

贵州省毕节市威奢乡农田土壤环境质量特征研究

李翠翠^{1,2}, 李世杰^{1,*}, 罗荣琴^{1,2}, 王晓丹^{1,2}, 张进^{1,2}

(1. 环境地球化学国家重点实验室, 中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 本文采用元素地球化学的研究理论与方法对贵州省毕节市威奢乡耕作土壤环境特征进行研究并采用单因子指数法和综合污染指数法对其环境质量进行科学评价, 得出如下主要研究结果: 威奢乡现代耕作土壤总体呈弱酸性, pH 值介于 5.10 ~ 7.38 之间, 平均值为 6.12; 有机质含量丰富, 介于 3.29% ~ 12.06% 之间, 平均值为 5.85%; 土壤全氮含量介于 1735 ~ 6325 mg/kg 之间, 平均值为 3722 mg/kg; 全磷含量介于 667.2 ~ 1579.69 mg/kg 之间, 平均值为 1161.4 mg/kg; 全钾含量介于 5016.06 ~ 15063.03 mg/kg 之间, 平均值为 9186.2 mg/kg, 对比全国第二次土壤普查养分分级标准, 研究区土壤全氮、全磷含量为一级, 无需补充, 但全钾含量为五级, 应适量施加含钾元素肥料, 以提高土壤肥力; 研究区 Ca、Mg 元素含量均低于贵州省表层土壤平均值, 应注意适量补充 Ca、Mg 元素; 有害重金属元素 Cr、Cd、As、Pb 含量具有 Cr > Pb > As > Cd 的区域特征, 且 Cr、Cd 含量均高于贵州省表层土壤平均值。单因子污染指数法评价结果显示研究区农耕土壤 Cd 已经明显污染, 成为该地区最主要的污染物。内梅罗综合污染指数法评价结果显示, 研究区大部分土壤已达到严重污染程度 ($P_{综} > 3$)。其中, 重金属 Cd、Zn 主要来源于外源污染, 且大部分富集在土壤表层, 给农业生产带来极大风险。

关键词: 威奢乡; 贵州省; 土壤环境; 污染; 土壤质量

中图分类号: S153; X852 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2014)02-238-07

土壤不仅是人类赖以生存的物质基础, 还是生态系统最重要的组成部分。土壤作为元素的储存库, 其元素的丰缺状况直接影响着农产品的品质与产量。因此, 查明土壤元素的丰缺状况无疑对发展农业生产具有重要作用, 而土壤环境质量好坏是影响农产品及人类健康安全的重要因素。然而, 近百年来, 由于人口迅速增加, 工业迅速发展和一些不适当的人为活动, 自然植被破坏, 开荒扩耕及其它过度的资源开发, 土壤环境污染日益严重, 农业土壤环境质量下降, 影响了农作物的生长, 也危害了人体健康。因此, 研究农业区土壤环境质量特征并对其进行科学评价对发展农业生产和提高农产品安全性具有重要意义。迄今为止, 国内外诸多学者已对土壤环境质量特征及其评价进行了广泛研究, 如, 南美、澳大利亚、美国、荷兰等国均已对土壤中土壤环境质量进行了研究与分析^[1-6], 而国内对于土壤环境的研究涉及到土壤地球化学特征、土壤微量元素、土壤环境质量评价标准的建立等方面^[7-11], 然而对于中

国西南喀斯特地区小区域内的土壤地球化学与土壤环境特征的研究大多仅局限于对土壤重金属元素的环境质量评价方面, 而对土壤地球化学元素丰缺状况的研究仍较薄弱, 而要评价一个区域的土壤环境质量, 必须对其中每个要素包括土壤地球化学元素进行研究, 然后才能进行综合评价, 得出该区域环境状况的总特征。故本文选取贵州省毕节市威奢乡农耕土壤为研究对象, 通过实地调查采样, 综合考虑土壤类型及土地利用等情况, 分析土壤元素组成和分布特征, 并对土壤元素的丰缺状况与土壤环境质量进行综合研究, 提出改良措施与建议^[12], 以期为喀斯特山区农业的可持续发展, 以及土地资源的合理利用、开发和保护提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于贵州省毕节市赫章县东南部威奢乡, 处于黔西北喀斯特地貌发育区。本区属中高山地貌类型区, 最高海拔 2440 m, 最低 1440 m, 平均海

收稿日期: 2013-03-18; 改回日期: 2013-10-13.

