

# 贵州省平坝区耕地土壤地球化学质量综合评价

何本靖<sup>1,2</sup>, 鄢兴旭<sup>2</sup>, 罗沙<sup>1,2</sup>, 孟超领<sup>1,2</sup>

(1. 贵州煤矿地质工程咨询与地质环境监测中心 贵州省煤田地质局, 贵州 贵阳 550008;  
2. 贵州荣源环保科技有限公司, 贵州 贵阳 550008)

**[摘要]:**耕地是珍贵而有限的自然资源,同时关系到农产品质量安全及生态安全,开展土壤地球化学调查,以生态地球化学理论为指导,同时兼顾大气干湿沉降物和灌溉水地球化学调查,科学量化耕地质量,为调整农业种植结构、促进科学合理施肥及土壤污染治理和贵州“大扶贫、大数据、大生态”三大战略服务。通过调查,获得了贵州省平坝区土壤中21项土壤养分指标和7项环境地球化学指标的基本统计量及地球化学背景值等参数,以及灌溉水和大气干湿沉降中元素含量。土壤地球化学背景值为农业发展提供了科学基础,由此提出土地利用建议。

**[关键词]**耕地;土壤;地球化学;贵州

**[中图分类号]**P652;S159 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2020)-04-0483-07

耕地质量、耕地肥力及耕地重金属污染是当前十分关注的问题,耕地数量减少,耕地质量退化对我国的农业生产、生态环境等都构成了严重威胁(沈仁芳等,2012),县域是农业基层管理和技术推广的基本单位,许多研究针对县域尺度了解土壤肥力情况(李文红等,2016;徐志强,2020;孔鹏飞等,2020)用各种方法评价耕地质量(聂艳,2005;王大伟等,2015;吴会军等,2019;于松林等,2020;石睿等,2020),划分耕地土壤质量地球化学等级,为全面掌握耕地土壤质量、优化养分管理、调整农业种植结构提供科学依据(蔡大为等,2020;周琦,2020)。贵州省平坝区(文中所述平坝区皆含现划至贵安新区的高峰镇及马场镇)是贵州高原上的鱼米之乡,农业产业发展较好,自古有“黔中大粮仓”的美誉。早在六七十年代区域地球化学资料已在农牧业生产中发挥作用(周国华等,1994)。本文拟通过对区内的土壤地球化学调查科学规划土地利用,指导土地施肥及作物种植等,以期通过科学管理促进农业发展。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

平坝区位于贵州省中部,云贵高原东侧梯状斜坡中段,地势西北高东南低,中部较平坦。山系属苗岭山群,多呈北东—南西走向,呈非平行展布,连续性较差。东经105°59′~106°34′,北纬26°15′~26°38′。东西长42.3 km,南北宽41.2 km,政区面积987 km<sup>2</sup>,东邻贵阳市花溪区,南连长顺县、西秀区,西接西秀区、普定县,北靠织金县、清镇市。

区境内以岩溶地貌为主,高原台地、山地、丘陵盆地坝子交错分布。区内山脉属苗岭山群,由于长期的风化侵蚀,各山脉连续性很差,山脉脊线不明显。山地区面积占27.7%,丘陵区面积占47.3%,山间平坝区面积占25%。

