

# 黔产山银花及其产地土壤重金属含量分析与评价

柳小兰<sup>1,3</sup>, 张清海<sup>2</sup>, 林绍霞<sup>2</sup>, 何腾兵<sup>3</sup>, 林昌虎<sup>1,3,4</sup>, 高安勤<sup>3,5</sup>

(1. 贵州省中国科学院天然产物化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 贵州省分析测试研究院, 贵州 贵阳 550002; 3. 贵州大学 农学院, 贵州 贵阳

550025; 4. 贵州科学院, 贵州 贵阳 550001; 5. 六盘水市农业委员会, 贵州 六盘水 553000)

**摘要:** [目的] 探明黔产山银花及其产地土壤重金属污染特征, 为山银花品质保障、产地土壤重金属防控及规范化种植提供指导。[方法] 以贵州山银花及其产地土壤为供试样品, 采用 ICP-MS 测定重金属铜 (Cu)、砷 (As)、铅 (Pb)、镉 (Cd)、汞 (Hg)、铬 (Cr) 的含量, 采用单因子指数法和内梅罗综合指数法进行分析评价, 对黔产山银花及土壤重金属污染水平进行探讨。[结果] 结果表明: 土壤中 6 种重金属 As, Pb, Cd, Cr, Hg 和 Cu 平均含量分别为 9.79, 14.30, 0.10, 19.89, 0.12 和 3.81 mg/kg, 均未超标; 根区与非根区土壤的重金属综合污染指数分别为 0.46 和 0.83, 污染等级分别处于安全和警戒线。山银花中 Cr, As, Cd, Pb, Cu 平均含量分别为 5.19, 0.16, 1.87, 0.39 和 6.86 mg/kg, Hg 未检出; Hg, As, Pb, Cu 未超标, 而 Cd 远超出限量值, 超标率为 100%, 山银花对 Cd 中具有很强的富集效应。[结论] 研究区土壤环境质量总体适宜山银花种植。

**关键词:** 山银花; 土壤; 重金属; 污染指数; 评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0222-05

中图分类号: S151.9

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.107

## Analysis and Assessment of Heavy Metal Content of *Lonicera Hypoglauca* and Soil from its Producing Area in Guizhou Province

LIU Xiaolan<sup>1,3</sup>, ZHANG Qinghai<sup>2</sup>, LIN Shaoxia<sup>2</sup>, HE Tengbing<sup>3</sup>, LIN Changhu<sup>1,3,4</sup>, GAO Anqin<sup>3,5</sup>

(1. The Key Laboratory of Chemistry for Natural Products of Guizhou Province and

Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550002, China; 2. Guizhou Academy of Instrumental Analysis, Guiyang, Guizhou 550002, China; 3. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 4. Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550001, China; 5. Agriculture Committee of Liu Panshui, Liu Panshui, Guizhou 553000, China)

**Abstract:** [Objective] The purpose of this study is to research the heavy metal pollution of *Lonicera hypoglauca* and soil of its producing area, in order to provide guidance for quality guarantee, origin of prevention and control of soil heavy metals and good agricultural practices of *L. hypoglauca*. [Methods] We collected *L. hypoglauca* and the soil samples from Guizhou Province. The contents of Cu, As, Pb, Cd, Hg, Cr were detected by the ICP-MS. Single factor pollution index and comprehensive pollution index were calculated. [Results] The average contents of As, Pb, Cd, Cr, Hg and Cu in soil were 9.79, 14.30, 0.10, 19.89, 0.12 and 3.81 mg/kg, respectively, which satisfied the requirements of national standard (GB15 618—1995). The comprehensive soil pollution indexes at root zone and non-root zone were 0.46 and 0.83, respectively, which was safe and below the warning line. The average contents of Cr, As, Cd, Pb and Cu in flower were 5.19, 0.16, 1.87, 0.39 and 6.86 mg/kg, respectively, and Hg was not detected in the flower. The content of Hg, As, Pb and Cu satisfied the requirements of national standard (WM/T 2—2004). The average content of Cd was far beyond the limited level, indicating that *L. hypoglauca* had a strong ability to concentrate Cd. [Conclusion] Soil environmental quality in the study area is suitable for planting *L. hypoglauca*