基金项目: 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室资助项目。

第一作者简介: 李翠翠(1985-), 女, 硕士研究生, 从事环境科学与环境工程研究; E-mail: licuicui10@mails.gucas.ac.cn.

* 通讯作者: 李世杰(1954-), 男, 研究员, 博士生导师, 从事第四纪环境变化研究; E-mail: lishijie@vip.gyig.ac.cn.

拔 1635 m, 境内峰峦重叠, 沟壑纵横, 地势起伏变化大, 垂直差异明显, 喀斯特地貌发育。采样区主要成土母岩为灰岩, 夹有部分砂岩, 农耕土壤类型主要为黄壤、黄棕壤, 总土地面积 90.03 km², 现有耕地 1486.7 hm², 荒山草地 2340.5 hm², 林地面积 4389.5 hm², 退耕还林面积 582.5 hm²。研究区属温带季风性湿润气候, 全年无霜期 300 d^[13]。通过实地调研发现, 威奢乡农耕土壤种植区主要分布在山间洼地、谷地以及坡地中, 小部分土地分布于山麓地带。山间洼地、谷地因水热条件较好, 主要种植水稻, 而坡地、山麓地带土壤则主要种植玉米、大豆。作者于 2012 年春对研究区不同类型地貌单元和不同类型的土地分别进行土壤剖面(共 10 个剖面)采样带回实验室分析(采样点见图 1)。

2 研究方法

2.1 土壤样品的采集与处理

以区域地形图位为基础, 在对研究区地形地貌、母质、土地利用类型等进行调查的基础上, 坚持代表性、准确性、科学性和合理性的原则, 在研

究区域内分散布点, 以能控制整个监测区域为目标, 根据不同地貌单元与不同土地利用类型分别采集研究区内水稻田、玉米地、桑树地等土壤样品, 采样剖面分布在 14 km² 范围内, 并采用 GPS 在选定区域内共采取 10 个土壤剖面(见表 1), 放入事先准备好的样品管中, 每隔 5 cm 分样, 进行实验分析(其中土壤环境特征及环境质量评价采取 0~20 cm 土层进行分析)。采集后的样品在实验室自然风干、剔除杂质并用四分法取舍后辗压研磨过筛, 装瓶备用。

2.2 土壤样品分析检测方法

2.2.1 土壤 pH 值测定

称取过 10 目筛的风干土样 10.00 g, 采用无 CO₂ 的去离子水作浸提剂, 以 1:2.5 的土水比浸提, 测定土壤 pH 值^[14]。

2.2.2 土壤有机碳含量测定

用 0.5 mol/L 的盐酸溶液浸泡研磨过 100 目筛的土样 24 h, 以去除土壤中的碳酸盐, 然后用去离子水洗涤至中性, 60℃ 烘干后研磨备用^[15]。用元素分析仪(PE2400)测定其有机碳含量。

