

柳小兰, 张清海, 林绍霞, 等. 贵州地产山银花重金属分布、富集特性研究 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43(7): 340–343.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.07.116

# 贵州地产山银花重金属分布、富集特性研究

柳小兰<sup>1</sup>, 张清海<sup>2</sup>, 林绍霞<sup>2</sup>, 何腾兵<sup>1</sup>, 林昌虎<sup>1,3</sup>, 高安勤<sup>1,4</sup>

(1. 贵州大学农学院, 贵州贵阳 550025; 2. 贵州省分析测试研究院, 贵州贵阳 550002;

3. 贵州省中国科学院天然产物化学重点实验室/贵州科学院, 贵州贵阳 550001; 4. 贵州省六盘水市农业委员会, 贵州六盘水 553000)

**摘要:**以铜(Cu)、铬(Cr)、砷(As)、铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)6种重金属为指标,采用电感耦合等离子体质谱法对山银花重金属含量进行检测,并对不同富集部位重金属含量进行相关性分析。结果表明,山银花各部位重金属含量分布规律各不相同,茎、叶、花中重金属含量顺序分别为 Cr>Cu>Pb>Cd>As>Hg, Cr>Pb>Cu>Cd>As>Hg、Cu>Cr>Cd>Pb>As>Hg;重金属在山银花植株不同部位的平均含量顺序为:Pb:叶>茎>花, Cr:茎>叶>花, As:叶>花>茎, Cu:花>茎>叶, Cd和Hg均为:花>叶>茎;茎与叶中的Cd、茎中的Pb与叶中的As、茎中的Cu与花中的Hg、叶中的Hg与花中的Pb、叶中的Cd与花中的Hg均达到显著水平,茎与叶中的Pb、茎中的Cu与叶中的Hg、茎中Cr与花中的Hg、叶中的Hg与花中的As均达到极显著水平;山银花的茎、叶、花对土壤中重金属元素的富集能力各不相同,对Cd的富集能力最强,是一种对Cd具超富集能力的植物。

**关键词:**山银花;重金属;分布特征;相关性;富集

**中图分类号:** X53      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2015)07-0340-04

中药材中重金属成分直接影响其使用的安全性<sup>[1]</sup>,铜

(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、汞(Hg)等重金属元素是中药材中经常被检测的元素<sup>[2-3]</sup>。有研究表明,这些重金属元素被人体吸收后,逐渐富集在人的体内很难排除<sup>[4-6]</sup>。目前,对中药材中重金属超标的问题尚缺乏专门、较为系统的研究,尤其对植株中各部位重金属元素的分布情况研究鲜有涉及<sup>[7-10]</sup>。2010年版《中国药典(一部)》<sup>[11]</sup>将忍冬科植物忍冬(*Lonicera japonica* Thunb.)的干燥花蕾或带初开的花单列为金银花,将忍冬科植物灰毡毛忍冬(*Lonicera macranthoides* Hand. - Mazz.)、红腺忍冬(*Lonicera hypoglauca*

收稿日期:2014-07-30

基金项目:贵州省中药现代化重大专项子课题1-4(编号:黔科合重大专项字[2012]6010号);中国科学院“西部之光”人才培养计划。

作者简介:柳小兰(1988—),女,贵州盘县人,硕士,从事土壤资源保护与利用研究。E-mail:952741179@qq.com。

通信作者:林昌虎(1963—),男,研究员,硕士生导师,从事环境科学研究。E-mail:linchanghu79@sina.com。

可以看出,平均回收率为96.42%,其相对标准偏差为0.49%。

表3 回收试验结果

重复	加标量 (mg/g)	测得量 (mg/g)	回收率 (%)	RSD (%)
1	0.093	0.089	95.69	0.49
2	0.093	0.090	96.77	
3	0.094	0.091	96.81	