平坝区属于北亚热带季风湿润性气候,平坝区雨量充沛,常年每亩地面降水量约800立方米,但由于降水的月、季分布不均,作物往往因降雨不适时而受到不同程度的影响。

**[收稿日期]**2020-04-24 **[修回日期]**2020-06-11

**[基金项目]**贵州省耕地质量地球化学调查评价项目。

**[作者简介]**何本靖(1993—),女,硕士,主要研究方向为土壤重金属。E-mail:fcjrjz@163.com。

### 1.2 样品采集

以 1:50000 土地利用现状图及奥维地图卫星遥感图作为工作底图;表层土壤样品采样点区域的点密度范围控制在 9 个点/ km<sup>2</sup>,现场根据布设采样点的合理性、代表性等对布设的采样点进行了 100 m 范围内的调整。于 2017 年 6 月至 2018 年 12 月使用竹片、铁锹等共计完成耕地表层土壤样品采集 3885 件,基本样 3805 件,重复样 77 件。此外布置剖面 3 个,均位于平坝区西北部,采集了 12 件土壤样品和 3 件成土母岩样品;大气干湿沉降样 3 件,位于高峰镇小白岩村、乐平镇高院村及十字乡四甲村,于 2017 年 11 月布设,2018 年 11 月采集,大气干湿沉降物采样器为顶面直径为 43 cm,底面直径为 35 cm,高为 48 cm 的塑料桶;以及灌溉水样品 16 件。

### 1.3 样品分析

分析测试由国土资源部成都综合岩矿测试中心完成。采用 X 射线荧光光谱法(XRF)、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)、原子荧光光谱法(AFS)、催化光度法(COL)、pH 电极法(ISE)、容量法、比色法和高盐雾化器等离子体光谱法等对样品进行检测。同时采用外部质量控制和内部质量监控相结合的方法控制分析质量,内部样中基础样所有元素测试合格率为 100%,元素重复分析按三倍检出限内 RD ≤ 30%,三倍检出限外 RD ≤ 25%统计质量,并对全部突变高点和突变低点进行重新取样分析。外部控制样中各批次各元素合格率均大于 90%,各批次各元素相关系数均大于 0.91;双样本方差检验(F 检验)各批次均小于临界值。