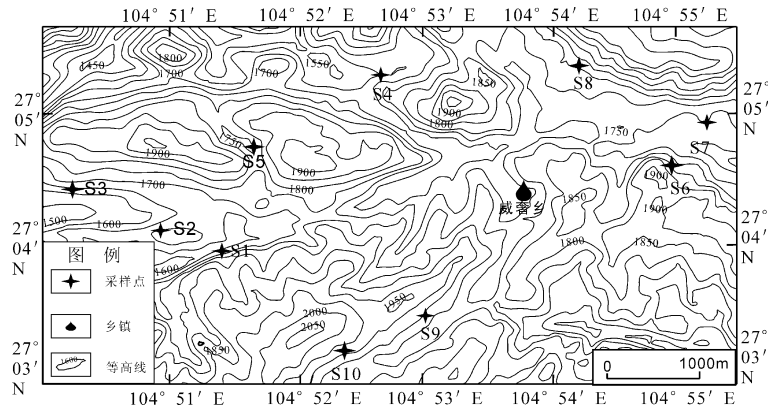


图 1 采样点位置示意图

Fig. 1 Location of sampling sites

表 1 采样点基本情况表

Table 1 Basic features of the soil samples

采样点	海拔(m)	土壤类型	植被类型	经度(E)/纬度(N)	地形
S1	1624	黄棕壤	草丛	104°51'18.7"/27°04'0.8"	坡地
S2	1661	黄壤	玉米	104°50'59.9"/27°04'15"	坡地
S3	1484	水稻土	水稻	104°50'13.5"/27°04'22"	谷地
S4	1582	黄棕壤	玉米, 大豆	104°52'43.8"/27°05'21.8"	坡地
S5	1729	黄棕壤	桑树	104°51'34.4"/27°04'55.2"	坡地
S6	1713	水稻土	水稻	104°55'3.7"/27°04'39.7"	坡地
S7	1656	水稻土	水稻, 后改种玉米, 大豆	104°55'17.6"/27°04'55.5"	谷地
S8	1703	水稻土	水稻, 后改种玉米, 大豆	104°54'9.9"/27°05'23.4"	沟地
S9	1905	黄棕壤	玉米, 大豆	104°53'0.8"/27°03'31.6"	坡地
S10	2007	黄棕壤	草丛	104°52'16.4"/27°03'19"	坡地

2.2.3 土壤微量元素测定

准确称取 50 mg 过 200 目筛的土样放入聚四氟乙烯坩埚中,加入 1 mLHF 和 1 mLHNO₃。将坩埚放入钢套中密封,置于烘箱于 190℃ 加热 36 h 消解样品。冷却后取出坩埚,置于低温电热板上蒸干,加入 1 mL HNO₃继续蒸干完全。于坩埚中准确加入 500 ng 的 Rh 内标溶液,2 mL HNO₃、3 mL 去离子水,重新置于钢套中,于 140℃ 加热 5 h。冷却后取出坩埚,摇匀,取 0.4 mL 溶液至离心管中,定容至 10 mL,ICP-MS 上机测试。

2.2.4 土壤常量元素测定

将过 200 目筛样品装入纸质样品袋中,置于干燥箱中充分干燥。分别称取 7 g 复合熔剂和 0.7 g 待测样品置于坩埚中。用玻璃棒将坩埚中的混合物搅拌均匀,再倒入铂-黄金坩埚,然后滴加少量脱模剂(LiBr)和氧化剂(LiNO₃)。将铂-黄金坩埚置于高频熔样机进行熔样,冷却至室温后,XRF 上机测试。

3 研究区土壤环境特征

3.1 研究区土壤酸碱度

研究区土壤总体呈弱酸性,pH 值介于 5.10 ~ 7.38 之间,平均值为 6.12,略低于贵州省表层土壤平均值(见表 2)。

3.2 研究区土壤有机质含量特征

研究区土壤有机质含量(有机质指标由有机碳

指标转化而得出,转化系数为 1.724^[17])介于 3.29% ~ 12.06% 之间,平均值为 5.85%,高于贵州省表层土壤平均值。全国第二次土壤普查将土壤有机质含量分为极缺乏、缺乏、正常、丰富和极丰富五级^[18]。据此,由表 3 可知,研究区土壤有机质含量极为丰富 A 级以上达到 100%,可以满足农作物生长需要。

3.3 研究区土壤常量营养元素含量特征

土壤中的必需常量元素包括 N、P、K、Ca、Mg 等。氮素是植物生长必需的大量营养元素,它是农作物蛋白质、核酸、核蛋白的重要成分,是遗传物质的基础^[19-20]。磷素也是农作物必需的营养元素之一,是农业生产中重要的养分限制因子。而 K 元素以离子状态存在于植物体中,是酶的活化剂,能促进光合作用、糖代谢、脂肪代谢以及蛋白质合成,提高植物抗寒性、抗逆性、抗病和抗倒伏能力^[21]。农作物对 N、P、K、Ca、Mg 等常量元素需求量很大,其含量高低将对农作物生长发育产生重要影响。研究区土壤的 N、P、K、Ca、Mg 元素含量的分析结果见表 4。

由表 4 可知,研究区土壤全氮含量介于 1735 ~ 6325 mg/kg 之间,平均值为 3722 mg/kg;全磷含量介于 667.2 ~ 1579.69 mg/kg 之间,平均值为 1161.4 mg/kg;全钾含量介于 5016.06 ~ 15063.03 mg/kg 之间,平均值为 9186.2 mg/kg。据全国第二次土壤普