**Keywords:** *Lonicera hypoglauca*; soil; heavy metal; pollution index; evaluation

收稿日期: 2014-07-30

修回日期: 2014-08-12

资助项目: 贵州省中药现代化重大专项项目“贵州地产石斛、半夏等 6 种中药材产地适宜性评价技术体系构建与应用示范”(黔科合重大专项字[2012]6010 号); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目

第一作者: 柳小兰(1988—), 女(汉族), 贵州省盘县人, 硕士研究生, 研究方向为土壤资源保护与利用。E-mail: 952741179@qq.com。

通信作者: 林昌虎(1961—), 男(汉族), 贵州省盘县人, 本科, 研究员, 硕士生导师, 从事环境科学研究工作。E-mail: linchanghu79@sina.com。

山银花 (*Lonicera hypoglauca*) 为忍冬科 (Caprifoliaceae) 植物, 主要是灰毡毛忍冬 (*Lonicera macranthoides* Hand. —Mazz.) 的花蕾或初开的花<sup>[1]</sup>, 山银花又名忍冬花, 为多年木质藤本, 常绿缠绕小灌木或直立小灌木<sup>[2]</sup>, 为中医的大宗用药, 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>[3]</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, 具有较高的经济价值<sup>[4]</sup>。但由于重金属的污染, 在很大程度上阻碍了山银花 GAP 的生产, 并直接影响到患者的安全<sup>[5]</sup>。杨春等<sup>[6]</sup>在黔东南州 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, 但是受到 Cd 的中度污染。王锦芳等<sup>[7]</sup>在金银花药材中重金属铅、镉含量分析中显示, 金银花药材中的铅、镉含量虽没有超标, 但均有检出, 表明重金属对中药材的污染相当普遍。此外, 土壤是中药材生产的最基本因素, 药材吸收的重金属主要来自于其生长的土壤, 土壤中重金属元素含量的高低, 对药材中重金属元素的含量有着直接的影响。茅向军等<sup>[8]</sup>测定了贵州不同地点栽培的杜仲中微量铅、砷、汞的含量, 发现种植土壤与药材间砷、汞的含量基本成正相关性。近年国家提出了《中药材生产质量管理规范认证管理办法(试行)》其中要求对产地生态环境进行监测, 包括土壤、灌溉水、大气环境等, 其中土壤测试主要内容包含重金属和有害元素<sup>[9]</sup>。因此, 本文对山银花土壤中的重金属和同块土地中生长的山银花内含重金属和有害元素的含量进行分析研究, 以期为高产优质山银花的栽培管理以及山银花的 GAP 基地建设提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

兴仁镇位于贵州省黔东南州南部、丹寨县北部, 地处东经 107°45′—107°57′, 北纬 26°14′—26°25′, 属亚热带湿润季风性气候, 四季分明、冬无严寒、夏无酷暑, 年平均温度 15.2 °C, 年降雨量 1 372.9 mm, 年平均日照 1 321.6 h, 年平均降水量 1 446.9 mm, 4—10 月为降雨期, 占全年的 75.6%。境内最高海拔 1 328 m, 最低海拔 670 m。山银花种植区(告左万村)位于兴仁镇西部, 远离城镇。该地区气候土壤适宜, 土壤为发育于第四纪红色黏土及石灰岩风化物的黄壤, 该基地共种植山银花 2 659, 每 9 种植 150 株, 株行距 2 m×2.5 m, 不施底肥, 每年 3 月底至 4 月初追肥 1 次。

### 1.2 药品与试剂

(1) 硝酸。GR 级, 德国 Merck 公司;

