

# 不同种植年限下山银花产地土壤及花蕾重金属污染特征

颜秋晓<sup>1</sup>, 何腾兵<sup>1</sup>, 高安勤<sup>1,2</sup>, 林昌虎<sup>1,3,4</sup>

(1. 贵州大学, 贵阳 550025; 2. 六盘水市土肥站, 贵州 六盘水 553000;

3. 贵州省中国科学院天然产物化学重点实验室, 贵阳 550001; 4. 贵州科学院, 贵阳 550001)

**摘要:**以喀斯特山区不同种植年限山银花及其产地土壤为研究对象,并以附近荒地土壤作为对照,通过野外调查和室内分析,测定了绥阳县不同种植年限土壤和山银花的花蕾重金属含量,并应用单因子污染指数和综合污染指数法,对土壤和山银花中重金属含量进行评价分析。明确了不同种植年限山银花及其产地土壤重金属含量水平,揭示了种植年限对土壤中重金属含量的影响及土壤重金属污染的程度,分析了土壤中 Cr、Cd、As、Pb、Hg 和 Cu 与花蕾 6 种重金属元素的相关关系。结果表明:随着种植年限的增加,土壤中 Cu、Cr、Cd 和 As 含量均有不同程度的增加,Hg 变化不明显,Pb 含量降低,总体综合污染指数为 0.72,处于警戒线等级;山银花重金属平均含量和污染指数随种植年限的增加而增加,但均未超标,处于安全等级和警戒线等级;土壤中 Cr、Cu、As 之间存在极显著正相关性,Pb 与 Cr、Cu、As 均存在显著负相关性,土壤中 Cu、Cr、Cd 和 As 与山银花中 6 种重金属元素均存在显著或极显著的正相关性,土壤中 Hg 和 Pb 与花蕾中各重金属元素存在不同程度的负相关性。本研究对于了解种植山银花对土壤环境的效应、防控产地土壤重金属污染、保障山银花品质,具有重要的意义。

**关键词:**不同种植年限; 山银花; 土壤; 重金属污染; 评价

**中图分类号:** X131

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2015)01-0310-06

## Heavy Metal Contamination Characteristics of Soil and Buds of *Lonicerae Flos* in Different Planting Years

YAN Qiuxiao<sup>1</sup>, HE Tengbing<sup>1</sup>, GAO Anqin<sup>1,2</sup>, LIN Changhu<sup>1,3,4</sup>

(1. Guizhou University, Guiyang 550025, China; 2. Soil and Fertilizer Station of Liupanshui, Liupanshui,

Guizhou 553000, China; 3. Key Laboratory of Chemistry for Natural Products of Guizhou Province and

Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550025, China; 4. Guizhou Academy of Sciences, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** The samples of this study is *Lonicerae Flos* and site soil in different planting years in Karst mountainous area, and the wasteland soil near the research area was used as a control, by using the methods of field investigation and experiments. The heavy metal contents of the flower and site soil were determined in different planting years in Suiyang County. The soils and flower were evaluated with single factor pollution index and comprehensive pollution index. The research disclosed the effects of different planting years on heavy metals of soil and the level of environment contamination. The correlation of the 6 heavy metals (Cr, Cd, As, Pb, Hg and Cu) between soil and flower were analyzed. The findings showed that heavy metal contents of soils and flower did not exceed the standard. The contents of Cu, Cr, Cd and As are increasing with the growth years, Pb is decreasing, Hg has a little change, average value of pollution index is 0.72. The level of pollution has reached the warning rate. The average contents of heavy metals and pollution index of flower are increasing along with the planting years, but the contents did not exceed the standard, the levels of pollution are in the safe class and warning rate. There was a positive correlation among Cr, Cu and As of soil, Cr, Cu and As had a significant negative correlation with Pb in soil, Cu, Cr, Cd and As of soil were notable or significantly positive correlated with the 6 heavy metals of flower, Hg and Pb of soil had the negative

收稿日期: 2014-03-26

修回日期: 2014-05-10

**资助项目:** 贵州省科技厅中药现代化重大专项“贵州地产石斛、半夏等 7 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)子课题 3-1; 贵州省科技创新人才团队建设计划项目“贵州省土壤肥力调控与农业环境污染防治科技创新人才团队”(黔科合人才团队[2013]4020)。

**第一作者:** 颜秋晓(1989—),女(穿青人),贵州纳雍县人,硕士生,研究方向:土壤肥力与作物生产。E-mail: yanqxecho@gmail.com

**通信作者:** 何腾兵(1963—),男,贵州松桃人,教授,主要从事土壤学与环境科学方面的教学科研工作。E-mail: hetengbing@163.com

correlation in different degrees with the 6 heavy metal elements of flower. This study has significance for understanding the effect of cultivating *Lonicerae Flos* on soil environment, protecting and controlling pollution of site soil and guaranteeing the quality of *Lonicerae Flos*.