表 2 研究区表层土壤理化性质及重金属含量分析结果

Table 2 Analytical results of pH, SOM and heavy metal contents in surface agricultural soil in the study area

采样点	Cr	Cd	Ni	Cu	Zn	As	Pb	pH	SOM (%)
	(mg/kg)								
S1	89.08	2.08	32.46	25.00	142.08	12.06	22.64	6.13	3.29
S2	149.26	1.67	79.45	180.90	241.74	51.03	31.18	5.85	6.56
S3	103.71	2.18	35.34	48.55	134.91	15.39	37.09	7.38	4.28
S4	237.89	1.85	94.11	96.27	231.11	12.40	25.27	5.10	4.21
S5	141.40	1.81	48.07	67.85	165.29	21.01	35.44	6.85	3.85
S6	215.54	1.10	54.44	110.68	204.90	13.76	25.54	6.08	12.06
S7	237.63	1.13	69.24	110.17	230.64	13.97	24.76	5.20	5.64
S8	167.92	1.48	67.39	128.57	262.49	14.68	31.28	5.28	7.68
S9	190.98	3.92	66.74	157.76	304.74	14.60	41.94	6.98	6.02
S10	236.45	4.95	72.94	173.21	336.13	15.65	38.08	6.36	4.89
平均值	176.99	2.22	62.02	109.9	225.40	18.45	31.32	6.12	5.85
最大值	237.89	4.95	94.11	180.9	336.13	51.03	41.94	7.38	12.06
最小值	89.08	1.10	32.46	25.00	134.91	12.06	22.64	5.10	3.29
标准差	52.74	1.18	18.42	49.61	62.79	11.11	6.30	0.75	2.43
贵州省表层土壤平均值 ^[16]	95.9	0.66	39.1	32	99.5	20	35.2	6.2	4.26

表 3 研究区土壤有机质含量等级划分表

Table 3 Classification of soil organic matter contents in the study area %

等级	I	II	III	IV	V
肥力状况	极缺乏	缺乏	正常	丰富	极丰富
有机质(%)	<0.6	0.6~1	1~3	3~4	>4
样本个数	0	0	0	2	8
比例(%)	0	0	0	20	80

表 4 研究区表层土壤常量营养元素含量分析结果

Table 4 Analytical results of prime nutrition elements in top soil in the study area mg/kg

采样点	N	P	K	Ca	Mg
S1	1735	677.2	5016.06	2625	3015
S2	3567.5	1370.88	6028.4	2255.36	5565
S3	3987.5	734.29	9872.39	4680.36	4530
S4	3485	1266.74	15963.03	2923.21	16455
S5	2910	846.5	6860.27	3508.93	3315
S6	6325	1214.68	11988.35	5785.71	4755
S7	5482.5	921.6	9708.51	2616.07	6750
S8	3665	1429.6	12245.59	4160.71	8925
S9	3562.5	1572.92	6364.47	5808.93	5355
S10	2500	1579.69	7814.94	2830	6204
平均值	3722	1161.41	9186.2	3719.43	6486.9
最大值	6325	1579.69	15963.03	5808.93	16455
最小值	1735	677.2	5016.06	2255.36	3015
贵州省表层土壤平均值 ^[16]			15600	6200	7100

查养分分级标准,可知研究区土壤全氮、全磷含量为一级,无需补充,但全钾含量为五级,含量偏低(见表 5),可适量施加含钾元素肥料,以提高土壤肥力。此外,研究区土壤 Ca、Mg 元素含量均低于贵州省表层土壤平均值,应注意适量补充,但值得一提的是,肥料不是补充越多越好,应以适量为度,适量和协调是肥沃土地的重要标准^[22]。

表 5 全国第二次土壤普查养分分级标准表^[18]

Table 5 Nutrient grading standards of national second soil survey^[18] %

项目	等级					
	一级 (很高)	二级 (高)	三级 (中上)	四级 (中下)	五级 (低)	六级 (很低)
全氮	>2	1.5~2.0	1~1.5	0.75~1.0	0.5~0.75	<0.5
全磷	>1	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2
全钾	>25	20~25	15~20	10~15	5~10	<5