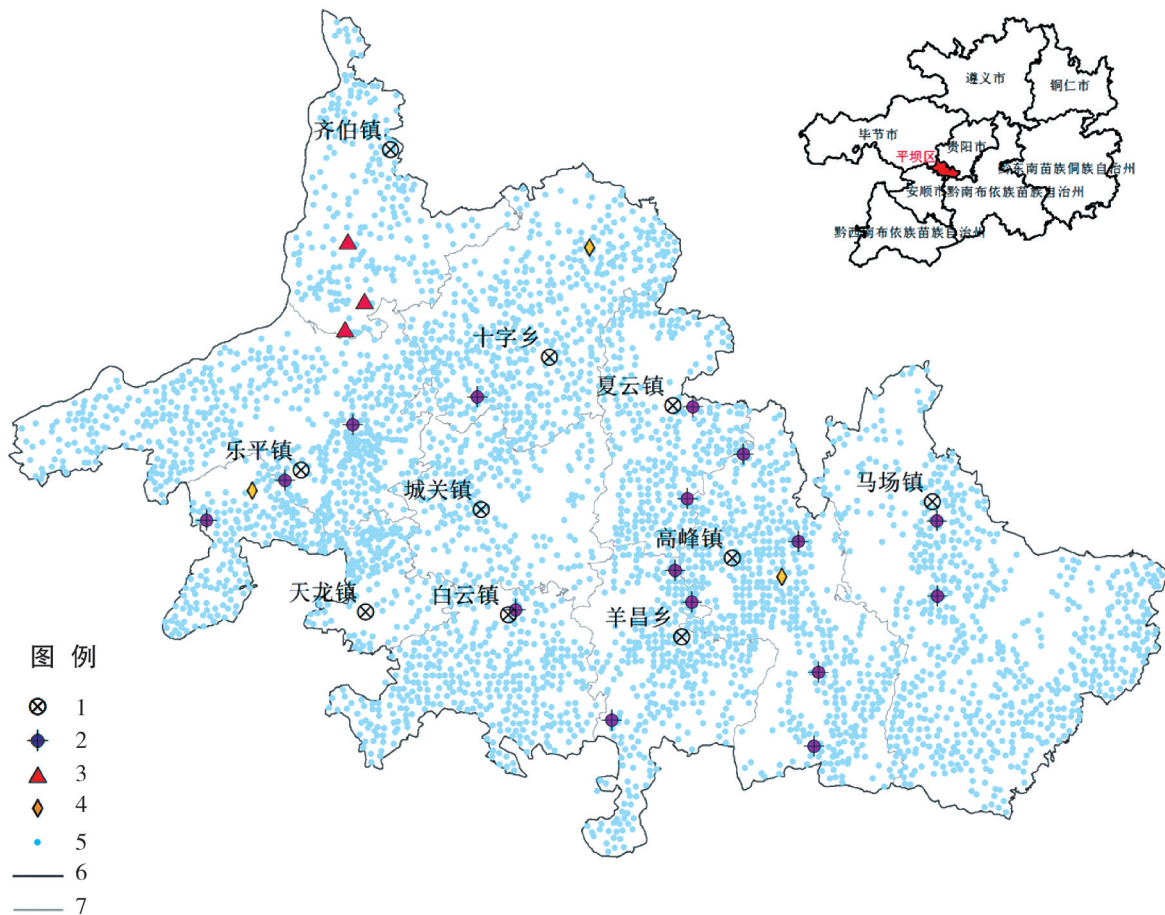


图 1 采样点位图

Fig. 1 Sampling position

1—平坝乡镇名称;2—灌溉水采样点;3—剖面采样点;4—大气沉降采样点;5—表层土壤采样点;6—平坝区县界;7—平坝区乡镇界线

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤地球化学环境

平坝区耕地土壤以酸性为主,强碱性( $\text{pH} \geq 8.5$ )的耕地面积 0.03 万亩,占全区耕地面积的 0.05%;碱性( $\text{pH} 7.5-8.5$ )耕地面积 3.08 万亩,占全区耕地面积的 5.03%;中性( $\text{pH} 6.5-7.5$ )耕地面积 16.86 万亩,占全区耕地面积的 27.54%;

酸性( $\text{pH} 5.0-6.5$ )耕地面积 38.70 万亩,占全区耕地面积的 63.23%;强酸性( $\text{pH} < 5.0$ )耕地面积 2.54 万亩,占全区耕地面积的 4.15%。

一般以石灰岩、白云岩等较纯碳酸盐岩类为母质的土壤环境呈中至碱性,对重金属有钝化作用;以砂泥质岩、泥炭质岩等不纯碳酸盐岩类为母岩的土壤环境呈碱性,对重金属有活化作用(何邵麟等,2015)。区内酸性土壤面积占 67.38%,可能引起重金属活化。