**Keywords:** different planting years; *Lonicera Flos*; soils; heavy metal pollution; evaluation

山银花 (*Lonicera Flos*) 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>。含有的绿原酸、异绿原酸是目前公认的金银花有效成分, 并作为金银花药材及其制剂的质量控制指标之一<sup>[2-3]</sup>。但是重金属的污染阻碍了山银花 GAP 的生产, 并直接影响到患者的安全<sup>[4]</sup>。重金属能通过食物链向人体内积累而产生不可逆性的危害, 直接或间接地危害人体健康<sup>[5]</sup>。王锦芳等在金银花药材中重金属铅、镉含量分析中表示, 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<sup>[6]</sup>。杨春等在黔东南州 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<sup>[7]</sup>。

有关研究表明, 随着种植年限的增加, 土壤的重金属含量增加。由于作物的吸收以及外来污染源的输入, 土壤重金属 Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As, Cr 和 Ni 含量均随种植年限的长短而有所差异, 而且大多数重金属质量分数与种植年限有显著或极显著的相关性, 随种植年限的增加呈显著的增加趋势。由此可知, 年限的延长也是影响重金属污染的主要因素之一<sup>[8-10]</sup>。目前关于山银花产地土壤及山银花重金属含量的研究不少, 但对年限的有关研究尚少见报道。重金属元素对山银花的影响存在动态变化, 植物群落经历的时间变化漫长, 本文利用空间序列代替时间序列进行群落演替研究, 着重研究不同种植年限下土壤和山银花重金属含量特征, 以期为贵州山银花的科学种植提供基础资料和决策依据。

1 研究区概况

贵州以其得天独厚的自然条件, 让黔产中药材闻名国内外。2011 年, 中药材种植总面积已达 191 673.33 hm<sup>2</sup>。但由于土地用养不均匀, 地力降

低, 加上周边污染源增多, 阻碍了山银花的 GAP 生产<sup>[11]</sup>。贵州遵义市绥阳县是贵州灰毡毛忍冬主要生产地之一, 其中又以绥阳县小关乡和蒲场镇种植最多, 研究区属亚热带湿润季风气候, 海拔 872~1 231 m, 平均气温 10~15℃, 平均降水量 900~1 250 mm, 温暖湿润, 雨热同季, 适宜山银花的生长。出露地层以下古生界寒武系最广, 白云岩、碳酸盐岩遍及全区, 部分碎屑间歇相布, 第四系沉积物以冲积、洪积为主, 坡积、残积物次之。土壤类型主要为由砂页岩风化物发育酸黏黄壤, 地形地貌复杂多样<sup>[12]</sup>。小关乡金银花种植达 30 a 之久, 据统计 2011 年全乡山银花种植面积 3 850.07 hm<sup>2</sup>, 干花产量 1 065 t<sup>[13]</sup>。随着经济发展, 山银花产业已成为贵州的主导产业和优势产业, 许多地区将大面积种植和引进金银花项目作为“十二五”期间调整当地产业结构, 实现农民增收的主要途径。

2 材料与方法

2.1 材料采集与制备

根据绥阳山银花开花的实际情况, 于 2012 年 5—6 月, 采用 GPS 定位, 在研究区土壤成土母质、海拔、种植年限、坡度和坡向基本一致的情况下, 在山银花种植基地均匀选取具有代表性的不同种植年限的山银花树, 每株树上均匀地、有代表性地采集未开放的山银花花蕾样品, 分别装袋标识。同时在选取的花树下利用木制工具采集 0—20 cm 的根区 (距树干 0.2~0.5 m) 土壤样品。共采集 0—20 cm 耕层土样 30 个 (27 个根区土壤、3 个荒地土壤); 山银花样品 27 份, 具体采样情况见表 1。

将样品带回实验室风干, 剔除杂质, 按四分法取出一半样品, 用木棍碾压研磨, 全部过 0.25 mm 的孔径筛。将过筛样品置于密封袋中, 作好标签备用。植株样品经 90℃ 杀青, 60~70℃ 烘干至恒重, 粉碎备用。