3.4 研究区表层土壤重金属元素分布特征与评价

3.4.1 研究区土壤重金属元素含量特征

从表 6 及图 2 中可见,研究区土壤重金属元素 Cr、Cd、As、Pb、Ni、Cu、Zn 含量平均值分别为 176.99

mg/kg、2.22 mg/kg、18.46 mg/kg、31.32 mg/kg、62.02 mg/kg、109.9 mg/kg、225.4 mg/kg,其含量范围分别为 89.08~237.89 mg/kg、1.1~4.95 mg/kg、12.06~51.03 mg/kg、22.64~41.94 mg/kg、32.46~94.11 mg/kg、25~180.9 mg/kg、134.91~336.13 mg/kg,且含量具有 Zn>Cr>Cu>Ni>Pb>As>Cd 的区域特征,除 Cu、Ni 元素外,其余元素分布规律与贵州省表层土壤重金属元素分布规律相同,而研究区域土壤中重金属 Cr、Cd、Cu、Ni、Zn 含量均大于贵州省表层土壤平均值^[16],而 As、Pb 含量则小于此平均值。

表 6 研究区表层土壤重金属元素含量分析结果

Table 6 Analytical results of the contents of heavy metals in top soil in the study area mg/kg

采样点	Cr	Cd	Ni	Cu	Zn	As	Pb
S1	89.08	2.08	32.46	25.00	142.08	12.06	22.64
S2	149.26	1.67	79.45	180.9	241.74	51.03	31.18
S3	103.71	2.18	35.34	48.55	134.91	15.39	37.09
S4	237.89	1.85	94.11	96.27	231.11	12.40	25.27
S5	141.40	1.81	48.07	67.85	165.29	21.01	35.44
S6	215.54	1.10	54.44	110.68	204.9	13.76	25.54
S7	237.63	1.13	69.24	110.17	230.64	13.97	24.76
S8	167.92	1.48	67.39	128.57	262.49	14.68	31.28
S9	190.98	3.92	66.74	157.76	304.74	14.60	41.94
S10	236.45	4.95	72.94	173.21	336.13	15.65	38.08
平均值	176.99	2.22	62.02	109.9	225.4	18.45	31.32
最大值	237.89	4.95	94.11	180.9	336.13	51.03	41.94
最小值	89.08	1.10	32.46	25.00	134.91	12.06	22.64
标准差	52.74	1.18	18.42	49.61	62.79	11.11	6.30
贵州省表层土壤平均值 ^[16]	95.9	0.66	39.1	32.00	99.5	20.00	35.2

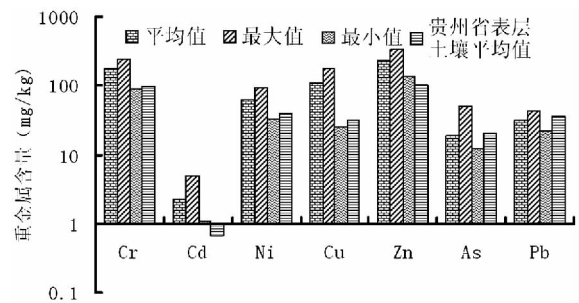


图 2 研究区表层土壤重金属元素含量图

Fig. 2 Diagram of heavy metal contents in top soil in the study area

3.4.2 研究区土壤环境质量评价

本文采用国家土壤环境质量标准 GB15618-1995 二级标准(见表 7)来评价威奢乡基本农田的土壤环境质量。评价方法采用单因子评价法与内梅

罗综合污染指数评价法^[23]。

单因子评价采用如下公式:

$$P_i = C_i/S_i$$

式中: P_i 为土壤中污染元素 i 的污染指数; C_i 为土壤中污染元素 i 的实测值,单位为 mg/kg;

S_i 为土壤中污染元素 i 的评价标准值,单位为 mg/kg。单因子污染指数分级见表 8。

表 7 土壤环境质量标准

Table 7 Soil environmental quality standards mg/kg

项目	二级			
	自然背景	pH < 6.5	pH 6.5 ~ 7.5	pH > 7.5
As ≤	15	30	25	20
Cd ≤	0.2	0.3	0.6	1.0
Cu ≤	35	50	100	100
Pb ≤	35	250	300	350
Zn ≤	100	200	250	300
Cr ≤	90	250	300	350
Ni ≤	40	40	50	60

表 8 单因子污染指数评价标准分级

Table 8 Classification of evaluation standards for single-factor pollution indexes