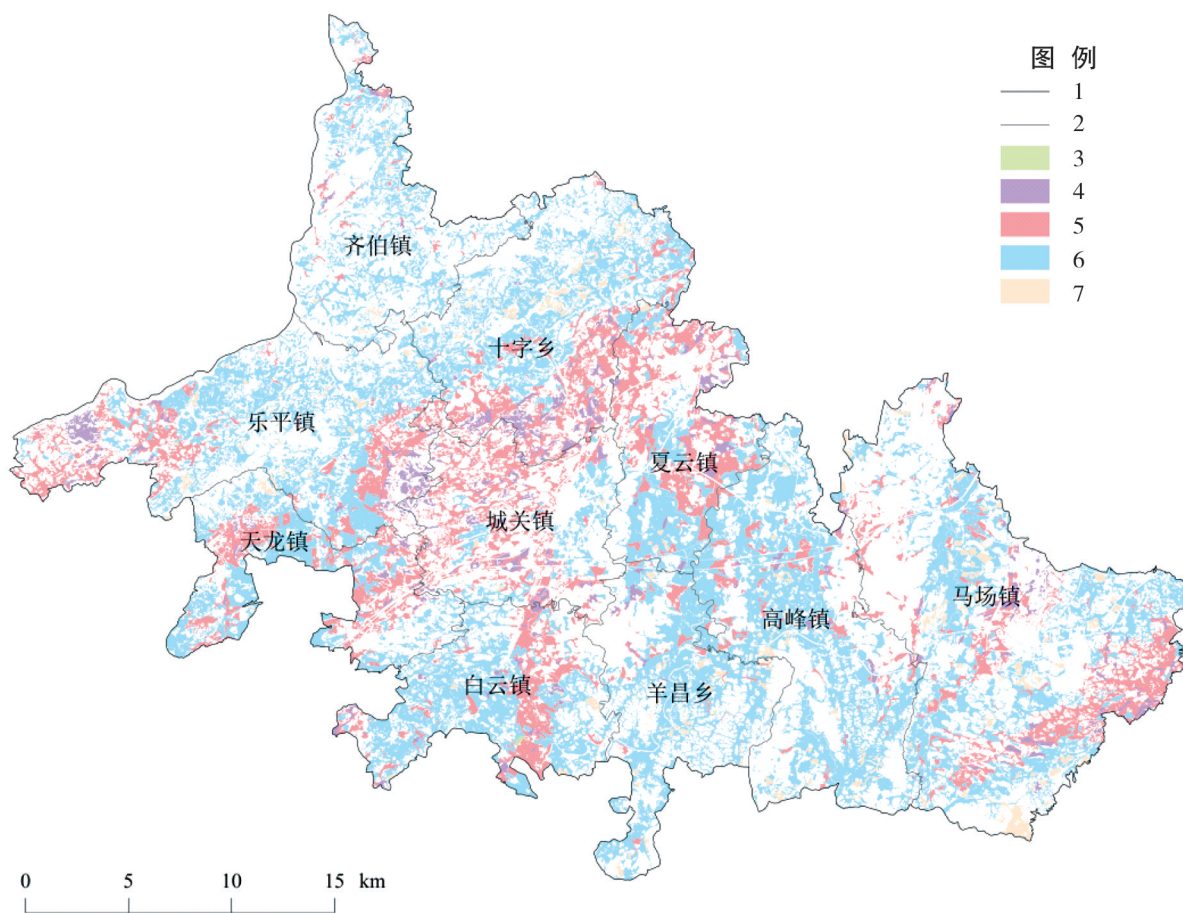


图2 平坝区耕地土壤酸碱度等级图

Fig. 2 pH value degree of cultivated land in Pingba

1—平坝区县界;2—平坝区乡镇界线;3—强碱性  $\geq 8.5$ ;4—碱性  $7.5 \sim 8.5$ ;5—中性  $6.5 \sim 7.5$ ;6—酸性  $5 \sim 6.5$ ;7—强酸性  $< 5$

### 2.2 耕地元素特征

对耕地土壤养分元素有机质、氮(N)、碱解氮、磷(P)、速效磷、钾(K)、速效钾、硼(B)、有效硼、锌(Zn)、有效锌、钼(Mo)、有效钼、铜(Cu)、钴(Co)、钒(V)、锰(Mn)、硒(Se)、锗(Ge)、碘(I)和氟(F) 21 个参数,以及土壤环境元素砷(As)、镉(Cd)、铬(Cr)、汞(Hg)、铅(Pb)、镍(Ni)和铊

(Tl) 7 项指标进行数据统计分析。分别统计各指标的最大值、最小值、平均值、中位数、标准离差、变异系数、背景值等地球化学参数,以平均值加减 3 倍标准差剔除原始数据离群样品后,计算各元素的平均值作为背景值。

养分元素中,K 元素平均值显著偏低,平均值和背景值均低于中等土壤养分含量要求,其余 B、Co、Cu、Mn、Mo、N、P、V、Zn、有机质等,平均值和

背景值均高于中等土壤养分含量要求。

As、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn、Tl 8 个环境元素的平均值和背景值均低于农用地土壤污染风险筛选值(GB 15618-2018),其中 Hg、Cd 元素变异系数大(张莉 等,2005;张泽东 等,2018)。其余有效