### 3 结论

本试验结果表明,茄子皮中花青苷的最大吸收波长为530 nm,与文献报道的花青苷最大吸收波长在520~540 nm之间的数据相符。而反应平衡时间由于受到温度、湿度、提取时间等因素的影响,会有较大的差别;根据相关研究可以看出,反应平衡时间选择在90~110 min对试验不会有影响。通过精密度试验结果得出,茄子皮中花青苷的含量为0.120 mg/g,而根据加入回收法测得的平均回收率为96.42%,其相对标准偏差为0.49%,可知溶液中其他因素对花青苷含量测定的影响极小,可以忽略不计。总之,采用pH示差法对茄子皮中花青苷的含量进行定量分析,能有效地消除溶液中其他有机杂质对测定结果的影响,可信度较高,为今

后的茄子皮及其他植物果实中花青苷定量分析提供了一定的理论依据。

### 参考文献:

[1] 李兴国,于泽源. 花青苷的研究进展[J]. 北方园艺,2003(4): 6-8.  
[2] 李传欣,张 华,李景琳. 食用天然色素的应用及发展趋势[J]. 辽宁农业科学,2001(1):29-32.  
[3] 申爱民. 我国茄子生产概况及发展趋势[J]. 现代农业科技, 2007(21):64,67.  
[4] 霍琳琳,苏 平,吕英华. 分光光度法测定桑葚总花色苷含量的研究[J]. 酿酒,2005,32(4):88-89.  
[5] 孙婧超,刘玉田,赵玉平,等. pH示差法测定蓝莓酒中花色苷条件的优化[J]. 中国酿造,2011(11):171-174.  
[6] 刘洪海,张晓丽,杜 平,等. pH示差法测定烟73葡萄中花青素含量[J]. 中国调味品,2009,34(4):110-111,117.  
[7] 杨兆艳. pH示差法测定桑椹红色素中花青素含量的研究[J]. 食品科技,2007,32(4):201-203.  
[8] Fuleki T, Francis F J. Quantitative methods for anthocyanins:1. Extraction and determination of total anthocyanins in cranberries[J]. Journal of Food Science,1968,33(1):72-77.

Miq. )、华南忍冬 (*Lonicera confusa* DC. ) 和黄褐毛忍冬 (*Lonicera fulvotomentosa* Hsu et S. C. Cheng) 的干燥花蕾或带初开的花列为山银花<sup>[12]</sup>。本试验山银花为忍冬科植物,主要是灰毡毛忍冬的花蕾或初开的花<sup>[13]</sup>,为中医大宗用药,是国家重点治理的名贵中药材之一,具有清热解毒、凉散风热之功效,主治痈肿疔疮、喉痹、丹毒、热毒血痢、风热感冒、温病发热等症<sup>[14]</sup>。山银花不仅作为药材用于医疗,花卉用于绿化观赏,而且在食品、饲料、香精、化妆品领域具有较高的经济价值<sup>[15]</sup>。但是,由于山银花易受重金属污染,在很大程度上阻碍了山银花的 GAP 生产,并直接影响到患者的安全<sup>[16]</sup>。杨春等在对黔东南州 9 种药材重金属污染评价中指出,金银花未受到 Hg 和 As 的污染,但受到 Cd 的中度污染<sup>[17]</sup>;王锦芳等对金银花药材中重金属铅、镉含量进行分析发现,金银花药材中的铅、镉含量虽没有超标,但均有检出,重金属对中药材的污染相当普遍<sup>[18]</sup>。参考我国颁布的《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》对重金属的限量,本试验确定 As、Hg、Pb、Cu、Cd、Cr 6 种重金属为研究指标,以贵州省丹寨地产药材山银花种植基地为试验区域,研究重金属在黔产山银花茎、叶、花中的含量及富集特性,以期为山银花优质高产的无公害栽培和山银花种植业的可持续发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 药品与试剂