(2) 重金属标准溶液。Agilentpart<sup>#</sup> 5183—4688。元素为 Cu, Pb, As, Cd, Cr, Hg 为单标, 浓度梯度均为 1, 2, 5, 10 和 20 ng/ml。

(3) 内标液。Agilentpart<sup>#</sup> 5188—6525, 元素为 Li, Sc, Ge, Lu, Bi, Rn, In, Tb100 mg/L (10% 硝酸介质)。

(4) 调谐液。Agilentpart<sup>#</sup> 5184—3566, 元素为 Li, Ge, Y, Co, Ti100 mg/L (2% 硝酸介质)。

(5) 超纯水。电阻率 > 18.25 MΩ·cm。

### 1.3 仪器设备

电子天平: AL204-IC, 瑞士梅特勒—托利多公司; ICP-MS: Agilent 7 500 a, 美国安捷伦科技公司; 超纯水系统: Milli-QSynthesis, 美国 MILLIPORE 公司。

### 1.4 样品采集与制备

1.4.1 样品的采集 根据中药材种植土壤应符合土壤环境质量标准中的 II 级标准<sup>[10]</sup>的要求, 采用 GPS 定位, 在研究区土壤海拔、成土母质、坡向和种植年限基本一致的前提下, 在采样区内样点呈“S”字形分布, 均匀的选取具有代表性的山银花植株, 并于每株上均匀地、有代表性地采集山银花花蕾样品, 分别装袋标识。同时在对应的山银花植株下利用木制工具采集 0—20 cm 的根区(距树干 0.2~0.5 m)和非根区土壤样品, 采样深度为 0—30 cm, 土壤样品重量 1kg 左右, 将样品装入洁净聚乙烯塑料袋封装, 写上编号, 与此同时做好采样记录。共采集样品 33 个, 其中山银花植株和对应的根区、非根区土壤样品各 11 个。

1.4.2 样品的制备 采回的山银花样品以 90 °C 高温杀青 30 min 后, 再以 60 °C 的恒温将其烘干至恒重, 再用玻璃研钵磨碎, 过 0.25 mm 目尼龙筛, 将过筛样品充分混匀后储存于塑料袋中备用。同时将采集的土壤样品剔除植物的根、叶、石块等异物, 放在通风处自然风干后分别研磨通过 0.25 和 2 mm 筛, 储存于塑料袋中备用。

### 1.5 样品消化

土壤样品采用美国国家环保局标准方法 (USE-PA-3 050 B) 消解, 定容。植株样品用 5 ml 硝酸、2 ml 双氧水于高压密封罐中 170 °C 消化 3 h, 冷却、定容。分析过程中以国家标准土壤样品 (GSS-2, GSS-5) 以及国家标准植株样品 (GSV-2) 进行分析质量控制, 设定样品重复数 10%~15%, 每批样品设 2 个空白。

### 1.6 样品测定

采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Agilent 7 500 a)进行测定,条件参数为:载气流速 1.17 L/min;辅助气流速 0 L/min;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;重复次数 3 次。

### 1.7 数据处理

用 Excel, DPS 7.05 软件对土壤及植物重金属元素等进行统计分析,再计算各指标数据的标准偏差、

变异系数以及误差等,进行相关性分析。

### 1.8 评价方法

1.8.1 评价标准 本文主要参照中国 1995 年颁布施行的《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)<sup>[11]</sup>(表 1)作为土壤质量评价标准;此外参照中国颁布的《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》(WM/T 2—2004)<sup>[12]</sup>(表 2)的重金属限量值评价山银花重金属污染状况。并以各个重金属含量的限制值作为比较标准,对山银花重金属含量进行安全性评价。

表 1 土壤环境质量标准限值

级别	土壤 pH 值	重金属限值					
		镉(Cd)	汞(Hg)	砷(As)	铅(Pb)	铬(Cr)	铜(Cu)
I 级	土壤背景	≤0.2	≤0.15	≤15	≤35	≤90	≤35
	<6.5	≤0.3	≤0.3	≤40	≤250	≤150	≤50
II 级	6.5~7.5	≤0.6	≤0.5	≤30	≤300	≤200	≤100
	>7.5	≤1.0	≤1.0	≤25	≤350	≤250	≤100
III 级	>6.5	≤1.0	≤1.5	≤40	≤500	≤300	≤400