量方面,速效磷、有效硼平均值和背景值均低于中等土壤养分含量要求,其余碱解氮、有效铜、有效锌、速效钾及阳离子交换量平均值及背景值均高于中等土壤养分含量要求。

表 1 平坝区耕地土壤地球化学参数表

Table 1 Geochemical parameters of cultivated land in Pingba

元素	最大值	最小值	平均值	中位数	标准离差	变异系数	以(平均值±3 倍标准差)迭代剔除后			
							平均值	最大值	最小值	样本数
N	9.38	0.51	2.09	1.96	0.67	0.32	2.03	3.72	0.51	3 711
P	9.80	0.20	0.92	0.88	0.35	0.38	0.90	1.77	0.20	3 739
K	42.57	3.07	15.01	14.44	5.17	0.34	14.76	29.04	3.07	3 751
Mn	9 500.0	5.00	1 039.63	835.00	786.09	0.76	1 002.96	3 104.0	5.00	3 758
Zn	395.00	23.20	125.16	119.00	39.77	0.32	123.84	236.00	23.20	3 768
B	257.00	6.19	82.29	81.10	33.87	0.41	81.67	180.00	6.19	3 785
Mo	27.80	0.39	3.19	2.72	2.04	0.64	2.91	7.17	0.39	3 649
Co	98.70	1.32	24.77	23.90	10.41	0.42	24.26	52.80	1.32	3 749
V	955.00	61.40	225.76	203.00	101.70	0.45	211.63	437.00	61.40	3 648
Se	5.78	0.16	0.64	0.59	0.31	0.48	0.60	1.14	0.16	3 624
Ge	3.41	0.51	1.60	1.58	0.24	0.15	1.59	2.27	0.93	3 765
I	19.60	0.46	5.35	4.59	3.82	0.71	5.31	16.50	0.46	3 795
F	5 028.0	291.00	1 229.32	1 178.0	481.35	0.39	1 213.33	2 563.00	291.0	3 770
As	155.00	2.17	26.31	19.50	18.94	0.72	24.07	68.50	2.17	3 669
Cd	11.50	0.02	0.47	0.34	0.54	1.16	0.34	0.75	0.02	3 419
Hg	39.84	0.01	0.21	0.16	0.74	3.56	0.17	0.40	0.01	3 593
Pb	189.00	10.30	43.75	40.50	17.78	0.41	43.14	92.70	10.30	3 767
Cr	361.00	38.20	136.27	136.00	41.33	0.30	133.59	245.00	38.20	3 727
Cu	326.00	6.03	69.72	62.00	41.35	0.59	64.48	156.00	6.03	3 670
Ni	225.00	8.13	48.80	46.40	17.71	0.36	48.03	96.60	8.13	3 758
Tl	2.21	0.25	0.80	0.79	0.23	0.28	0.79	1.45	0.25	3 791
碱解氮	357	0.33	134.76	136.5	66.14	0.49	134.16	321	0.33	371
速效磷	170.09	0.16	10.57	7.26	13.16	1.24	9.15	29.36	0.16	362
速效钾	505.62	1.53	131.25	128.20	77.62	0.59	126.25	318.64	1.53	365
有效锌	14.8	0.05	2.43	2.16	1.82	0.75	2.24	6.22	0.05	361
有效硼	1.19	0.11	0.42	0.406	0.16	0.39	0.40	0.82	0.11	364
有效铜	6.14	0.08	0.90	0.38	1.26	1.40	0.56	3.15	0.08	338
有机质	136.30	2.00	36.71	33.40	13.26	0.36	35.00	65.00	2.00	3657

注:表层土壤样 n=3 805,有效态 n=372,单位:N、P、K、有机质为 g/kg,其他各元素为 mg/kg。

### 2.3 土壤发育及迁移

土壤剖面中常量、微量元素的含量和分布模式特征可以反映土壤的发育程度及迁移过程(成晓梦,2016;李艳等,2020)。硅铝比( $Sa = SiO_2 / Al_2O_3$ )的大小,可以反映土壤风化发育程度, $Sa$ 越小,表示土壤风化发育程度越强,同时也可以利用硅铝比的突变程度来判别成土过程中是否存在异源母质(陈武等,2010)。化学蚀变系数( $CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)] * 100$ ), $CIA$ 则反映了长石风化成粘土矿物的程度(Nesbitt