硝酸 (GR 级),德国 Merck 公司生产;重金属标准溶液 Agilent part #5183-4688,为 Cu、Pb、As、Cd、Cr、Hg(单标),浓度梯度均为 1、2、5、10、20 ng/mL;内标液 Agilent part #5188-6525,以 10% 硝酸为介质的 100 mg/L Li、Sc、Ge、Lu、Bi、Rn、In、Tb;调谐液 Agilent part #5184-3566,以 2% 硝酸为介质的 100 mg/L Li、Ge、Y、Co、Ti。超纯水,电阻率 >18.25 MΩ·cm。

1.2 仪器设备

AL204-IC 电子天平,瑞士梅特勒-托利多公司生产;Agilent 7500 a 型电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS),美国安捷伦科技公司生产;Milli-Q Synthesis 超纯水系统,美国 MILLIPORE 公司生产。

1.3 样品采集及处理

1.3.1 样品采集 2013 年 6 月,根据黔东南州丹寨县兴仁镇告左万村山银花基地样区地形地貌特点,采用 GPS 定位,采样点呈“S”形分布,均匀选取具有代表性的山银花植株;均

匀采集有代表性的山银花茎、叶、花样品,分别装袋标记,同时,对应山银花植株下方距树干 0.2~0.5 m,利用木制工具采集深度为 0~30 cm 的土壤样品 1 kg 左右,装入洁净聚乙烯塑料袋封装,写上编号,做好采样记录。每个样点采集样本 4 份,共采集 44 个样本。

1.3.2 样品的制备 采回的茎、叶、花以 90℃ 高温杀青 30 min,再以 60℃ 恒温烘干至恒质量;玻璃研钵磨碎,过 0.25 mm 尼龙筛;将过筛样品充分混匀,储存于塑料袋中备用。将采集的土壤样品剔除植物根、叶、石块等异物,置于通风处自然风干,研磨,分别过 0.25、2 mm 筛,储存于塑料袋中备用。

1.4 样品消化

土壤样品采用美国国家环保局标准方法 (USEPA-3050B) 消解,定容;植株样品分别加入 5 mL 硝酸、2 mL 双氧水,置于 170℃ 恒温干燥箱中加热 3 h,冷却、定容。以国家标准土壤样品 (GSS-2、GSS-5) 及国家标准植株样品 (GSV-2) 进行质量分析控制,设定样品重复数 10%~15%,每批样品设 2 个空白。

1.5 样品测定

采用电感耦合等离子体质谱仪进行测定,相关操作及条件参数为:载气流速 1.17 L/min,无辅助气流;采样深度 8.0 L/min,蠕动泵采样转速 0.1 r/s,积分时间 2 s;重复 3 次。

1.6 数据处理

用 Excel、DPS 软件对数据进行统计分析,计算各指标数据的标准偏差、变异系数及误差等。

2 结果与分析

2.1 山银花不同部位重金属含量分布

由表 1 可知,山银花植株中 Pb、Cr、As、Cd、Cu、Hg 含量变化范围分别在 0.00~17.44、0.70~105.77、0.00~0.74、0.73~3.10、3.76~10.01、0.00~1.59 mg/kg 之间。山银花植株不同部位的重金属分布规律各不相同,茎中重金属含量顺序为 Cr>Cu>Pb>Cd>As>Hg,其平均含量分别为 25.49、6.08、5.47、1.29、0.11、0.001 mg/kg;叶中重金属含量顺序为 Cr>Pb>Cu>Cd>As>Hg,其平均含量分别为 12.76、7.46、5.03、1.71、0.19、0.13 mg/kg;花中重金属含量顺序为 Cu>Cr>Cd>Pb>As>Hg,其平均含量分别为 6.86、5.19、1.87、0.39、0.16、0.15 mg/kg;重金属在山银花植

表 1 山银花不同部位的重金属含量

样品名称	样品数 (个)	Pb			Cr			As		
		变化范围 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	CV (%)	变化范围 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	CV (%)	变化范围 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	CV (%)
茎	11	0.60~14.13	5.47±4.81	87.83	1.41~105.77	25.49±30.64	120.21	0.02~0.18	0.11±0.05	45.77
叶	11	3.33~17.44	7.46±4.77	63.86	2.81~44.83	12.76±12.11	94.88	0.05~0.37	0.19±0.08	42.41
花	11	0.00~2.07	0.39±0.73	187.30	0.70~12.06	5.19±3.32	63.94	0.00~0.74	0.16±0.21	128.78
合计	33	0.00~17.44	4.44±3.43	77.31	0.70~105.77	14.48±15.36	106.05	0.00~0.74	0.16±0.11	73.66