等级	单因子污染指数	污染程度
0	$P_i \leq 1$	无污染
1	$P_i > 1$	污染

土壤质量综合评价采用内梅罗综合污染指数法,采用如下公式:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{P_{\text{ave}}^2 + P_{\text{max}}^2}{2}}$$

式中 $P_{\text{综}}$ 为综合污染指数, P_{max} 各单因子环境质量指数中最大者, P_{ave} 为各单因子环境质量指数的平均值,计算出的综合污染指数的值越大表示所受的污染越严重。与其他综合评价法相比,内梅罗综合指数法突出了最大的污染物对环境的影响和作用^[24]。其评价标准分级见表 9。

土壤二级标准评价结果见表 10。

表 9 内梅罗综合污染指数法评价标准分级

Table 9 Classification of the evaluation standards of Nemerow integral pollution indexes

等级	内梅罗污染指数	污染等级	污染水平
I	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安全	清洁
II	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1$	警戒级	警戒线内
III	$1 < P_{\text{综}} \leq 2$	轻污染	警戒水平
IV	$2 < P_{\text{综}} \leq 3$	中污染	警报水平
V	$P_{\text{综}} > 3$	重污染	紧急水平

表 10 研究区土壤环境质量二级标准评价结果表

Table 10 Assessment results of soil environment quality of the second class evaluation standard in the study area

采样点	P_{Cr}	P_{Cd}	P_{Ni}	P_{Cu}	P_{Zn}	P_{As}	P_{Pb}	$P_{\text{综}}$
S1	0.36	6.94	0.81	0.50	0.71	0.40	0.09	5.01
S2	0.60	5.56	1.99	3.62	1.21	1.70	0.12	4.21
S3	0.35	7.25	0.71	0.49	0.54	0.62	0.12	5.23
S4	0.95	6.15	2.35	1.93	1.16	0.41	0.10	4.54
S5	0.47	6.05	0.96	0.68	0.66	0.84	0.12	4.39
S6	0.86	3.67	1.36	2.21	1.02	0.46	0.10	2.77
S7	0.95	3.78	1.73	2.20	1.15	0.47	0.10	2.87
S8	0.67	4.93	1.68	2.57	1.31	0.49	0.13	3.68
S9	0.64	13.08	1.33	1.58	1.22	0.58	0.14	9.44
S10	0.95	16.49	1.82	3.46	1.68	0.52	0.15	11.93
平均值	0.68	7.39	1.47	1.92	1.07	0.65	0.12	5.41

从表中可见,按照 GB15618-1995 二级标准,从单因子污染评价角度看,研究区重金属污染程度依次为 $Cd > Cu > Ni > Zn$, Cd 的 P_i 值最高,为 7.39,远大于 1,说明研究区土壤 Cd 已经明显污染,成为该地区最主要的污染物。宋春然^[25]、吉玉碧^[26]等在对贵州省农业土壤重金属污染的研究中,指出贵州省 Cd 污染等级为重污染;而李仲根、冯新斌^[27]及杨元根和刘丛强^[28]在对赫章土法炼锌导致的重金属积累研究中指出该区 Cd 含量大大超过当地土壤背景值,成为该区最主要污染物,本研究结果与这些研究具有较好一致性。其次,土壤中重金属 Cu、Ni、Zn 也达到一定污染水平,土壤 Cr、As 接近临界污染水平,土壤 Pb 尚未达到临界污染水平,属于无污染。综合污染指数 $P_{\text{综}}$ 显示,80% 采样点的土壤已达到严重污染程度($P_{\text{综}} > 3$),20% 采样点接近严重污染程度。由此评价结果可以看出,研究区农业土壤遭受到严重的重金属复合污染,而这种污染以 Cd、Cu、Ni 和 Zn 为代表。由图 3 可知,重金属 Cd、Zn 主要集中在土壤表层 20 cm 以下,20 cm 以下重金属浓度迅速下降并趋于稳定,说明这些污染物主要来源于外源污染,并非研究区土壤母质层影响所致。而重金属 Cd 浓度最高值出现在土壤表层 0~5 cm 之间,表明研究区土壤已受到明显的 Cd 污染,且大部分富集在土壤表层,给农业生产带来极大风险,应引起足够重视。