表 1 土壤样点的分布情况

地点	荒地	1~5 a	6~10 a	11~15 a	16~20 a	21~25 a
小关乡山银花基地/份	2	3	3	3	4	4
蒲场镇高坊子山银花基地/份	1	2	3	3	2	0
合计/份	3	5	6	6	6	4

2.2 测定方法

土壤及植株的重金属分析主要依据《土壤农化分

析》<sup>[14]</sup> 以及中华人民共和国农业行业标准<sup>[15]</sup> 进行测定。土壤 pH 采用水土比为 1:2.5 的电位法测定;

土壤 Cr,Pb,Cd 采用石墨炉原子吸收分光光度法测定;土壤 Hg 采用冷原子吸收法测定;土壤 As 采用原子荧光分光光度法;土壤和植株的 Cu 采用火焰原子吸收光谱法;山银花 Cr,Cd,Hg,As,Pb 采用 ICP-MS 测定。测试过程均加入中国土壤标样(GSS2-GSS5)进行检测样品的准确度监控,以空白值控制误差和污染,平行数为 30%。

2.3 数据处理

根据统计学的方法,将试验数据剔除异常值后,用 Excel,DPS 软件对土壤及植物重金属元素等进行统计分析,并将计算结果汇总绘制成总数据表。再对各指标数据进行平均,计算标准偏差、误差等,进行相关性分析。

2.4 评价方法

2.4.1 评价标准 土壤质量评价标准参照我国 1995 年颁布施行的《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)<sup>[16]</sup>(表 2)。山银花重金属污染评价参照我国颁布的《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》(WM2—2004)<sup>[17]</sup>(表 3)。

表 2 土壤环境质量指标(GB15618—1995)

项目	含量限值/(mg·kg <sup>-1</sup> )		
	pH<6.5	pH6.5~7.5	pH>7.5
镉(Cd)	≤0.30	0.3	0.6
汞(Hg)	≤0.30	0.5	1.0
砷(As)	≤40	30.0	25.0
铅(Pb)	≤100	150.0	150.0
铬(Cr)	≤150	200.0	250.0
铜(Cu)	≤50	100.0	100.0

表 3 药用植物重金属含量限量指标

项目	含量限值/(mg·kg <sup>-1</sup> )
镉(Cd)	≤0.3
汞(Hg)	≤0.2
砷(As)	≤2.0
铅(Pb)	≤5.0
铬(Cr)	≤0.7
铜(Cu)	≤20.0

2.4.2 评价因子 参照国标《土壤环境标准(GB15618—1995)》<sup>[16]</sup>和《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》<sup>[17]</sup>要求,选取对土壤质量及山银花品质关系密切的 6 种重金属(Cr,Cd,Cu,As,Pb,Hg)作为山银花根区土壤和山银花品质的评价因子。

2.4.3 评价方法 本文采用综合评价方法,此方法能较全面地将各污染物对土壤的污染程度反映出来,突出高浓度重金属对土壤环境质量的影响<sup>[18]</sup>。本试验采用 N. L. Nemerow 综合指数法进行评价。计算方法如下:

单因子指数法:

$$P_i=\frac{C_i}{S_i}$$

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。当  $P_i>1$  时,为污染。

综合污染指数法:

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

式中:  $P_{\text{综}}$ ——综合污染指数; $(\frac{C_i}{S_i})_{\text{max}}^2$ ——土壤所有的污染物中单项污染因子中最大值的平方; $(\frac{C_i}{S_i})_{\text{ave}}^2$ ——土壤所有的污染物中单项污染因子的平均值的平方。

根据综合污染指数对土壤重金属进行评价并对土壤重金属污染进行等级划分(表 4)。山银花花蕾重金属评价方法亦如此,只是评价标准不同。

表 4 土壤环境质量等级

等级	综合污染指数	污染等级	污染水平
1	$P_{\text{综}}\leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7<P_{\text{综}}\leq 1.0$	警戒线	尚清洁
3	$1.0<P_{\text{综}}\leq 2.0$	轻度污染	土壤污染物超出标准视为轻度污染,作物开始污染
4	$2.0<P_{\text{综}}\leq 3.0$	中度污染	土壤、作物受中度污染
5	$P_{\text{综}}> 3.0$	重度污染	土壤、作物受污染已相当严重

