

Differential Analysis Heavy Metal Elements in Soil of *Gastrodia elata* Bl. Planting in Zhaotong, Yunnan

Jianjia Xu, Jing Zeng, Weijun Dong, Jinlei Chen, Yadong Hu, Yingyao Xu, Xuhong Gao*

School of Energy and Environmental Science, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan
Email: *771920989@qq.com

Received: Sep. 19th, 2018; accepted: Oct. 10th, 2018; published: Oct. 17th, 2018

Abstract

Zhaotong is one of the earliest areas for artificial cultivation of *Gastrodia elata* in China and an important producing area of *Gastrodia elata* in China. This study from Zhaotong of Yunnan area four planting base (mark, male, YanJin, YiLiang town) to collect soil samples, using inductively coupled plasma emission spectrometry to soil samples As, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni were determined. The results show that heavy metal element content in different planting base difference to be markedly, the overall performance of heavy metal content is higher than the roots of heavy metal content; on the surface of principal component analysis shows that the factor loading quantity in the main composition of Pb in the largest, reflecting the Pb of *Gastrodia elata* surface soil enrichment of heavy metals in the impact assessment index plays a main influence factors.

Keywords

Gastrodia elata Soil, Heavy Metal Elements, Principal Component Analysis, Contribution

云南昭通地区天麻种植土壤中重金属元素差异性分析

徐建家, 曾 静, 董维俊, 陈金磊, 胡亚东, 徐应垚, 高旭红*

云南师范大学能源与环境科学学院, 云南 昆明
Email: *771920989@qq.com

收稿日期: 2018年9月19日; 录用日期: 2018年10月10日; 发布日期: 2018年10月17日

*通讯作者。

文章引用: 徐建家, 曾静, 董维俊, 陈金磊, 胡亚东, 徐应垚, 高旭红. 云南昭通地区天麻种植土壤中重金属元素差异性分析[J]. 土壤科学, 2018, 6(4): 115-124. DOI: 10.12677/hjss.2018.64015

摘要

云南昭通具有得天独厚的自然地理条件, 所产天麻质量优良, 是中国人工种植天麻最早地区之一和全国天麻重要产地。本研究从云南昭通地区大关、镇雄、盐津、彝良四个种植基地采集天麻种植土壤样品, 采用电感耦合等离子发射光谱(ICP)法对土壤样品中As、Cd、Cr、Cu、Pb、Ni 6种重金属元素进行了测定与分析。结果表明: 不同种植基地中重金属元素含量差异明显, 总体表现出根部重金属含量高于表面重金属含量, 主成分分析说明Pb的因子载荷量在主成分中最大, 体现出Pb在影响天麻表面土壤重金属元素富集评价的指标中起主要影响因子。

关键词

天麻土壤, 重金属元素, 主成份分析, 贡献率

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

天麻为兰科植物天麻(*Gastrodia elata* blel.)的干燥块茎, 具有息风止痉、平抑肝阳、祛风通络的功效, 临床上主要用于头痛眩晕、肢体麻木、小儿惊风、癫痫抽搐、破伤风等的治疗[1]。近年来的研究发现, 天麻还具有增智、健脑、延缓衰老的作用, 对老年性痴呆症有一定的疗效[2]。现代研究证明天麻具有显著的抗惊厥、催眠和扩张血管的作用, 临床主要用于神经衰弱及其综合症、血管神经性头痛、经前期等病症[3]。例如天麻素可预防乙醇引起的肝损伤和肝细胞凋亡[4]; LEA 蛋白增强大肠杆菌的低温耐受性[5][6]。天麻资源主要分布在吉林、辽宁、河北、河南、安徽、湖北、甘肃、四川、贵州、云南、陕西、西藏等地, 其中云南、四川、贵州为主要产区[7]。昭通位于乌蒙山区, 云南省东北部, 地势西南高、东北低, 属典型的山地构造地形, 山高谷深, 土壤以黄壤、红壤、紫色土为主, 土壤肥力明显高于其他天麻产区[8], 具备种植优质天麻的地貌类型和土壤类型条件。昭通得天独厚的自然条件, 所产天麻质量优良, 是中国人工种植天麻最早地区之一和全国天麻重要产地[9]。《中华道地药材》记载: 天麻主产于四川、云南、湖北、陕西、贵州等省, 东北及华北亦产。现以四川、贵州、云南产为道地药材[10]。云南省昭通天麻特有的品质如描述的“个大、肥厚、椭圆、略扁、表面黄白至深棕色, 点状环纹、鹦鹞嘴、脐眼明显、质坚、体实、无空心、特异气味浓”[11]。