表 2 药用植物及制剂外经贸绿色行业标准

项目	重金属限值
镉(Cd)	≤0.3
汞(Hg)	≤0.2
砷(As)	≤2.0
铅(Pb)	≤5.0
铜(Cu)	≤20.0

1.8.2 评价因子 根据国家《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)和《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》要求,选取对土壤质量及山银花品质紧密相关的 6 种重金属(Cr, Cd, Cu, As, Pb, Hg)作为山银花土壤和山银花重金属的评价因子。

1.8.3 评价方法 综合指数的算法有很多种,本文采用 N. L. Nemerow 综合指数法进行评价,此方法兼顾了单因子污染指数平均值和最高值,具有突出污染较重的污染物的作用,能给较严重的污染物以较大的权值,并能较全面地反映出土壤环境的整体质量,从而更客观的对土壤环境质量进行评价。

单因子指数法:  $P_i = C_i / S_i$  (1)

式中:  $P_i$ ——环境中污染物  $i$  的单项污染指数;  $C_i$ ——环境中污染物  $i$  的实测数据;  $S_i$ ——污染物  $i$  的评价标准。土壤与植株重金属单因子污染指数分级标准为:若  $P_i \leq 0.7$ ,则土壤清洁安全;若  $0.7 < P_i \leq 1.0$ ,则土壤尚清洁;若  $1.0 < P_i \leq 2.0$ ,则土壤轻度污染;若  $2.0 < P_i \leq 3.0$ ,则土壤中度污染;若  $P_i > 3.0$ ,则土壤重度污染。

N. L. Nemerow 综合污染指数法:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{max}}^2 + \left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{ave}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中:  $P_{\text{综}}$ ——综合污染指数;  $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{max}}$ ——土壤所有的污染物中单项污染因子中最大值的平方;  $\left(\frac{C_i}{S_i}\right)_{\text{ave}}$ ——土壤所有的污染物中单项污染因子的平均值的平方。由于综合污染指数能较全面地反映出污染物对土壤污染的不同程度,同时又突出高浓度重金属对土壤环境质量的影响<sup>[13]</sup>。因此,用综合污染指数对土壤重金属进行评价和划分土壤质量等级更具有客观性。本文按土壤重金属污染进行等级划分为:若  $P_{\text{综}} \leq 0.7$ ,则污染等级为安全,污染水平为清洁;若  $0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$ ,则污染等级为警戒线,污染水平为尚清洁;若  $1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$ ,则污染等级为轻度污染,污染水平为轻度污染;若  $2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$ ,则污染等级为中度污染,污染水平为中度污染;若  $P_{\text{综}} > 3.0$ ,则污染等级为重度污染,污染水平为重度污染。

## 2 结果分析

### 2.1 山银花产地土壤重金属含量与分布

如表 3 所示,研究区土壤 pH 值范围在 4.21~4.81 之间,土壤中 Cr 的含量范围为 15.75~26.89 mg/kg,平均值为 19.89 mg/kg; As 的含量范围为 5.46~19.83 mg/kg,平均值为 9.79 mg/kg; Cd 的含量范围为 0.05~0.16 mg/kg,平均值为 0.10 mg/kg; Hg 的含量范围为 0.03~0.35 mg/kg,平均值为

0.12 mg/kg; Pb 的含量范围为 3.00~67.77 mg/kg, 平均值为 14.30 mg/kg; Cu 的含量范围为 1.72~8.78 mg/kg, 平均值为 3.81 mg/kg。土壤中 6 种重金属 As, Pb, Cd, Cr 和 Cu 低于贵州土壤背景值<sup>[14]</sup>,