注:(1) 中国绿色发展中心,绿色食品产地环境质量评价纲要(试行),1994;(2) 1 级、2 级适宜发展无公害食品生产。

3 结果与分析

3.1 不同种植年限下土壤重金属含量特征

3.1.1 山银花产地土壤中重金属含量与分布 研究区土壤 pH 范围在 4.76~6.01 之间,低于荒地 6.22,并随年限增加逐渐降低(图 1)。土壤样品中重金属 Cu,Cr,Cd 和 As 随种植年限的增加逐渐递增,所有年限中最高含量分别为 37.50,51.27,0.28,30.53 mg/kg;Hg 含量差异不明显;Pb 随种植年限的增加而降低(表 5),这可能与土壤的环境有关,如腐殖质物质的螯合,植物的吸收以及土壤微生物的固定等导致了土壤中 Pb 含量的下降。由于黄壤母质特性,决定了重金属活性较高,贵州土壤中 Cd 背景值比全国平均水平高 3.78 倍<sup>[19]</sup>。刘周莉等<sup>[20]</sup>研究证明金银花对 Cd 有超富集能力,低浓度的 Cd 对金银花株高和叶绿素有促进作用,但会造成高龄银花品质降低。土壤中 Cu,As,Cr,Cd 和 Hg 均未超标,除 Cd 和 Hg 逼近警戒线,其余元素在长时间内不会造成威胁。影

响重金属元素的原因很多,如土壤酸碱度、有机质和土壤质地等均能影响重金属元素的活性,而年限越长,对土壤的这些理化性质影响越大<sup>[21]</sup>。研究区土壤重金属变异系数在 1%~44%之间,为弱变异和一般变异。各年限中荒地 Cd 变异最强(变异系数 CV 为 44%),1~5 a 的 Cu 强度次之(变异系数 CV 为 35%),其余变异系数较低,说明 Cd 和 Cu 分布不均匀,这可能与砂页岩风化物母质有关。

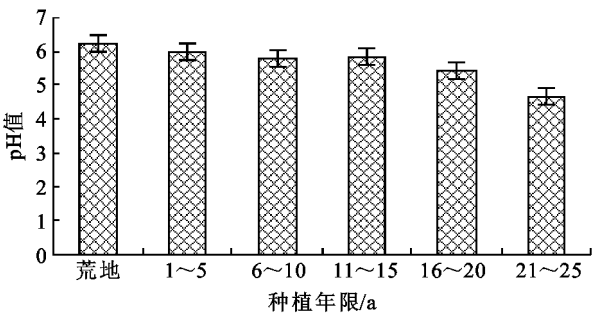


图 1 不同种植年限山银花土壤 pH 平均值

表 5 不同种植年限山银花土壤重金属含量及变异特征

元素	样本数/个	项目	荒地	1~5 a	6~10 a	11~15 a	16~20 a	21~25 a
Cr	30	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	36.80±0.73	39.59±1.22	43.65±3.22	45.62±4.05	49.30±0.87	51.27±2.95
		变异系数/%	2	3	7	9	2	6
Cd	30	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.26±0.11	0.20±0.01	0.22±0.02	0.25±0.01	0.26±0.02	0.28±0.03
		变异系数/%	44	3	10	3	8	9
Cu	30	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	13.63±2.28	17.17±5.97	24.41±4.70	28.26±1.57	32.71±4.52	37.50±6.85
		变异系数/%	17	35	19	6	14	18
As	30	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	15.23±2.15	18.54±0.77	19.46±2.63	23.90±2.79	26.82±0.75	30.53±0.60
		变异系数/%	14	4	14	12	3	2
Hg	30	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.26±0.02	0.23±0.03	0.20±0.03	0.21±0.01	0.22±0.02	0.20±0.02
		变异系数/%	8	13	15	5	9	10
Pb	30	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	43.24±5.12	41.77±3.24	41.27±0.53	36.04±3.07	31.37±3.67	30.04±1.18
		变异系数/%	12	8	1	9	12	4

3.1.2 不同种植年限对山银花土壤重金属污染状况  
以研究区附近荒地土壤作为参照,计算土壤重金属的单因子污染指数( $P_i$ )和综合污染指数( $P_{综}$ ),对土壤重金属元素进行分析和评价(表 6)。