样品名称	样品数 (个)	Cd			Cu			Hg		
		变化范围 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	CV (%)	变化范围 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	CV (%)	变化范围 (mg/kg)	平均值 (mg/kg)	CV (%)
茎	11	0.73~1.97	1.29±0.44	33.97	3.76~10.01	6.08±2.21	36.32	0.00~0.01	0.001±0.002	331.66
叶	11	0.78~3.03	1.71±0.72	41.94	3.77~7.54	5.03±1.28	25.48	0.00~1.05	0.13±0.33	245.21
花	11	1.13~3.10	1.87±0.64	34.04	5.32~8.06	6.86±1.03	15.02	0.00~1.59	0.15±0.48	315.91
合计	33	0.73~3.10	1.63±0.60	36.80	3.76~10.01	5.99±1.51	25.15	0.00~1.59	0.10±0.27	282.70

株不同部位的平均含量顺序为: Pb: 叶 > 茎 > 花; Cr: 茎 > 叶 > 花; As: 叶 > 花 > 茎; Cu: 花 > 茎 > 叶; Cd 和 Hg 均为: 花 > 叶 > 茎。从变异系数来看, 山银花植株中各重金属含量的变异程度为 Hg > Cr > Pb > As > Cd > Cu; 茎、叶、花中重金属变异系数分别在 33.97% ~ 331.66%、25.48% ~ 245.21%、15.02% ~ 282.70% 之间, 其中, 茎和叶中重金属变异程度均为 Hg > Cr > Pb > As, 花中 Hg 的变异系数最大, 为 282.70%, Pb 次之, Cu 最小, 变异系数为 15.02%, 这说明山银花茎和叶中的 Hg 和 Cr 及花中的 Hg 和 Pb 分布不均匀, 可能与植物不同部位对重金属的吸附特性有关。

根据《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》(WM/T 2—2004) 对 Cd、Hg、As、Pb、Cu 5 种重金属含量限值的规定: Cd ≤ 0.3 mg/kg、Hg ≤ 0.2 mg/kg、As ≤ 2.0 mg/kg、Pb ≤ 5.0 mg/kg、Cu ≤ 20.0 mg/kg 判断, 山银花植株花中的 Pb 含量未超标, 茎和叶中均超过限定值; 茎、叶和花中的 As、Cu 和 Hg 含量均未超标, 而 Cd 都已超标, 这可能与山银花对土壤中 Cd 有较强的吸附能力有关。

2.2 山银花不同部位间重金属含量的相关性分析

由表 2、表 3 和表 4 可知, 山银花茎中的 Hg 与叶和花中的 6 种重金属均无线性关系, 茎与叶中的 Cd、茎中的 Pb 与叶中的 As 均达到显著水平, 茎与叶中的 Pb、茎中的 Cu 与叶中的 Hg 均达到极显著水平; 花中的 Hg 与茎中的 Cu、Cr 分别达到显著、极显著水平; 叶中的 Hg 与花中的 Pb、As 分别达到显著、极显著水平, 叶中的 Cd 与花中的 Hg 达到显著水平; 除此之外, 其他元素间呈不同程度的相关性, 这说明山银花在生长过程中对不同重金属的吸收、迁移及富集等有较大的差异性。山银花茎、叶、花对 6 种重金属元素有相似的吸附强度, 并表现出一定程度的协同和拮抗作用, 其中, 茎中的 Cr 与花中的 Hg、叶中的 Hg 与花中的 As 协同作用最强, 其次为茎与叶中的 Pb; 拮抗作用最强的是茎中的 Cr 与叶中的 Pb 和花中的 Cd, 茎中的 Cu 与叶中的 Pb 次之。