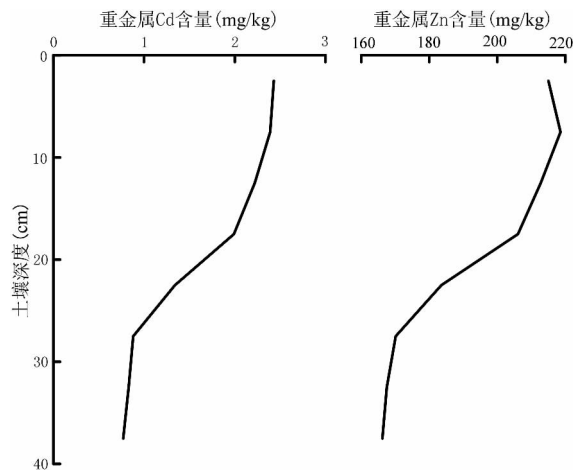


图3 研究区表层土壤重金属元素 Cd、Zn 随土壤剖面变化图

Fig. 3 Vertical variation of heavy metals Cd and Zn in top soil with the soil profile in the study area

4 结 论

1) 毕节市威奢乡农耕土壤环境特征表现为: 耕作土壤总体呈弱酸性, pH 平均值为 6.1; 土壤有机质含量丰富, 介于 3.29% ~ 12.06% 之间, 平均值为

5.85%。A 级以上达到 100%, 可以满足农作物生长需要。研究区土壤全氮、全磷含量为一级, 无需补充, 但全钾含量为五级, 应适量施加含钾元素肥料, 以提高土壤肥力; 此外, 研究区 Ca、Mg 元素含量均低于贵州省表层土壤平均值, 也应注意适量补充。

2) 重金属元素含量具有 $Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > As > Cd$ 的区域特征, 且重金属 Cr、Cd、Cu、Ni、Zn 含量均大于贵州省表层土壤平均值, 而 As、Pb 含量则小于此值。采用国家土壤环境质量标准 GB15618-1995 二级标准来评价威奢乡基本农田的土壤环境质量, 单因子污染评价结果显示研究区农耕土壤 Cd 已经明显污染, 成为该地区最主要的污染物。其次, 土壤中重金属 Cu、Ni、Zn 也达到一定污染水平, 重金属 Cr、As 接近临界污染水平, 而重金属 Pb 尚未达到污染水平。内梅罗综合污染指数法显示, 研究区大部分土壤已达到严重污染程度 ($P_{综} > 3$), 而这种污染以 Cd、Cu、Ni 和 Zn 等重金属为代表。重金属随剖面深度变化显示 Cd、Zn 主要来源于外源污染, 且大部分富集在土壤表层, 给农业生产带来极大风险, 应引起高度关注并采取治理措施。

参 考 文 献

- [1] Maddonni G A, Urricariet S, Ghera C M, *et al.* Assessing soil quality in the Rolling Pampa, using soil properties and maize characteristics [J]. *Agronomy Journal*, 1999, 91: 280-287.
- [2] Boehm M M, Anderson D W. A landscape - scales study of soil quality in three Prairie farming systems [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61: 1147-1159.
- [3] Andrews S S, Mitchell J P, Mancineli R, *et al.* On farm assessment of soil quality in California's Central Valley [J]. *Agronomy Journal*, 2002, 94: 12-23.
- [4] Sparling G P, Schipper L A. Soil quality at a national scale in New Zealand [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2002, 31: 1848-1857.
- [5] Burt R, Wilson M A, Mays M D, *et al.* Major and trace elements of selected pedons in the USA [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2003, 32: 2109-2121.
- [6] Brus D J, Gruijter J J, Walvoort D J. Mapping the probability of exceeding critical thresholds for cadmium concentrations in soil in the Netherlands [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2002, 32: 1875-1884.
- [7] 林才浩, 许美辉, 杨军华, 等. 福建沿海经济带生态地球化学调查与评价 [J]. *地质通报*, 2007, 26(5): 605-608.
- [8] 任荣富, 解怀生, 简中华, 等. 浙江省天目山地区土壤地质与地球化学特征 [J]. *地球科学与环境学报*, 2008, 3(1): 49-53.
- [9] 李延生. 黑龙江省扎龙湿地土壤地球化学特征及生态环境意义 [J]. *物探与化探*, 2010, 34(4): 512-516.
- [10] 万洪富, 钟继洪. 中国土壤微量元素肥力及其管理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [11] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996.
- [12] 舒英格, 何腾兵, 刘元生, 等. 喀斯特山区旱耕地土壤环境质量评价—以贵阳市乌当区为例 [J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(3): 1100-1106.
- [13] 朱艳玲, 贺红早, 刘黎, 等. 封山育林对石漠化植被恢复效果的研究——以赫章县威奢乡为例 [J]. *贵州科学*, 2012,