荒地土壤的综合污染指数为 0.647,处于安全等级,属于清洁水平;1~25 a 总体土壤综合污染指数( $P_{综}=0.72$ )处于警戒线水平。除了 Pb 的单因子污染指数随年限增加而减少,其余重金属元素单因子污染指数呈上升趋势。随着种植年限的增加,土壤综合污染指数不断上升,除了 1~10 a 的土壤综合污染指

数小于 0.7,未受到污染外,其余年限的土壤重金属综合污染指数均大于 0.7,污染等级处于警戒线。与荒地相比可知,1~5 a 山银花生长旺盛,对重金属有较好的富集作用,加上有机质分解产生有机酸与重金属发生络合或螯合作用,减少了土壤中重金属有效含量。但随着树龄增加,树木老化,体内重金属含量增加,取代了 Zn,Cu,Fe 和 Mn 与酶辅基上的结合位点,使得载体蛋白不能正常表达,降低了离子吸收速率<sup>[22]</sup>;枝落叶和有机质不断矿化分解,重金属元素又回到土壤。

表 6 不同种植年限下土壤重金属污染的评价

种植 年限/a	样本 数/个	$P_i$						$P_{综}$	污染等级
		Cr	Cd	Cu	As	Hg	Pb		
荒地	3	0.25	0.87	0.27	0.38	0.87	0.43	0.65	安全
1~5	5	0.26	0.70	0.34	0.46	0.76	0.42	0.64	安全
6~10	6	0.29	0.80	0.49	0.49	0.67	0.41	0.68	安全
11~15	6	0.30	0.83	0.57	0.60	0.70	0.36	0.71	警戒线
16~20	6	0.33	0.87	0.65	0.67	0.73	0.31	0.74	警戒线
21~25	4	0.34	0.93	0.75	0.76	0.67	0.30	0.79	警戒线
总体	27	0.31	0.85	0.57	0.60	0.60	0.36	0.72	警戒线

此外,长期施用磷肥也会导致土壤中镉的积累。在美国过磷酸钙含镉 86~114 mg/kg,磷铵含镉量 7.5~156 mg/kg,商品二级过磷酸钙 Cd 含量一般在 91 mg/kg 以上,比农用污泥中 Cd 的最高允许含量 5~20 mg/kg 高 4~8 倍,长期施用,必定造成土壤 Cd

污染<sup>[23-24]</sup>。在我国每年因施用磷肥带入土壤的 Cd 含量在 37 t 以上,长期施用硝酸铵、磷酸铵、复合肥,土壤砷含量达到 50~60 mg/kg<sup>[24]</sup>。

3.1.3 根区土壤重金属之间相关性分析 相关性分析表明(表 7),重金属 Cr,Cu,As 之间存在极显著正相

关,表明这 3 种元素存在复合污染或者有着相同的污染源。Pb 与 Cr,Cu,As 呈显著负相关,相关系数分别达-0.954,-0.951,-0.981,表明它们之间可能存在拮抗作用;其余重金属之间相关性不明显。土壤在污染时往往不是只有一种重金属,而是几种重金属潜在相互影响的结果,一个污染源可能包含了几种重金属,重金属之间存在潜在的吸附行为的交互作用。

3.2 不同种植年限山银花重金属含量状况

3.2.1 山银花重金属含量分析及评价 按照《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》<sup>[17]</sup> 要求,不同种植年限花蕾中的重金属平均含量均未超标(表 8),但是 Cr 含量较高,24 a 和 25 a 的 Cr 含量分别为 0.709 mg/kg,0.730 mg/kg,均超过限定值 0.7 mg/kg。随着种植年限的增加,花蕾重金属含量也随之增加;但

花蕾中重金属 Cd,Hg,As,Pb 和 Cu 平均含量均低于重金属限量值。

表 7 根区土壤重金属之间相关性分析

元素	Cd	Cu	As	Hg	Pb
Cr	0.577	0.997**	0.976**	-0.769	-0.954**
Cd		0.610	0.593	-0.148	-0.651
Cu			0.977**	-0.774	-0.951**
As				-0.683	-0.981**
Hg					0.558

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

不同年限山银花重金属变异系数为 7.36%~39.22%,为弱变异到一般变异,11~15 a 山银花 Hg 变异最大(变异系数 CV 为 39.22%),20~25 a 的山银花 As 变异系数最小(变异系数 CV 为 7.36%)。

