food*, 2012, 15(8):691-699.

[6] 黄娇,姜登军.海拔高度对重庆产桔梗皂苷含量的影响

[J].*亚太传统医药*,2015,16(11):30-33.

[7] 黄娇,姜登军.不同海拔高度桔梗药材中3种桔梗皂苷含量的测定[J].*北方药学*,2015,5(12):12-13.

[8] 黄娇.指纹图谱和主成分分析法评价不同海拔高度的桔梗药材质量[J].*食品工业科技*,2015,13(36):309-320.

[9] 赵广琦,杜增平.不同海拔高度与不同株龄和月份对黄连质量和产量的影响[J].*中草药*,2002,33(12):1119-1121.

[10] 王惠珍,晋玲,张恩和.海拔对当归中阿魏酸量的影响及关键因子分析[J].*中草药*,2013,44(2):219-223.

[11] 张霁,蔡传涛,蔡志全,等.不同海拔云南黄连生物量和主要有效成分变化[J].*应用生态学报*,2008,19(7):1455-1461.

[12] 周镁,黄秀平,桂姗姗,等.海拔高度对黔产宽叶缬草根总黄酮含量的影响[J].*中药材*,2014,37(5):746-749.

[13] 唐仕欢,杨洪军,黄璐琦.论自然环境因子变化对中药药性形成的影响[J].*中国中药杂志*,2010,35(1):126-128.

[14] 潘红丽,李迈和,蔡小虎,等.海拔梯度上的植物生长与生理生态特性[J].*生态环境学报*,2009,18(2):722-730.

[15] 操武能,黎晓敏,马金花,等.重庆道地金银花中的重金属含量研究[J].*西南师范大学学报(自然科学版)*,2011,36(1):129-133.

[16] 赵连华,杨银慧,胡一晨,等.我国中药材中重金属污染现状分析及对策研究[J].*中草药*,2014,45(9):1199-1206.

[17] Efferth T, Kaina B. Toxicities by herbal medicines with emphasis to traditional Chinese medicine[J]. *Curr Drug Metab*, 2011, 12(10):989-996.

[18] 孙艳,赵余庆.药食同源品中重金属的检测方法与思考[J].*中草药*,2011,42(11):2351-2359.

[19] 栾爽,赵迎春,韩春晖,等.77种中药材中铅、镉残留量的测定与分析[J].*中国药房*,2015,26(12):1678-1681.

[20] 赵静,刘勇,张艾华,等.不同产地三七中重金属元素的含量测定及分析[J].*中国中药杂志*,2014,39(20):4001-4006.

[21] 杨岚,王红娟,师帅.12种不同产地铁皮石斛指纹图谱研究及重金属元素含量测定[J].*西北植物学报*,2014,34(10):2078-2084.

[22] 蒋磊,胡云飞,裴月梅,等.ICP-MS/ICP-OES法结合化学计量学分析法比较不同产地牡丹皮药材中无机元素的含量[J].*中国药房*,2016,27(12):1249-1253.

(收稿日期:2016-04-22 修回日期:2017-01-17)

(编辑:张静)