- 30(4): 88-92.
- [14] 刘涛泽,刘丛强,张伟,等. 喀斯特地区坡地土壤有机碳的分布特征和 $\delta^{13}\text{C}$ 值组成差异[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 116-124.
- [15] Midwood A J, Boutton T W. Soil carbonate decomposition by acid has little effect on $\delta^{13}\text{C}$ of organic matter[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1998, 30: 1301-1307.
- [16] 国家环境保护局. 中国土壤元素背景值[M]. 中国环境科学出版社, 1990.
- [17] 李煜蓉. 土壤环境质量评价与污染预测实例研究[D]. 吉林大学, 2010.
- [18] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- [19] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [20] 王敬国. 植物营养的土壤化学[M]. 北京: 中国农业大学出版, 1997.
- [21] 刑光熹,朱建国. 土壤微量元素和稀土元素化学[M]. 科学出版社, 2002.
- [22] 尚颖. 吉林省中部区土壤环境质量特征研究[D]. 吉林大学, 2012.
- [23] 陈怀满. 环境土壤学[M]. 科学出版社, 2010.
- [24] 李晓秀,陆安祥,王纪华,等. 北京地区基本农田土壤环境质量分析与评价[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 61-63.
- [25] 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.
- [26] 吉玉碧. 贵州省农业土壤中镉的污染现状与分析研究[D]. 贵州大学, 2006.
- [27] 李仲根,冯新斌,闭向阳,等. 贵州省土法炼锌点土壤重金属污染现状[J]. 生态学杂志, 2011, 30(5): 897-901.
- [28] 杨元根,刘丛强,吴攀,等. 贵州赫章土法炼锌导致的重金属积累[J]. 矿物学报, 2003, 23(3): 256-261.

Research on the Characteristics of Agricultural Soil Environment in Weishe Town , Bijie City , Guizhou Province.

LI Cui - cui^{1,2} , LI Shi - jie^{1,*} , LUO Rong - qin^{1,2} , WANG Xiao - dan^{1,2} , ZHANG Jin^{1,2} .

(1. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550002 , China; 2. University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 , China)

Abstract: This paper has used both element geochemistry theory and method to study the characteristics of the soil environment and applied the single pollution index and comprehensive pollution index to evaluate the environment quality of agricultural soil in Weishe Town , Bijie City , Guizhou Province. The main research results are as follows: modern agricultural soil in Weishe Town is of weak acidity and its pH value varies between 5.10 ~ 7.38 with the mean value of 6.12; soil organic matter is very abundant and the contents are between 3.29% ~ 12.06% , with the mean value of 5.85%; the contents of total N , total P , total K in the study area are between 1735 ~ 6325 mg/kg , 667.2 ~ 1579.69 mg/kg , 5016.06 ~ 15063.03 mg/kg , with the mean values of 3722 mg/kg , 1161.4 mg/kg , and 9186.2 mg/kg , respectively. According to the Classification Standard of the Nutrient Grading of National Second Soil Survey , total N and P in the study area are of the first class , which needn't to be added. However , total K is at the fifth class which needs to be added in order to increase soil fertilization . The contents of Ca and Mg in the study area are lower than the average content in Guizhou Province , which should be added properly. The contents of the harmful heavy metals Cr , Cd , As and Pb in the surface soil are characterized as being Cr > Pb > As > Cd and the contents of Cr and Cd are higher than the average content in Guizhou Province , but the contents of As and Pb are lower than this value. From the single - factor pollution evaluation results , we can see that heavy metal Cd has become the most serious contaminant material in the agricultural soil , followed by Cu , Ni and Zn . The comprehensive pollution index indicates that most of the soil have been seriously polluted. Cd and Zn mainly come from the extraneous source pollution and most of them are concentrated in the surface soil , which has caused a great risk to agricultural production.

Key words: Weishe Town ; Guizhou Province; soil environment; pollution; soil quality