1982)。 $CIA$ 值越高则岩石风化和土壤成土过程中 $Na$ 、 $K$ 、 $Ca$ 从母岩中淋失越多,化学风化作用越强(Nesbitt et al.,1984;Kautz et al.,2007)。土壤风化淋溶系数( $ba = (CaO + MgO + K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$ )反映了土壤各层风化淋溶程度, $ba$ 越小,表明淋溶作用越强(Guggenberger et al 1998)。

从表2硅铝比(2.43~6.56)可知土壤发育程度较强且存在异源母质影响,三个剖面中 $CIA$ 值都较高(83.68~91.77),化学风化作用较强,符合碳酸岩以化学风化为主的特性; $ba$ 值为0.14~0.26,说明淋溶作用较强。

表2 剖面元素比值

Table 2 Element ratios of the section

	取样起始深度(cm)	硅铝比	化学蚀变指数	风化淋溶系数	
剖面1	腐殖层	0.00	6.56	83.68	0.26
	淋溶层	0.15	3.49	91.02	0.14
	淀积层	0.40	3.23	91.58	0.14
	母质层	0.75	3.29	91.39	0.14
	成土母岩	碳酸岩	1.50	0.68	147.89
剖面2	腐殖层	0.00	2.49	89.37	0.23
	淋溶层	0.20	2.37	90.22	0.22
	淀积层	0.50	2.46	90.71	0.23
	母质层	1.40	2.43	91.77	0.26
	成土母岩	碳酸岩	1.95	1.49	66.84
剖面3	腐殖层	0.00	3.41	86.85	0.22
	淋溶层	0.30	3.51	88.51	0.20
	淀积层	0.70	3.27	89.44	0.19
	母质层	1.40	3.38	89.90	0.18
	成土母岩	碳酸岩	2.63	0.43	232.17

### 2.4 灌溉水及大气沉降

根据实测的16件灌溉水样品测试数据(表3),对照表4可知,平坝区灌溉水 $pH$ 值最小值

7.26,最大值8.36,在限量标准值内; $F^-$ 、硼、锌、锆、镉、铅、汞、砷、硒、六价铬各单项指标含量均低于限量标准值。

表3 灌溉水环境地球化学含量

Table 3 Eco-geochemical content of the irrigation water

n=16	pH	$F^-$	硼	锌	锆	镉	铅	汞	砷	硒	六价铬
最小值	7.26	0.073	-	-	-	-	-	-	-	-	-
最大值	8.36	0.29	32	29.3	-	-	0.11	0.051	2.03	0.3	59

注:“-”为低于检出限, $pH$ 为无量纲, $F^-$ 为 $mg/L$ ,其他为 $\mu g/L$

表4 灌溉水限量标准表(GB 5084-2005)

Table 4 Limit standard of the irrigation water

测试项目	pH	$F^-$	硼	锌	镉	铅	汞	砷	硒	六价铬
限量标准	5.5~8.5	2	1 000	2 000	10	200	1	50	20	100

注: $pH$ 为无量纲, $F^-$ 为 $mg/L$ ,其他为 $\mu g/L$ 。

平坝区大气干湿沉降物元素含量特征见表5和表6。同时为了研究大气沉降对土壤元素含量的影响,计算了与大气干湿沉降物同年采集的平坝区全区表层土壤基本样(3805件)重金属元素含量平均值,将大气干湿沉降物输入浓度与土壤含量值进行比较。