表 8 不同种植年限山银花重金属含量及安全性评价

元素	项目	1~5 a	6~10 a	11~15 a	16~20 a	21~25 a
Cr	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.349±0.08	0.451±0.13	0.583±0.13	0.636±0.17	0.662±0.05
	变异系数/%	22.92	28.82	22.30	26.73	7.55
Cd	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.026±0.004	0.024±0.004	0.032±0.003	0.037±0.004	0.043±0.016
	变异系数/%	15.38	16.67	9.38	10.81	37.21
Cu	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	6.609±1.51	8.992±1.21	9.995±0.99	13.709±1.95	14.516±2.02
	变异系数/%	22.85	13.46	9.91	14.22	13.92
As	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.615±0.13	0.841±0.13	0.984±0.13	1.226±0.23	1.223±0.09
	变异系数/%	21.14	15.46	13.26	18.76	7.36
Hg	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.017±0.003	0.034±0.01	0.051±0.02	0.068±0.01	0.071±0.008
	变异系数/%	17.65	29.41	39.22	14.71	11.27
Pb	平均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	0.672±0.11	0.77±0.09	1.319±0.23	1.712±0.25	1.993±0.25
	变异系数/%	16.37	11.69	17.44	14.60	12.54
超标情况		未超标	未超标	未超标	未超标	未超标

注:样本个数均为 27 个。

各年限的单因子污染指数( $P_i$ )均处于安全状态(表 9),但 11~15 a,16~20 a,21~25 a 的 Cr 的单因子污染指数较大,接近于 1,分别为 0.832,0.908,0.946;Cu 的单因子污染指数在 21~25 a 达到 0.726,As 的单因子污染指数最高为 0.612,污染指数也较大。综合污染指数( $P_{综}$ ) 在 1~15 a 间小于 0.7;15 a 以上年限的综合污染指数均大于 0.7,污染等级为警戒线,污

染水平为尚清洁;从单因子污染指数对综合污染指数的贡献率来看,Cr 是主要的影响因子,其次是 Cu 和 As,表明山银花的 Cr 污染较其他重金属元素严重,且 1~5 a 的花蕾 Cr 的单因子污染指数较高,为 0.499。结合表 6 可知,土壤中 Cr 的单因子污染指数并不高,这可能是山银花能较好地吸收土壤中的 Cr,从而导致了 Cr 在山银花中大量积累的缘故。

表 9 不同种植年限山银花重金属污染状况评价

种植年限/a	样本数/个	$P_i$						$P_{综}$	污染等级
		Cr	Cd	Cu	As	Hg	Pb		
1~5	5	0.499	0.087	0.330	0.307	0.085	0.134	0.392	安全
6~10	6	0.644	0.080	0.450	0.421	0.170	0.154	0.508	安全
11~15	6	0.832	0.110	0.500	0.492	0.255	0.264	0.656	安全
16~20	6	0.908	0.120	0.690	0.614	0.340	0.342	0.734	警戒线
21~25	4	0.946	0.140	0.730	0.612	0.355	0.397	0.763	警戒线
总体	27	0.766	0.107	0.540	0.489	0.240	0.258	0.612	安全

导致综合污染指数增加的原因有很多,种植年限长短的影响或不同区域内的重金属背景值差异和外

源污染等。此外,长期施肥也会引起重金属的增加,如 As,Cr,Cd,Hg 及 Cu 等。土壤低 pH 激活了重金

属的活性,增加了植物对重金属的吸收,导致了山银花体内超富集。在生产过程中注重水肥一体化与有机肥配合施用,增加水分和肥料利用率,减少固体肥料的施用,减少污染来源。应调查完善污染物的时空分布特征及来源,采取有效防治措施,保证山银花质量安全。

3.2.2 不同年限土壤与山银花重金属含量的相关性分析 由表 10 可知,土壤与山银花大部分重金属均有很明显的正相关性,土壤中 Cd,Cr,Cu,As 与花蕾中 6 种重金属元素呈显著或极显著正相关,其中土壤与山银花中的 Cr,Cu 之间有极显著的正相关性,土壤与花蕾中 Cd 和 As 元素间显著正相关。表明山银花对土壤中的重金属 Cd,Cr,Cu,As 富集较强,各元

素间可能存在协同作用。此外,重金属元素来自同一污染源也可能导致这一结果。土壤中的 Hg 和 Pb 与山银花中的各重金属元素呈现不同程度负相关,其中与 Pb 山银花的 Cr,As 呈显著负相关,与山银花中的 Cd,Cu,Hg 呈极显著负相关。