因此, 以不同产地种植天麻的土壤为对象, 通过测定包括上述元素在内的 6 种重金属元素, 并采用湿法消解法、电感耦合元素光谱法和主成份分析, 对天麻土壤中重金属元素的分析来更好地选择天麻优质种植产区, 以提高天麻产量和品质, 来增加经济效益。目前国内较少找到有关天麻土壤重金属元素富集的报道。

2. 材料和方法

2.1. 地理位置

昭通市位于云贵高原云南省东北部, 云南, 四川, 贵州三省交界处, 地理位置在东经 102°52'~105°19',

北纬 26°34'~28°40'之间,地势西南高,东北低。海拔 267~4040 米。总面积 23,021 平方公里。

2.2. 土壤样品采集

用于研究分析的样品土壤分别采集于云南昭通(大关、镇雄、盐津、彝良)四个不同的天麻主要种植基地内生长良好的天麻的种植土壤距表面深 2 厘米(表面)处及距表面 15 厘米(根部)处土壤。采样方法:采用系统布点法,每个采样点的取土深度及采样量均匀一致,土样上层与下层的比例相同,取样器垂直于地面入土,深度相同;采样时间位置:2016 年 7 月于云南昭通(大关基地、镇雄基地、盐津基地、彝良基地);采样土层:表面 2 cm 和天麻根际 15 cm。所收集天麻土壤(编号 S1~S8)样品,见表 1。

2.3. 试剂和仪器

盐酸(HCl),硝酸(HNO₃),高氯酸(HClO₄),将准备好的待测样品溶液在 ICP-MS 上用原装进口 100 µg/ml: As、Cd、Cr、Cu、Pb、Ni 100ml 6 种多元素混合标准溶液进行测定。LWY-84B 型控温式远红外消煮炉(中国吉林),Optima8300 型电感耦合等元素原子发射光谱仪(美国),ME204E 型电子分析天平(中国上海)。

2.4. 土壤样品溶液制备

采用国标(GB/T17141-1997)中的湿法消解法进行土壤样品制备,具体方法如下:将取自不同地方的天麻种植土壤样品在干燥的环境条件下晾干至恒重,过 100 目筛。使用电子天平精密称取各土壤样品 0.5 g (每种样品称取两份用于对照实验),置于洁净的试管中并贴上标签,加入混酸(硫酸:硝酸:高氯酸 = 1:1:1) 3 ml,混合消化液湿法消化,加酸顺序为加入硫酸 1 ml,密闭。将试管放入红外消解仪中,消解仪在 100 摄氏度的工作环境下,消解 30 min 后加入硝酸 1 ml,消解 30 min 后加入高氯酸 1 ml,继续消解 60 min 后消解完毕,待充分冷却后过滤得到消解液,将消解液定量转移至 100 ml 容量瓶中,加蒸馏水至刻度线即得。标准参照物与空白采用同样方式消解。

2.5. 土壤样品溶液测定

使用电感耦合等离子原子发射光谱仪进行样品测定分析,具体测定步骤见图 1。

Table 1. The sample information

表 1. 样品信息

编号	产地	土层
S01	云南昭通大关	表面 2 cm
S02	云南昭通大关	根际 10 cm
S03	云南昭通镇雄	表面 2 cm
S04	云南昭通镇雄	根际 15 cm
S05	云南昭通盐津	表面 2 cm
S06	云南昭通盐津	根际 15 cm
S07	云南昭通彝良	表面 2 cm
S08	云南昭通彝良	根际 15 cm



Figure 1. Soil sample detection procedure

图 1. 土壤样品检测步骤

注意：如果试验时间长，水循环机的气水分离瓶需要拆开晾干，下次使用前再安装上去；样品/标液浓度从低到高可以接着测，不用硝酸清洗液或超纯水清洗。

3. 结果与分析

土壤样品中重金属含量原数据采用 Excel2010 和 SPSS20.0 软件进行处理，云南昭通地区天麻土壤中重金属元素含量分析，见(表 2，表 3)。

3.1. 四个种植基地中天麻种植土壤的重金属元素差异分析

采用 Excel2010 制作所检测到六种重金属元素：As、Cd、Cr、Cu、Pb、Ni 在不同地区呈现出的相关图，见(图 2)。① 其中 As 元素在镇雄根际土壤表现较为明显，在彝良根际土壤含量较低，可忽略不计，见图 2(a)；② Cd 元素主要在盐津根际土壤含量最高，而在大关地区土壤，镇雄表面和盐津表面则无明显，见图 2(b)；③ Cr 元素在彝良地区土壤的含量明显高于其他检测地区，见图 2(c)；④ Cu 元素比重在大关和彝良地区普遍高于其他检测地区，见图 2(d)；⑤ Pb 元素在大关地区的比重高于其他检测地区，见图 2(e)；⑥ Ni 元素在彝良地区的含量最高，在盐津的含量最低，可忽略不计，见图 2(f)。因此，初步分析重金属元素主要在彝良，大关这两个检测地区较为明显。主要在彝良，大关这两个检测地区较为明显。