干沉降重金属元素平均值中 Pb、Cr、Cd 元素含

量相对其他元素高,As、Hg 元素含量相对较低,重金属元素含量的平均值与土壤中重金属元素的平均值比值从大到小依次为 Cd>Pb>Hg>Cr>As。平坝区大气湿沉降物 pH 值偏酸性,元素含量平均值中 B、Zn 元素含量相对其他元素高,湿沉降中元素含量的平均值与土壤中元素的平均值比值仅 Se 大于 0,表明湿沉降中重金属元素对土壤影响较小。

表5 干沉降物元素含量特征

Table 5 Characteristics of element content in dry fallout

样品编号	Cr	Cd	Pb	As	Hg	渣重
1	26.9	3.83	130	1.86	0.21	7.11
2	87.2	1.54	122	2.06	0.082	0.39
3	18.9	2.60	78.7	2.42	0.17	10.9
平均值(X)	44.30	2.65	110.00	2.11	0.15	-
土壤平均值(X1)	136.27	0.47	43.75	26.30	0.21	-
比值(X/X1)	0.33	5.64	2.51	0.08	0.71	-

注:渣重单位为 g,其余单位为 μg/g。

表6 湿沉降物元素含量特征

Table 6 Characteristics of element content in wet fallout

样品编号	pH	B	Zn	Ge	Se	Cd	Pb	As	Hg	F	Cr <sup>+6</sup>	体积(L)
1	5.68	44.4	6.3	0.43	3.25	0.17	1.42	1.14	0.012	0.25	<0.001	54.22
2	6.07	6.26	8.15	0.032	1.34	0.084	0.98	0.27	0.008	0.22	<0.001	54.22
3	6.08	18	3.38	0.18	4.25	0.17	1.21	1.43	0.015	0.38	<0.001	50.6
平均值(X)	5.94	22.9	5.94	0.21	2.94	0.14	1.21	0.95	0.012	0.28	-	-
土壤平均值(X1)	-	82.29	125.16	1.6	0.64	0.47	43.75	26.31	0.21	1 229.32	-	-
比值(X/X1)	-	0.28	0.05	0.13	4.59	0.30	0.03	0.04	0.06	0.00	-	-

注:体积单位为 L,其余单位为 μg/L。

### 3 结论与建议

(1)平坝区耕地以酸性为主,酸性土壤面积占 67.38%,土壤发育较强,易影响耕地土壤中重金属的活性,改变耕地土壤中养分的形态和养分的有效性。可适量使用改酸材料(如白云石粉),适当提高耕地土壤 pH。

(2)养分元素 K 平均值偏低,其余 B、Co、Cu、Mn、Mo、N、P、V、Zn、有机质等也仅达到中等土壤养分含量要求,在未来农业生产中可进行针对性施肥。

(3)贵州省平坝区耕地土壤地球化学质量评价对环境质量现状具有重要的现实意义,也对制定土壤合理利用提供了重要依据。

### [参考文献]

蔡大为,李龙波,蒋国才,严琦,任明强. 2020. 贵州耕地主要元素地球化学背景值统计与分析[J]. 贵州地质, 37(3): 233-239.

陈武,任明强,芦正艳,等. 2010. 贵州典型喀斯特区土壤地球化学特征研究[J]. 中国岩溶, 29(3): 246-252.

成晓梦. 2016. 云南不同成土母质土壤剖面中重金属元素地球化学行为与风险分析[D]. 中国地质大学(北京): 北京.

何邵麟,陈武,刘应忠,等. 2015. 贵阳市土壤地球化学背景与生态环境分析[J]. 地球与环境, 308(06): 57-67.

孔鹏飞,刘志臣,郭宇,任光明,王虎胜,罗永双,姜先欢. 2020. 贵州遵义汇川区耕地质量地球化学特征及对土地整治工作的意义[J]. 贵州地质, 37(3): 273-280.

李文红,丁永辉,张朝显,等. 2016. 沛县土壤肥力现状及改良对策[J]. 江苏农业科学, 44(07): 506-508.