Hg 含量略高, 超贵州土壤背景值 1.17 倍; Cd 和 Hg 较中国土壤背景值<sup>[15]</sup> 高出 1.03 倍和 1.85 倍, As, Pb 和 Hg 高出世界土壤背景值<sup>[15]</sup> 1.63, 1.19 和 1.85 倍。

表 3 山银花产地土壤土壤重金属含量特征

样点部位	样本数	项目	铬 Cr	砷 As	镉 Cd	汞 Hg	铅 Pb	铜 Cu
根区	11	含量范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	15.75~25.34	5.46~13.81	0.07~0.16	0.03~0.19	7.96~67.77	1.72~6.85
		平均值±标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	18.85±3.05	7.76±2.71	0.10±0.03	0.09±0.05	21.43±20.23	3.31±1.80
		C <sub>v</sub> /%	16.16	34.96	32.55	56.97	94.41	54.26
非根区	11	含量范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	16.59~26.89	7.87~19.83	0.05~0.14	0.05~0.35	3.00~21.39	2.08~8.78
		平均值±标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	20.93±3.32	11.81±3.82	0.09±0.02	0.15±0.09	7.18±5.75	4.31±2.00
		C <sub>v</sub> /%	15.88	32.37	27.16	62.25	80.09	46.36
合计	22	最小值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	15.75	5.46	0.05	0.03	3.00	1.72
		最大值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	26.89	19.83	0.16	0.35	67.77	8.78
		平均值±标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	19.89±3.29	9.79±3.84	0.10±0.03	0.12±0.08	14.30±16.24	3.81±1.92
		C <sub>v</sub> /%	16.53	39.26	29.85	65.32	113.57	50.49
		限值(pH<6.5)	150.00	40.00	0.30	0.30	250.00	150.00

山银花产地土壤中 As, Cd, Hg, Pb 和 Cu 重金属元素均未超标, 土壤重金属变异程度顺序为: Pb>Hg>Cu>As>Cd>Cr, 变异系数分别为 113.57%, 65.32%, 50.49%, 39.26%, 29.85% 和 16.53%, 由此可知, 土壤中 Pb, Hg 和 Cu 含量分布不均匀, 极有可能受外源污染所致。

重金属元素 Cr, As, Cd, Hg, Cu 含量均表现为根区低于非根区, 且差值不大; Pb 则表现为根区高于非根区约 3 倍。这可能是山银花对 Cr, As, Cd, Hg, Cu 吸收富集的作用, 使得根区低于非根区; Pb 含量过高, 可能与施肥习惯有关。山银花根系分泌物和土壤微生物对不同种重金属的吸收、迁移、富集等特征以及与土壤腐殖质的整合或固定等也有一定关系。

## 2.2 山银花产地土壤重金属污染评价

以国家《土壤环境质量标准》(GB15618—1995) II 级标准作为参照标准, 依据单因子污染指数( $P_i$ ) 和内梅罗综合指数法( $P_{综}$ ) 对产地土壤重金属进行评价。

如表 4 所示, 研究区土壤中 Cr, As, Cd, Hg, Pb, Cu 的单因子污染指数都低于 0.7, 属清洁安全水平。根区与非根区土壤的重金属综合污染指数分别为 0.46 和 0.83, 分别处于安全等级和警戒线, 其中, Cd 和 Hg 的贡献率较高。土壤中 Cr, As, Cd, Pb, Cu 均在国家 II 级标准(GB15618—1995) 规定范围内, 样点达标率 100%; 两个样点土壤 Hg 含量超标, 占样点总数的 9.09%, 单因子污染指数分别为 1.15 和 1.01, 达到轻度污染。在所选定的污染评价因子中, 根区土壤 Cd 为主要影响因子, 其次是 Hg; 非根区土壤 Hg 贡献最高, Cd 和 As 次之。根区土壤综合污染指数高