Table 2. Contents of heavy metal elements ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

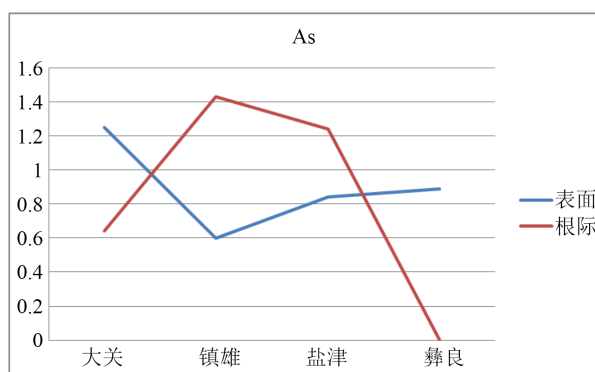
表 2. 各地样品表面土壤中重金属元素的含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni
大关表面 2 厘米	1.250	0.000	1.030	1.820	4.000	0.930
镇雄表面 2 厘米	0.600	0.000	0.990	0.430	1.860	0.380
盐津表面 2 厘米	0.840	0.000	0.610	0.400	2.310	0.020
彝良表面 2 厘米	0.890	0.020	1.460	3.820	2.820	1.090

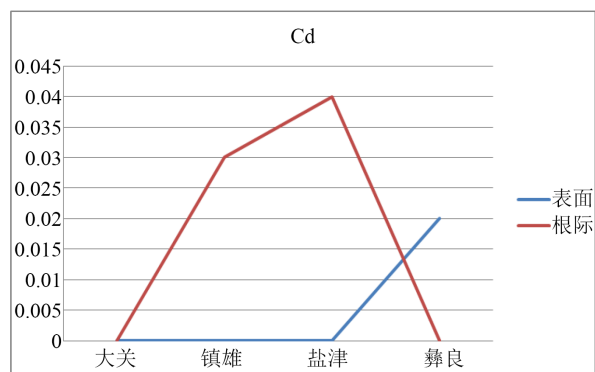
Table 3. Contents of heavy metal elements in rhizosphere soil of samples from different regions ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

表 3. 各地样品根际土壤中重金属元素的含量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni
大关根际 15 厘米	0.640	0.000	0.950	5.710	3.030	0.740
镇雄根际 15 厘米	1.430	0.030	1.260	0.650	1.720	0.450
盐津根际 15 厘米	1.240	0.040	0.840	0.820	2.480	0.000
彝良根际 15 厘米	0.000	0.000	2.970	4.310	1.250	1.970



(a)



(b)