土壤中 Pb 随种植年限的增加是逐渐减少的,植株却逐年增加,这可能由于年限的增加,山银花对土壤中 Pb 不断吸收而导致土壤中 Pb 的减少,而花蕾中含量增加;土壤微生物对 Pb 的固定,以及被吸附、螯合或是淋失也会导致土壤中 Pb 含量下降。另外,也表明了山银花吸收重金属时,Pb 与其他元素间存在着拮抗抑制作用,山银花对 Hg 和 Pb 存在选择性吸收现象。

表 10 土壤与山银花重金属元素的相关性分析

根区土壤	山银花花蕾					
	铬(Cr)	镉(Cd)	铜(Cu)	砷(As)	汞(Hg)	铅(Pb)
铬(Cr)	0.970**	0.912*	0.991**	0.987**	0.988**	0.966**
镉(Cd)	0.986**	0.936*	0.954*	0.963**	0.981**	0.978**
铜(Cu)	0.971**	0.909**	0.977**	0.975**	0.981**	0.961**
砷(As)	0.941*	0.987**	0.957*	0.936*	0.955*	0.996**
汞(Hg)	-0.456	-0.255	-0.426	-0.431	-0.429	-0.333
铅(Pb)	-0.951*	-0.974**	-0.965**	-0.957*	-0.970**	-0.996**

4 结论

(1) 山银花根区土壤 Cd,Cr,Cu,As 含量随种植年限增加而递增,Hg 含量差异不明显,Pb 含量逐渐降低。均未超过标准限定值。除 Cd 和 Hg 逼近警戒线外,其余元素在长时间内不会造成威胁。土壤重金属单因子污染指数除 Pb 的逐渐减小外,其余重金属的单因子污染指数均呈上升趋势。1~10 a 的土壤综合污染指数小于 0.7,属于清洁水平,10 a 以上的土壤综合污染指数均大于 0.7,处于警戒线。总体(1~25 a)的综合污染指数为 0.72,污染等级处于警戒线。土壤重金属 Cr,Cu,As 之间呈极显著正相关,Pb 与 Cr,Cu,As 呈显著负相关,其余元素相关性不明显。

(2) 山银花重金属平均含量和污染指数随着种植年限的增加而增加,不同年限重金属平均含量均未超标,但 24 a 的 Cr 含量为 0.709 mg/kg,25 a 的 Cr 含量为 0.730 mg/kg,超过限定值 0.7 mg/kg。不同重金属的单因子污染指数顺序为 1>Cr>cu>As>Pb>Hg>Cd,均处于安全状态。综合污染指数在 1~15 a 间小于 0.7,为安全等级;16~20 a 和 21~25 a 的综合污染指数均大于 0.7,污染等级为警戒线,尚清洁水平。

(3) 土壤中的 Cu,Cr,Cd 和 As 与山银花中 6 种重金属元素均有显著或极显著的正相关性,土壤与花

蕾中 Cr,Cu 之间呈极显著正相关,Cd 和 As 呈显著正相关;土壤中 Hg 和 Pb 与花蕾中各重金属元素呈不同程度负相关,其中土壤 Pb 与花蕾 Cr,As 呈显著负相关,与花蕾中 Cd,Cu,Hg 呈极显著负相关。

参考文献:

[1] 程若敏,梁晓乐,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(3):232-234.

[2] 黄秀忠.盛开在黔西南州的金银花[J].中国林业产业,2004(9):61-62.

[3] 吴世福,张永清.影响金银花植株体内绿原酸含量的因素[J].山东医药工业,2003,22(2):32-34.

[4] 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.

[5] 姚黎霞,茹巧美,何兴良.蔬菜重金属元素污染研究进展[J].现代农业科技,2013(22):208-210.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 薛延丰,石志琦,不同种植年限设施地土壤养分和重金属含量的变化特征[J].水土保持学报,2011,25(4):125-130.

[9] 万红友,周生路,赵其国.不同种植年限菜地土壤基本性质和重金属含量变化[J].河南农业科学,2006(11):81-84.