李艳,鄢兴旭,姜再菊,罗沙,孟超领. 2020. 贵州省普定县耕地土

- 壤 Se 分布特征[J]. 贵州地质,37(3):372-377.
- 聂艳. 2005. 耕地质量评价的模型方法与信息系统集成及应用研究[D]. 武汉:华中农业大学.
- 石睿,张锡贵. 2020. 贵州省沿河县耕地土壤元素地球化学特征及其特色耕地利用建议[J]. 贵州地质,37(3):266-272.
- 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等. 2012. 耕地质量的概念和评价与管理对策[J]. 土壤学报,49(06):1210-1217.
- 王大伟,刘新平,潘文汇. 2015. 基于 MATLAB 聚类法的耕地质量的差异分析[J]. 新疆农业科学,52(01):191-195.
- 吴会军,张淑香,任意. 2019. 黑龙江克山县耕地肥力要素多元分析[J]. 中国土壤与肥料,04:53-57.
- 徐志强. 2020. 铁岭县黑土地保护利用项目区耕地质量等级评价研究[J]. 辽宁农业科学,02:38-41.
- 于林松,施泽明,胡尊芳,等. 2019. 基于土壤地球化学分区的耕地土壤重金属潜在生态风险评价——以郟城县某镇大比例尺调查区为例[J/OL]. 生态与农村环境学报,1-12. <https://doi.org/10.19741/j.issn.1673-4831.0589>.
- 周国华,朱立新,任天祥,等. 1994. 龙井茶生长环境的地球化学研究[J]. 物探与化探,(04):263-270.
- 张莉,周康. 2005. 贵州省土壤重金属污染现状与对策[J]. 贵州农业科学,033(005):114-115.
- 周琦,王砚耕,陈旭晖. 2020. 贵州耕地质量地球化学调查评价工程成果及其意义[J]. 贵州地质,37(3):225-226,232.
- 张泽东,李朝婵,黄先飞,等. 2018. 喀斯特地区无籽刺梨种植基地土壤重金属风险评价[J]. 江苏农业科学,046(022):310-314.
- Guggenberger G, Baumler R, Zech W. 1998. Weathering of soil developed in eolian Material overlaying glacial deposits in eastern Nepal [J]. Soil Ence,163(4):325-337.
- Kautz CQ, Martin CE. 2007. Chemical and physical weathering in New Zealand's Southern Alps monitored by bedload sediment major element composition[J]. Applied Geochemistry,22(8):1715-1735.
- Nesbitt HW, Young GM. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites [J]. Nature,299(5885):715-717.
- Nesbitt HW, Young GM. 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic consideration [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,48(7):1523-1534.

## Comprehensible Evaluation of Soil Geochemical Quality in Cultivated land of Pingba District in Guizhou Province

HE Ben-qing<sup>1,2</sup>, YAN Xing-xu<sup>2</sup>, LUO Sha<sup>1,2</sup>, MENG Chao-ling<sup>1,2</sup>

(1. *Guizhou Coal Mine Geological Engineering Consulting and Geological Environment Monitoring Center, 550008 Guiyang, Guizhou, China*; 2. *Guizhou Hongtai Environmental Protection Technology Co, Ltd., Guiyang 550008, Guizhou, China*)

[Abstract] The cultivated land is rare and limited natural resource, is also related to agricultural product quality safe and environmental safe. The soil geochemical survey is guided by eco-geochemistry theory, meanwhile taken atmospheric deposition and irrigation water geochemical survey in account, the cultivated land is quantified scientifically, it will service the agricultural plantation structure, scientific and reasonable fertilization, soil pollution treatment and the Three Main Strategies of 'big poverty alleviation, big data and big ecology' in Guizhou. Bu investigation, it achieved basic statistics of 21 soil nutrients, 7 environmental index and geochemical background value in the soil of Pingba, Guizhou, the element content of irrigation water and atmospheric deposition. The soil geochemical background value affords scientific basis for agricultural industry development, then the suggestions of land utilization are given.

[Key Words] Cultivated land; Soil; Geochemistry; Guizhou