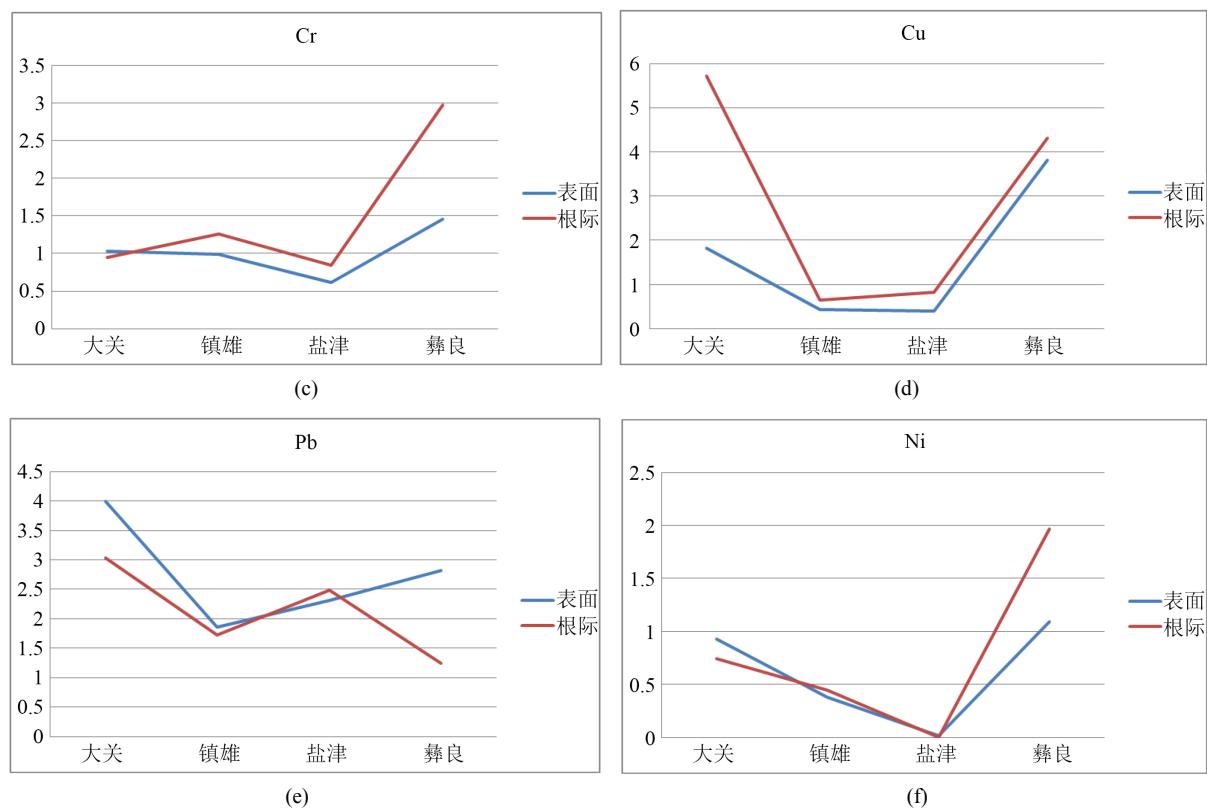


Figure 2. Heavy metal elements in the soil planted by *Gastrodia elata* in the four planting bases

图 2. 四个种植基地中天麻种植土壤的重金属元素含量

3.2. 同一种植基地中天麻种植土壤的重金属元素差异分析

同一种植基地中天麻种植土壤的重金属元素含量采用 Excel2010 制图, 见图 3, 结果表明: ① 在大关地区 Cu 元素在表面土层占较大比重, 而 Pb 元素在根际土层占较大比重, 大关表面金属含量由低到高: $Cd < Cr < Ni < As < Cu < Pb$, 大关根际金属含量由低到高: $Cd < As < Ni < Cr < Pb < Cu$, 总体表现出表面土层重金属元素富集比根际土层重金属元素富集多, 见图 3(a); ② 镇雄地区无论表面土层还是根际土层 Pb 元素所占比重高于其它元素, 总体的富集情况类似, 金属含量由低到高: $Cd < Ni < Cu < As < Cr < Pb$, 见图 3(b); ③ 盐津地区同样出现表面土层和根际土层 Pb 元素所占比重高于其它元素, 大致趋势相同, 金属含量由低到高: $Cd < Ni < Cu < Cr < As < Pb$, 见图 3(c); ④ 彝良地区 Cu 元素表现出表面土层和根际土层均占有较大比重, 属于优势元素, Cd 元素和 As 元素含量几乎可以忽略不计, 而综合来看, 彝良地区的重金属元素富集在根际土层较为明显, 彝良表面金属含量由低到高: $Cd < As < Ni < Cr < Pb < Cu$, 彝良根际金属含量由低到高: $Cd < As < Pb < Ni < Cr < Cu$, 见图 3(d)。

3.2.1. 四个种植基地中天麻表面种植土壤的重金属元素差异分析

根据天麻表面种植土壤原数据采用 Excel2010 制图, 见图 4, 结果表明: 大关表面土壤中 Pb 元素含量高于其他种植基地表面土壤中 Pb 元素含量; 彝良表面土壤中 Cu 元素含量高于其他种植基地表面土壤中 Cu 元素含量; 总体表现出重金属含量: 大关表面 > 彝良表面 > 盐津表面 > 镇雄表面。