于非根区, 表明非根区受外界干扰较大, 极有可能受施肥习惯的影响。

## 2.3 山银花重金属含量分析与评价

通过对 11 个山银花样品重金属含量的测定, 得到如表 5 结果, 结合《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》要求可知, 山银花花蕾中的 Hg, As, Pb, Cu 四种重金属元素含量均未超标。Cr 和 Cd 的平均含量分别为 5.19 和 1.87 mg/kg, Cd 的含量远超出了相应的限量值, 超标率为 100%。山银花体内的重金属主要源自于其生长的土壤, 而土壤中的 Cd 的含量均未超出土壤环境质量标准中的限定值, 说明 Cd 在山银花中具有很强的累积效应, 这与刘周莉等<sup>[16]</sup> 在新发现的镉超富集植物忍冬的研究结果相一致。

## 3 结论与讨论

(1) 研究区土壤中 6 种重金属 As, Pb, Cd, Cr 和 Cu 均低于贵州土壤背景值, Hg 稍高, 超贵州土壤背景值 1.17 倍; Cd 和 Hg 较中国土壤背景值高出 1.03 和 1.85 倍; As, Pb 和 Hg 高出世界土壤背景值 1.63, 1.19 和 1.85 倍。土壤重金属变异程度顺序为 Pb>Hg>Cu>As>Cd>Cr。土壤中 Pb, Hg 和 Cu 分布不均匀, 极有可能受外源污染。重金属元素 Cr, As, Cd, Hg, Cu 含量均表现为根区低于非根区, 且差值不大; 根区土壤 Pb 含量高于非根区约 3 倍。这可能是山银花对 Cr, As, Cd, Hg, Cu 吸收富集的作用, 使得根区土壤低于非根区; Pb 含量过高, 可能与施肥习惯有关。山银花根系分泌物和土壤微生物对不同种重金属的吸收、迁移、富集等特征以及与土壤腐殖质的整合或固定等也有一定关系。

表 4 山银花产地土壤重金属单项、综合及分级评价结果

样点部位	样本数	单因子污染指数( $P_i$ )						综合污染指数( $P_{\text{综}}$ )	污染等级
		铬 Cr	砷 As	镉 Cd	汞 Hg	铅 Pb	铜 Cu		
根区	11	0.17	0.35	0.54	0.56	0.27	0.05	0.46	安全
		0.12	0.21	0.32	0.21	0.07	0.03		
		0.12	0.16	0.29	0.24	0.05	0.02		
		0.12	0.16	0.22	0.27	0.03	0.01		
		0.14	0.21	0.35	0.33	0.08	0.03		
		0.11	0.17	0.32	0.20	0.05	0.02		
		0.11	0.14	0.25	0.16	0.03	0.01		
		0.11	0.14	0.25	0.20	0.05	0.01		
		0.15	0.29	0.52	0.63	0.22	0.04		
		0.10	0.16	0.23	0.11	0.04	0.01		
		0.14	0.15	0.37	0.54	0.05	0.01		
平均值		0.13	0.19	0.33	0.31	0.21	0.07		
非根区	11	0.18	0.50	0.45	1.15	0.09	0.04	0.83	警戒线
		0.14	0.33	0.27	0.38	0.02	0.03		
		0.14	0.26	0.29	0.43	0.02	0.03		
		0.11	0.20	0.18	0.41	0.01	0.02		
		0.17	0.40	0.43	1.01	0.05	0.06		
		0.12	0.26	0.24	0.40	0.02	0.02		
		0.13	0.23	0.23	0.42	0.01	0.04		
		0.11	0.20	0.26	0.28	0.02	0.02		
		0.16	0.38	0.36	0.63	0.05	0.03		
		0.15	0.27	0.30	0.16	0.02	0.02		
		0.13	0.22	0.34	0.24	0.02	0.01		
平均值		0.14	0.30	0.30	0.50	0.07	0.09		