表 2 山银花茎与叶之间重金属相关性分析

叶中重金属	与茎中重金属相关系数					
	Cr	As	Cd	Pb	Cu	Hg
Cr	0.21	-0.16	-0.25	0.01	0.12	0
As	-0.04	0.06	0.31	0.61*	-0.07	0
Cd	0.31	0.41	0.68*	-0.12	0.35	0
Pb	-0.47	-0.07	0.10	0.79**	-0.45	0
Cu	0.10	-0.06	-0.10	-0.17	0.36	0
Hg	0.31	0.48	0.55	-0.24	0.76**	0

注: \* 为 0.05 水平上显著相关, \*\* 为 0.01 水平上显著相关。下同。

植物对某种有毒元素的吸收超过阈值时, 会导致其体内承担主动运输作用的载体蛋白失活或抑制线粒体产生 ATP, 并向外分泌螯合剂, 导致植物根系对其他重金属的吸收减少<sup>[19]</sup>; 植物自身的解毒机制会将吸收到的一部分有毒元素通过有机酸或氨基酸螯合封存在液泡内<sup>[20-21]</sup>, 另一部分有毒元素则转运出细胞, 减少毒害, 而大多数超富集植物将重金属局限于根部以防止损害光合器官, 并通过增强某些生理作用达到此目的<sup>[22-23]</sup>。笔者认为, 山银花可能存在某种源-库调节机制, 如果花或叶中有毒元素含量达到阈值, 则抑制另一种有

毒元素向库运输, 减少毒害, 花和叶同时承担矿质元素库的作用; 叶也是光合作用有机产物的源, 减少源的有毒元素积累, 利于正常养分和有机物的积累, 符合生物趋利避害的自然规律。

表 3 山银花茎与花之间重金属相关性分析

花中重金属	与茎中重金属相关系数					
	Cr	As	Cd	Pb	Cu	Hg
]Cr	0.15	-0.56	-0.26	0.28	-0.41	0
As	-0.04	0.26	0.39	-0.11	0.40	0
Cd	-0.47	0.28	0.47	-0.03	0.19	0
Pb	-0.15	0.07	0.26	-0.18	0.26	0
Cu	0.22	-0.25	0.08	-0.31	0.07	0
Hg	0.86**	0.45	0.52	-0.18	0.58*	0

表 4 山银花叶与花之间重金属相关性分析

花中重金属	与叶中重金属相关系数					
	Cr	As	Cd	Pb	Cu	Hg
Cr	-0.02	0.56	-0.10	0.01	-0.26	-0.33
As	-0.18	-0.31	-0.17	-0.19	0.51	0.86**
Cd	-0.05	0.14	0.43	0.03	0.10	0.22
Pb	-0.28	0.14	-0.04	-0.36	0.25	0.66*
Cu	0.28	-0.12	0.53	-0.38	0.12	-0.10
Hg	0.09	0.07	0.60*	-0.21	-0.08	0.29

2.3 山银花不同部位对重金属的富集特征

植物吸收的元素主要来自土壤, 富集系数 (BCF)<sup>[24]</sup> 的大小表明植物对某种元素富集能力的强弱, 富集系数越高, 表明植物对该元素的吸收能力越强, 富集系数大于 1 是重金属超富集植物的评价标准之一<sup>[25-26]</sup>。由表 5 可知, 山银花茎、叶、花对土壤中重金属元素 Cd 的富集能力最强, 富集系数分别为 7.266、10.602、14.772, 其次为 Cu, 茎和花对 Cu 的富集系数分别为 1.037、1.634, 花对 Hg 的富集系数为 1.251, 富集系数均大于 1; 除 Pb 和 As 外, 叶和花对重金属的吸附能力均表现为: Cd > Cu > Hg > Cr; 茎对重金属的吸附能力表现为: Cd > Cu > Cr > Pb > As > Hg。Cd 在山银花体中的累积效应非常强, 山银花是 Cd 的超富集植物, 这与刘周莉等的研究结果<sup>[27]</sup> 一致, 值得进一步关注。