3.2.2. 四个种植基地中天麻根际种植土壤的重金属元素差异分析

根据天麻根际种植土壤原数据采用 Excel2010 制图, 见图 5, 结果表明: 大关根际土壤中 Cu 元素含

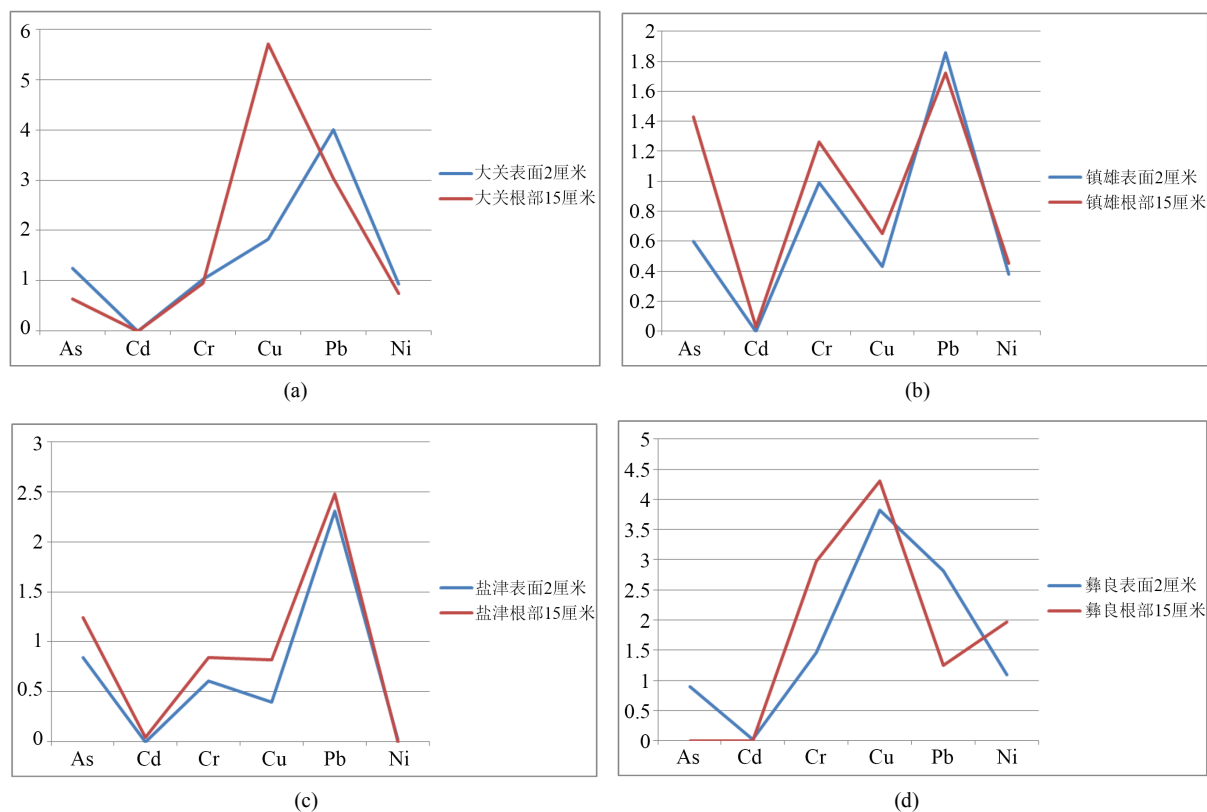


Figure 3. Heavy metal elements in the soil planted by *Gastrodia elata* in the same planting base
图 3. 同一种植基地中天麻种植土壤的重金属元素含量

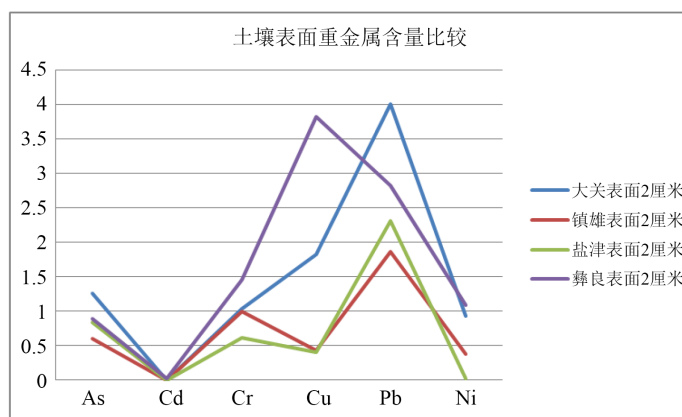


Figure 4. Heavy metal content of the planting soil on the surface of *Gastrodia elata* in the four planting bases

图 4. 四个种植基地中天麻表面种植土壤的重金属元素含量

量高于其他种植基地表面土壤中 Cu 元素含量；彝良表面土壤中 Cr 元素含量高于其他种植基地表面土壤中 Cr 元素含量；总体表现出重金属含量：大关根际 > 彝良根际 > 盐津根际 > 镇雄根际。

3.3. 四个种植基地天麻种植土壤中的重金属元素主成分分析

主成分分析是识别重金属来源的有效办法之一[12]。本研究利用 SPSS 软件对表层和深层土壤重金属元素进行主成分分析，并 Kaiser-Harris 准则保留特征值大于 1 的主成分[13]。