表 5 山银花重金属元素含量及安全性评价结果

特征值	铬 Cr	砷 As	镉 Cd	铅 Pb	铜 Cu	汞 Hg
最小值/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	0.70	0	1.13	0	5.32	0
最大值/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	12.10	0.74	3.10	2.07	8.06	0
平均值/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$5.19 \pm 3.32$	$0.16 \pm 0.21$	$1.87 \pm 0.64$	$0.39 \pm 0.73$	$6.86 \pm 1.03$	0
$C_v/\%$	63.94	128.78	34.04	187.25	15.02	0
超标情况	—	未超标	超标	未超标	未超标	未超标
超标率/%	—	0	100	0	0	0

(2) 根区与非根区土壤的重金属综合污染指数分别为 0.46 和 0.83, 分别处于安全等级和警戒线。其中, Cd 和 Hg 的贡献率较高。土壤中 Cr, As, Cd, Pb, Cu 均在国家 II 级标准(GB15618—1995)规定范围内, 样点达标率 100%; 两个样点土壤 Hg 含量超标, 占样点总数的 9.09%, 单因子污染指数分别为 1.15 和 1.01, 达到轻度污染。在所选定的污染评价因子中, 根区土壤 Cd 为主要影响因子, 其次是 Hg; 非根区土壤 Hg 贡献最高, Cd 和 As 次之。根区土壤综合污染指数高于非根区, 表明非根区受外界干扰较大, 极有可能受施肥习惯的影响。

(3) 按照《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》要求, 11 个山银花样品的重金属 Hg, As, Pb, Cu 均未超标, Cd 远超过限量值, 超标率为 100%。研究

发现, 土壤 Cd, Cu 低于贵州平均水平, 符合国家环境质量标准(GB15618—1995) II 级标准要求, 花蕾中 Cu 约为土壤的两倍, Cd 也约为土壤的 2 倍。说明山银花对 Cd 有超强富集作用, 是一种 Cd 的超富集植物; 但山银花对 Cu 的富集效应有待进一步研究。

(4) 研究区山银花种植土壤环境质量总体适宜, 除局部 Hg 含量超标外, 其余 5 种重金属含量均符合国家环境质量标准(GB15618—1995) II 级标准要求, 这可能与基地周边环境人为活动有关。建议制定相关管理制度和保护措施, 做好该区管理工作和环境保护工作, 避免人为活动造成污染源引入。加强对该区重金属迁移转化规律的研究, 避免土壤污染和降低山银花对 Cd 等重金属富集程度, 从而保障山银花质量与品质, 确保药用安全。

(下转第 231 页)

## 4 结论

(1) 研究区表层土壤 5 种重金属含量统计结果表明,除 Hg 属于高度变异外,其他 4 种元素均属于中度和小变异;通过对数据偏度和峰度的分析,5 种重金属元素的偏度系数均大于 0,说明 5 种元素的峰向均向左偏斜;5 种元素中 Cr, Pb, As 元素的峰度为负值,说明其分布为正态分布,其余 2 种元素的分布均为对数正态分布。

(2) 从半方差函数模型拟合结果可见, Pb, Hg 符合球状模型,其他重金属元素均符合指数模型。5 种重金属元素在一定范围内均存在空间相关性,其中 Cr 与其他几种元素之间呈负相关性,说明 Cr 元素含量分布存在空间孤立, Pb 与 Cd, As, Hg 之间表现出明显的正相关,说明 Pb 和 Cd, As, Hg 元素间为复合污染或具有同源性。

(3) 采用 Kriging 最优内插法得到了研究区表层土壤重金属含量的空间分布图,发现土壤重金属含量与母质、土壤质地、有机质含量以及工业化、城市化和农村集约化程度密切相关。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 宋伟,陈百明,刘琳. 中国耕地土壤重金属污染概况[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 293-298.
- [2] 雷凌明,喻大松,陈玉鹏,等. 陕西泾惠渠灌区土壤重金属空间分布特征及来源[J]. 农业工程学报, 2014, 30(6): 88-96.
- [3] 唐发静,祖艳群. 土壤重金属空间变异的研究方法[J].