3 结论

(1) 山银花植株不同部位的中重金属含量分布规律各不相同。茎、叶、花中的重金属含量顺序分别为 Cr > Cu > Pb > Cd > As > Hg、Cr > Pb > Cu > Cd > As > Hg、Cu > Cr > Cd > Pb > As > Hg; 重金属在山银花植株不同部位的平均含量顺序为: Pb: 叶 > 茎 > 花, Cr: 茎 > 叶 > 花, As: 叶 > 花 > 茎, Cu: 花 > 茎 > 叶, Cd 和 Hg 均为: 花 > 叶 > 茎。

(2) 按照《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》得出, 山银花花中的 Pb 未超标, 茎和叶均超过限定值 5.0 mg/kg; 茎、叶和花中的 As、Cu 和 Hg 均未超标, 而 Cd 已超标, 这可能与山银花对土壤中的 Cd 有较强的吸附有关。

(3) 山银花不同部位的重金属含量变异程度不同。山银花植株中各重金属含量的变异程度为 Hg > Cr > Pb > As > Cd > Cu; 花中 Hg 的变异系数最大, Pb 次之, Cu 最小, 变异系数分别为 282.70%、187.25%、15.02%。这说明山银花茎

表 5 山银花不同部位对重金属的富集系数(以鲜质量计)

部位	Pb		Cr		As		Cd		Cu		Hg	
	平均含量 (mg/kg)	BCF	平均含量 (mg/kg)	BCF	平均含量 (mg/kg)	BCF	平均含量 (mg/kg)	BCF	平均含量 (mg/kg)	BCF	平均含量 (mg/kg)	BCF
茎	3.036	0.142	14.485	0.768	0.063	0.008	0.725	7.266	3.434	1.037	0.000 3	0.003
叶	4.631	0.216	8.017	0.425	0.119	0.015	1.058	10.602	3.145	0.950	0.085	0.908
花	0.319	0.015	4.082	0.217	0.129	0.017	1.475	14.772	5.410	1.634	0.118	1.251
土壤	21.426		18.855		7.764		0.100		3.312		0.094	

注:富集系数(BCF) = 山银花某个部位中元素平均含量/土壤中元素平均含量。

和叶中的 Hg 和 Cr 及花中的 Hg 和 Pb 分布不均匀,可能与植物不同部位对重金属的吸附特性有关。

(4)山银花茎中的 Hg 与叶和花中的 6 种重金属均无线性关系,茎与叶中的 Cd 达到显著水平、Pb 达到极显著水平,茎中的 Pb 与叶中的 As 达到显著水平,茎中的 Cu 与叶中的 Hg 达到极显著水平;花中的 Hg 与茎中的 Cu、Cr 分别达到显著、极显著水平;叶中的 Hg 与花中的 Pb、As 分别达到显著、极显著水平,叶中的 Cd 与花中的 Hg 达到显著水平,其余元素呈不同程度的相关性。山银花茎、叶、花对具有显著性相关的重金属元素存在相似的吸附强度。

(5)山银花茎、叶、花对土壤中重金属元素的富集能力不同。除 Pb 和 As 外,叶和花对重金属的吸附能力均表现为: Cd > Cu > Hg > Cr;茎对重金属的吸附能力表现为: Cd > Cu > Cr > Pb > As > Hg;茎、叶、花对土壤中重金属元素 Cd 的富集能力最强,富集系数分别为 7.266、10.602、14.772,Cd 在山银花体中的累积效应非常强,是 Cd 的超富集植物。

参考文献:

[1]李平,胡广林,罗盛旭,等. 智能型冷原子荧光测汞仪测定 10 种中药材中痕量汞[J]. 时珍国医国药,2008,19(3):535-536.

[2]秦樊鑫,胡继伟,张明时,等. 贵州省 GAP 基地 26 种中药材重金属含量调查与评价[J]. 中成药,2007,29(10):1483-1487.