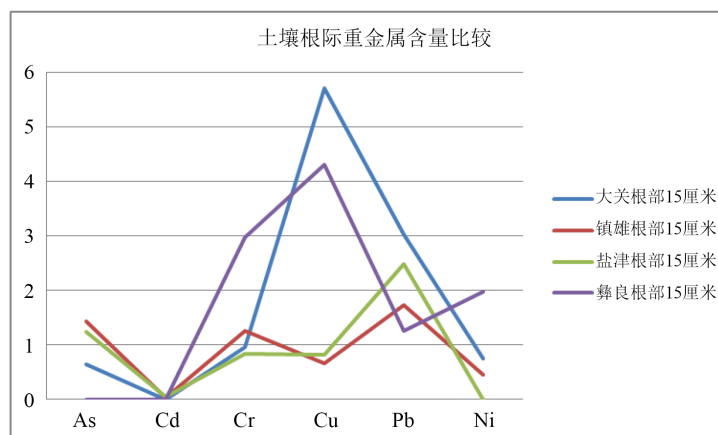


Figure 5. Contents of heavy metal elements in root-planting soil of *Gastrodia elata* in the four planting bases

图 5. 四个种植基地中天麻根际种植土壤的重金属元素含量

为寻找昭通各地种植园中天麻土壤重金属物质富集分布的规律，对重金属物质：As、Cd、Cr、Cu、Pb、Ni 这六种元素进行主成分分析，结果见表 4~6；以及图 6。由表 5 可知：前两个特征根均大于 1，说明前 2 个因子在影响天麻表面土壤重金属元素富集评价的指标中起主导地位，2 个主成分的累计贡献率达 86.511%，能够客观地反映天麻表面土壤重金属元素富集情况，故选取前 2 个主成分进行分析。由表 6 可知，第一主成分包含的各因子其载荷系数综合反映了 Cr、Ni、Cu 等元素对第一主成分的影响，Cr > Ni > Cu > Pb > As。其中，Cr 的因子载荷量在第一主成分中最大，说明其对天麻表面土壤质量的影响最大。第二主成分分析反映了 Pb、Cu、Ni 等对元素天麻表面土壤质量的影响，Pb > Cu > Ni > As > Cr。其中，Pb 的因子载荷量在第二主成分中最大。通过图形能够更直观的看出各种重金属元素的分布规律，便于实验研究和讨论。由图 6 分析，在第一主成分中 Cr、Ni、Cu 元素均大于 0，而 Pb 和 As 均小于 0，Cr > Ni > Cu > Pb > As；在第二主成分中，Pb > Cu > Ni > As > Cr；综合看出 Cr、Pb 两种重金属元素偏离坐标轴原点最远，说明 Cr、Pb 两种重金属元素对云南昭通天麻种植土壤重金属富集的贡献率最大，也是主要影响天麻种植土壤质量的元素。

4. 讨论

4.1. 土壤中重金属含量及富集现状评价

参照中华人民共和国环境保护行业标准(HJ/T1662004)《土壤环境监测技术规范》。

单项富集指数公式为：

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

内梅罗指数[14]公式为：

$$PN = \left[\frac{1}{2} (P_{\text{最大}}^2 + P_{\text{平均}}^2) \right]^{1/2} \quad (2)$$

S_i 为第 i 种金属的土壤环境质量指标[2] [3] (As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 依次为 15、0.2、90、35、0.15、40、35、100 mg/kg)

以《土壤环境质量标准》(GB15618—1995)得到的结果，见表 7。

Table 4. Heavy metal element correlation matrix in soil of *Gastrodia elata***表 4.** 天麻种植土壤中重金属元素相关性矩阵

	As	Cr	Cu	Pb	Ni
As	1.000				
Cr	-0.661	1.000			
Cu	-0.539	0.482	1.000		
Pb	0.458	-0.512	0.152	1.000	
Ni	-0.629	0.902	0.691	-0.142	1.000

提取方法：主成份分析。

Table 5. Characteristics and contribution rates of heavy metal elements in the soil of *Gastrodia elata***表 5.** 天麻种植土壤中重金属元素特征值与贡献率

主成分	特征值	方差贡献率	累积方差贡献率%
1	3.09	61.796	61.796
2	1.236	24.715	86.511

提取方法：主成份分析。

Table 6. Heavy metal element factor loading matrix in planting soil of *Gastrodia elata*^a**表 6.** 天麻种植土壤中重金属元素因子载荷矩阵^a

	1	2
As	-0.844	0.144
Cr	0.929	-0.162
Cu	0.704	0.603
Pb	-0.424	0.877
Ni	0.917	0.238