## 4 结论与讨论

水库消涨带水土生态的修复是一项系统复杂的研究课题,涉及到水土保持学、植物学、水利工程学、生态工程学等多门学科,若要实现大规模推广实施,需开展更加深入的研究、观测及试验。本次研究是基于对深圳地区水库消涨带的认识,因地制宜、因害设防地进行了技术体系研究,其中诸多问题(如水库运行期水位变幅规律、水生植物抗性、库岸整地可行性和整地后的抗侵蚀能力等问题)还需进一步论证。但是,笔者认为开展水库消涨带水土生态修复的根本点是明确的,即为:营造稳定的植物生长土壤环境、选择适生的两栖植物品种。因此,采用人工辅助措施整地,营造改善库岸土壤环境,选用耐淹、抗旱、生长周期长的两栖植物品种,是能否成功开展消涨带水土生态修复的关键。这就需要我们开展大量的针对不同区域、不同消涨带类型的各类工程辅助材料应用、两栖植物品种的试种研究,从而筛选出目前最为科学、生态、长效的修复技术模式。未来,伴随国家生态文明建设战略的逐步推进和大力投入,相信会有越来越多的高新生态技术方法、材料等在水库消涨带水土生态修复中得到推广应用;同时,也应借鉴国外关于此领域的先进修复技术、理念,从而最终实现水库消涨

带修复技术难题的解决,使各类水库库区消涨带的生态服务功能、生态景观功能得到完全的修复。

### 参考文献:

(上接第315页)

- [1] 张建春,彭补拙. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建[J]. 生态学报,2003,23(1):56-63.
- [2] Whigham D F. Ecological issues related to wetland preservation, restoration, creation and assessment[J]. Science of the Total Environment,1999,240(1):31-40.
- [3] 黄川,谢红勇,龙良碧. 三峡湖岸消落带生态系统重建模式的研究[J]. 重庆教育学院学报,2003,16(3):63-66.
- [4] 方华,陈天富,林建平,等. 李氏禾的水土保持特性及其在新丰江水库消涨带的应用[J]. 热带地理,2003,23(3):214-217.
- [5] 莫熙穆,80. 榕属的一种(湖榕)能忍耐长期洪涝和干旱可能是生态两栖植物[C]//全球气候变化和生物多样性国际会议论文集. 1996:79-80.
- [6] 汪松年. 水生态修复的理论与实践(上)[J]. 上海建设科技,2006(2):20-22.
- [7] 林木隆,李向阳,杨明海. 珠江流域河流健康评价指标体系初探[J]. 人民珠江,2006,27(4):1.
- [8] 康志,杨丹菁,靖元孝. 水库库岸消涨带植被恢复研究[J]. 中国农村水利水电,2007(10):22-25.
- [9] 中国的生物多样性:现状及其保护对策[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [10] 陈碧华,杨和连,周国俊,等. 大棚菜田种植年限对土壤重金属含量及酶活性的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(1):213-218.
- [11] 乐乐,何腾兵,赵欢,等. 土壤环境对金银花质量影响的研究进展[J]. 贵州农业科学,2013,41(3):91-94.
- [12] 肖丹,熊康宁,兰安军,等. 贵州省绥阳县喀斯特石漠化分布与岩性相关性分析[J]. 地球与环境,2006,34(2):77-80.
- [13] 陈永超. 贵州省绥阳县小关乡金银花产业发展调查与思考[J]. 北京农业,2011(36):53-55.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,1999.
- [15] NY/T391—2000. 中华人民共和国农业行业标准[S]. 中华人民共和国农业部,2000.
- [16] GB15618—1995. 中华人民共和国国家标准. 土壤环境质量标准[S]. 国家环境保护局,国家技术监督局,1995.
- [17] WM/T2—2004 药用植物及制剂外经贸绿色行业标准[S]. 中华人民共和国商务部,2005.
- [18] 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.
- [19] 宋春然,何锦林,谭红,等. 贵州省农业土壤重金属污染的初步评价[J]. 贵州农业科学,2005,33(2):13-16.
- [20] 刘周莉,何兴元,陈玮,等. 镉胁迫下金银花的生长反应及积累特性[J]. 生态学杂志,2009,28(8):1579-1583.
- [21] 杨玉海,蒋平安. 不同种植年限苜蓿地土壤理化特性研究[J]. 水土保持学报,2005,19(2):110-113.
- [22] Udo Roth, Edda von Roepenack-Lahaye, Stephan Clemens. Proteome changes in *Arabidopsis thaliana* roots upon exposure to  $Cd^{2+}$  [J]. Journal of Experimental Botany,2006,57(15):4003-4013.
- [23] 毛建华. 正确认识化肥的重要作用[J]. 天津农业科学,2005,11(2):1-3.
- [24] 黄国勤,王兴祥,钱海燕,等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境,2004,13(4):656-660.