云南农业大学学报, 2008, 23(4): 558-561.

- [4] 霍霄妮,李红,张微微,等. 北京耕作土壤重金属多尺度空间结构[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 223-229.
- [5] 卢振兰,赵晓松,高珊,等. 吉林省无公害中药材种植基地土壤环境质量评价[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(3): 210-213.
- [6] 邹建美,孙江,戴伟,等. 北京近郊耕作土壤重金属状况评价分析[J]. 北京林业大学学报, 2013, 35(1): 132-138.
- [7] 李阔,王元杰,刘会玲,等. 河北献县表层土壤全氟空间变异性特征分析[J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 726-729.
- [8] 赵月,周冀衡,陈习羽,等. 云南陆良烟叶与土壤微量元素的空间分布特征及主要影响因素[J]. 湖南农业大学学报, 2012, 38(3): 235-240.
- [9] 朱建宁,崔江慧,文宏达,等. 泊头市重金属元素空间变异规律研究[J]. 北方园艺, 2011(2): 171-175.
- [10] 陈京都,戴其根,许学宏,等. 江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3487-3496.
- [11] 汤国安,杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析试验教程[M]. 北京:科学出版社, 2006: 420-430.
- [12] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征:变异函数与 Kriging 插值分析[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 555-566.
- [13] Johnston K, ver Hoef J M, Krivoruchko K. et al. Using ArcGIS Geostatistical Analyst [M]. GIS by Environmental Systems Reserarrh Institute, 2001.
- [14] Ana D S, Jose M Q, Antonio D. Long-term effects of tillage on the availability of iron, copper, manganese, and zinc in a Spanish Vertisol[J]. Soil & Tillage Research, 2008, 98(2): 200-207.

(上接第 226 页)

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 程若敏,梁晓亮,陈少容. 药用银花环境因子特性研究概况[J]. 中国试验方剂学杂志. 2011, 17(03): 232-234.
- [2] 武雪芬,李玉贤,侯怀恩,等. 金银花修剪枝中绿原酸含量测定[J]. 中药材, 1996, 19(2): 69-70.
- [3] 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]. 中国药志, 1999, 34(11): 724-727.
- [4] 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.
- [5] 王昶,马少娜,魏大鹏等. 中药材中重金属污染分析及防治措施[J]. 天津科技大学学报, 2005, 20(3): 12-161.
- [6] 杨春,成红砚. 黔东南州 9 种药材重金属污染评价[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(4): 231-234.
- [7] 王锦芳,王纯健. 金银花药材中重金属铅、镉含量分析[J]. 海峡医学, 2010, 22(10)72-74.
- [8] 茅向军,杨永东,熊慧林,等. 贵州杜仲中铅、砷、汞含量的研究[J]. 药物分析杂志, 2000, 20(3): 172.

- [9] 薛朝金,海市,舒光明,等. 半夏与土壤中重金属含量相关性研究[J]. 中药材, 2010, 33(3): 331-333.
- [10] 杭州大学化学系分析化学教研室. 分析化学手册:第一分册第二版[M]. 北京:化学工业出版社 1997: 3801.
- [11] 环境保护部. 土壤环境质量标准(GB15618-1995)[S]. 北京:中国环境出版社, 1995.
- [12] 国家对外贸易经济合作部发部. 药用植物及制剂外经贸绿色行业标准(WM/T 2-2004)[S]. 北京:中国标准出版社, 2005.
- [13] 刘元生,何腾兵,罗海波等. 贵阳市乌当区耕地土壤重金属污染现状及评价[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(10): 42-45.
- [14] 刘凤枝. 农业环境监测实用手册[M]. 北京:中国标准出版社, 2001: 590-597.
- [15] 魏复盛,杨国治,蒋德珍,等. 中国土壤元素背景值基本统计量及其特征[J]. 中国环境监测, 1991, 7(1): 1-6.
- [16] 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.