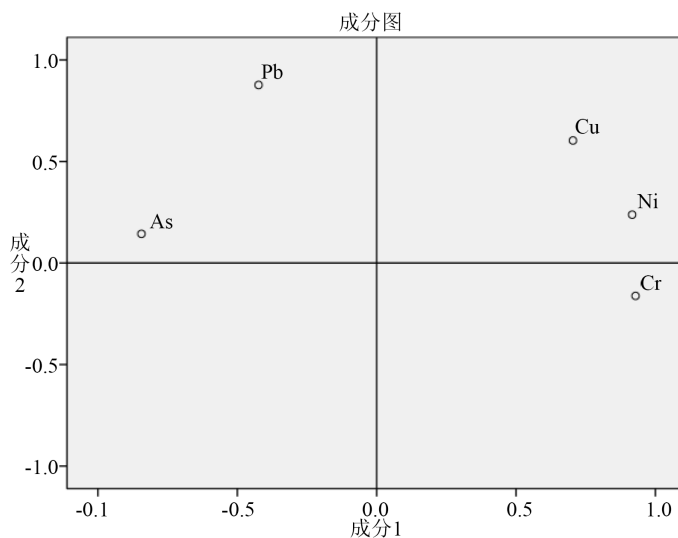
提取方法：主成份。^a已提取了 2 个成份。**Figure 6.** Two-dimensional distribution of heavy metal elements in the soil of *Gastrodia elata***图 6.** 天麻种植土壤中重金属元素二维成分分布图

Table 7. Heavy metal element pollution grade evaluation of *Gastrodia elata* soil in Zhaotong area
表 7. 昭通地区天麻土壤重金属元素富集等级评价

	单项富集指数 P_i (平均值)						综合富集指数(P_n)	富集等级评价	富集等级评价阈值
	基地								
	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni			
大关表面 2 厘米	0.083	0.000	0.011	0.052	0.114	0.023	0.087	安全	<0.7
大关根际 15 厘米	0.043	0.000	0.011	0.163	0.087	0.019	0.122	安全	<0.7
镇雄表面 2 厘米	0.040	0.000	0.011	0.012	0.053	0.010	0.053	安全	<0.7
镇雄根际 15 厘米	0.095	0.150	0.014	0.019	0.049	0.011	0.164	安全	<0.7
盐津表面 2 厘米	0.056	0.000	0.007	0.011	0.066	0.001	0.070	安全	<0.7
盐津根际 15 厘米	0.083	0.200	0.009	0.023	0.071	0.000	0.149	安全	<0.7
彝良表面 2 厘米	0.059	0.100	0.016	0.109	0.081	0.027	0.088	安全	<0.7
彝良根际 15 厘米	0.000	0.000	0.033	0.123	0.036	0.049	0.092	安全	<0.7

由表 7 可知, 各种昭通天麻种植园未出现重金属元素超标现象, 其中镇雄种植园表面土壤情况综合富集指数最低, 但其天麻根际土壤重金属元素较高。综合来看, 彝良种植园天麻土壤最优质。

4.2. 四个种植基地中天麻种植土壤重金属元素富集评价

参照《土壤环境质量标准》(GB15618-1995), 见(表 8), 本次试验中并未出现重金属元素超标现象, 其中通过综合比对分析, 大关表面土壤的重金属元素富集情况: 主要重金属富集元素 Pb, $P_n = 0.087 < 0.7$; 大关根际土壤的重金属元素富集情况: 主要重金属富集元素 Cu, $P_n = 0.122 < 0.7$; 镇雄表面土壤的重金属元素富集情况: 主要重金属富集元素 Pb, $P_n = 0.053 < 0.7$; 镇雄根际土壤的重金属元素富集情况: 主要重金属富集元素 Cd, $P_n = 0.164 < 0.7$; 盐津表面土壤的重金属元素富集情况: 主要重金属富集元素 Pb, $P_n = 0.070 < 0.7$; 盐津根际土壤的重金属元素富集情况: 主要重金属富集元素 Cd, $P_n = 0.149 < 0.7$; 彝良表面土壤的重金属元素富集情况: 主要重金属富集元素 Cu, $P_n = 0.088 < 0.7$; 彝良根际土壤的重金属元素富集情况: 主要重金属富集元素 Cu, $P_n = 0.092 < 0.7$ 。通过总结可知, 天麻种植园总体重金属元素: Cu、Pb 和 Cd。原因分析: 作物灌溉过程以及硫酸铜杀虫剂等农药的施用也使一部分铜进入土壤和植物体内, 导致 Cu 元素富集; Pb 元素主要随污水进入土壤, 很容易被土壤有机质和粘土矿物吸附, 污灌区 Pb 的累积分布特点是离富集源近土壤含量高; 富集土壤对 Cd 元素有很强的吸附力, 特别是粘土和有机质多的土壤吸附 Cd 的能力较强, 容易造成 Cd 的富集, 很可能来源于电子制造业富集, 如镉镍电池[15]、镉镀层[16]、颜料[17]等。同时, 作物也对 Cd 有较强的富集能力; 此外有机肥料来源于畜禽粪便、污泥、城镇垃圾和工业垃圾, 其中含有一定量的重金属, 有机物料和由此生产的商品有机肥料中重金属 Cd 的含量较高[18]。土壤中的重金属可以通过食物链进入人体累积, 并最终影响人体健康[19]。