[3]叶国华,宋学玲. 5 种中药材重金属含量的测定[J]. 时珍国医国药,2008,19(9):2220-2222.

[4]Savvides C,Papadopoulos A,Haralambous K J,et al. Sea sediments contaminated with heavy metals; metal speciation and removal[J]. Water Science and Technology,1995,32(9/10):65-73.

[5]Sin S N,Chua H,Lo W,et al. Assessment of heavy metal cations in sediments of Shing Mun River,Hong Kong[J]. Environment International,2001,26(5/6):297-301.

[6]Marchand C,Lallier V E,Baltzer F,et al. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the Mobile coastline of French Guiana[J]. Marine Chemistry,2006,98(1):1-17.

[7]伍庆,夏品华,刘燕,等. 贵州太子参种植基地土壤和药材中重金属及有机氯农药残留的研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(28):12478-12479.

[8]刘颖,张援虎,石任兵. 薄荷化学成分的研究[J]. 中国中药杂志,2005,30(14):1086-1088.

[9]曾建伟,钱士辉,吴锦忠,等. 薄荷非挥发性成分研究[J]. 中国中药杂志,2006,31(5):400-402.

[10]李正,杭悦宇,周义峰. 何首乌块根中砷、镉、汞和铅含量的检测及其富集特性[J]. 植物资源与环境学报,2005,14(2):

54-55.

[11]国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

[12]杨培,李建,徐蓓,等. 黔产山银花栽培品种的鉴定与含量测定[J]. 中国药业,2007(16):20-21.

[13]程若敏,梁晓乐,陈少容,等. 药用银花环境因子特性研究概况[J]. 中国实验方剂学杂志,2011,17(3):232-234.

[14]石钺,石任兵,陆蕴如. 我国药用金银花资源、化学成分及药理研究进展[J]. 中国药理学杂志,1999,34(11):6-9.

[15]赵进平. 岩山地区金银花种植技术[J]. 现代农业科技,2009(19):143-144.

[16]王昶,马少娜,魏大鹏,等. 中药材中重金属污染分析以及防治措施[J]. 天津科技大学学报,2005,20(3):12-16.

[17]杨春,成红砚,杨金笛. 黔东南州 9 种中药材重金属污染评价[J]. 贵州农业科学,2010,38(4):231-234.

[18]王锦芳,王纯健. 金银花药材中重金属铅、镉含量分析[J]. 海峡药学,2010,22(10):72-74.

[19]Callahan D L,Baker A J,Kolev S D,et al. Metal ion ligands in hyperaccumulating plants[J]. Journal of Biological Inorganic Chemistry,2006,11(1):2-12.

[20]Rausser W E. Structure and function of metal chelators produced by plants[J]. Cell Biochemistry and Biophysics,1999,31(1):19-48.

[21]van Steveninck R F M,Babare A,Fernando D R,et al. The binding of zinc in root-cells of crop plants by phytic acid[J]. Plant and Soil,1993,155/156(1):525-528.

[22]Verbruggen N,Hermans C,Schat H. Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation in plants[J]. New Phytologist,2009,181(4):759-776.

[23]Krämer U. Metal hyperaccumulation in plants[J]. Annual Review of Plant Biology,2010,61:517-534.

[24]黄昀,李道高,刘光德,等. 三峡库区柑橘对土壤重金属吸收富集特征研究[J]. 中国环境监测,2005,21(1):12-15.

[25]Caiy,Ma L Q. Metal tolerance, accumulation and detoxication in plants with emphasis on arsenic in terrestrial plants[C]//Proceedings of the ACS Symposium Series 835 on Biogeochemistry of Environmentally Important Trace Elements,2003:95-114.

[26]McGrath S P,Zhao F J. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils[J]. Current Opinion in Biotechnology,2003,14(3):277-282.

[27]刘周莉,何兴元,陈玮. 忍冬——一种新发现的镉超富集植物[J]. 生态环境学报,2013,22(4):666-670.