5. 结论

植物源中药中的元素组成、含量与其生长的气候环境、地理位置、土壤环境、种植习惯等外界因素有很大的关系, 同时也与其自身品种、土壤重金属富集情况、基因以及酶等内在因素密切相关。天麻在全国的种植区域比较广, 外在因素差异很大, 但是也在相对接近、环境类似的一定区域形成了比较知名的、规模化的产区[20], 比如云贵川地区和长江三峡地区。研究表明测定了天麻中 As、Cd、Cr、Cu、Pb、Ni 重金属元素量的方法, 并应用此法对采集自云南各地的天麻样品中重金属元素量进行了测定。研究结

Table 8. Soil environmental quality standards (GB15618-1995) ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
表 8. 土壤环境质量标准(GB15618-1995) ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

级别	pH	重金属含量(\leq)				
		Pb	Cu	Cd	Ni	As
一	自然背景	35	35	0.20	40	15
二	<6.5	250	50	0.30	40	40
	6.5~7.5	300	100	0.30	50	30
	>7.5	350	100	0.60	60	25
三	>6.5	500	400	1.00	200	40

果可以为天麻重金属元素的快速分析、种植产区的划分、有效成分-功效-重金属元素之间相关性、质量评价等方面的研究提供技术支持和科学依据。

基金项目

国家自然科学基金项目(41661069)和云南省大学生创新创业项目 2016 年。

参考文献

- [1] 中国药典[S]. 一部. 2015.
- [2] 张赫名. 天麻的研究进展[J]. 中药研究与信息, 2005(11): 19-22.
- [3] 吴刚, 秦民坚, 康继川, 季祥彪. 不同产地天麻质量评价[J]. 现代中药研究与实践, 2007(1): 40-43.
- [4] Zhang, Y., Wang, C., Yu, B., *et al.* (2018) Gastrodin Protects against Ethanol-Induced Liver Injury and Apoptosis in HepG2 Cells and Animal Models of Alcoholic Liver Disease. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, **41**, 670-679. <https://doi.org/10.1248/bpb.b17-00825>
- [5] Yuan, Y., Jin, X.H., Liu, J., *et al.* (2018) The *Gastrodia elata* Genome Provides Insights into Plant Adaptation to Heterotrophy Yuan. *Nature Communications*, **9**, 1615. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03423-5>
- [6] Zeng, X., Li, Y.Y., Ling, H., *et al.* (2018) Revealing Proteins Associated with Symbiotic Germination of *Gastrodia elata* by Proteomic Analysis. *Botanical Studies*, **59**, 8. <https://doi.org/10.1186/s40529-018-0224-z>
- [7] 国家中医药管理局《中华本草》编委会. 中华本草[M]. 上海: 上海科技出版社, 1999.
- [8] 田孟华, 王家金, 张公信, 戴堃, 刘旭燕, 张昌飞, 田治蛟, 余显伦, 刘大会. 云南昭通天麻不同产区土壤肥力特征与评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(11): 2653-2659.
- [9] 周铨, 杨兴华, 梁汉兴, 等. 天麻形态学[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-9.
- [10] 彭成. 中华地道药材[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2013: 3670-3689.
- [11] 中国药典[S]. 一部. 1995.
- [12] 刘爱利, 王培法, 丁园圆. 地统计学概论[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 96-97.
- [13] 何晓群. 多元统计分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [14] 李祚泳, 丁晶, 彭荔红. 环境质量评价原理与方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [15] 黄旌理. 镉的生产及在镉镍电池中的应用[J]. 电池, 1989(5): 20-23.
- [16] 谢勤. Zn-Ni、Zn-Ni-P 合金电镀工艺及其基础理论研究[D]: [博士学位论文]. 长沙: 中南大学, 2001.
- [17] Dickenson, J., 李诗华. 镉在颜料中的应用(镉译文之五) [J]. 中国有色冶金, 1985(11): 35-37.
- [18] 刘荣乐, 李书田, 王秀斌, 等. 我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析[J]. 农业环境科学学报, 2005, 24(2): 392-397.
- [19] Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y., *et al.* (2008) Health Risks of Heavy Metals in Contaminated Soils and Food Crops Irrigated with Waste Water in Beijing, China. *Environmental Pollution*, **152**, 686-692. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.056>
- [20] 于生, 郭舒臣, 姚卫峰, 等. 基于 ICP-MS 法的不同产地天麻中 20 种元素分析[J]. 中草药, 2017, 17-3619-05.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-7255，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjss@hanspub.org