

# 成都市土壤中元素地球化学基准值研究及其意义

唐文春<sup>1,2</sup>, 金立新<sup>2</sup>, 周雪梅<sup>2</sup>

(1. 成都理工大学, 四川 成都 610059 2. 四川省地质调查院 化探所, 四川 德阳 618000)

**摘要:**通过系统的土壤深层(第I环境)取样调查,研究并给出了成都市土壤中元素系列地球化学基准值及其基本特征,包括全区及不同景观区、不同流域、不同土壤类型、不同用地、不同行政区土壤中元素地球化学基准值,为区域经济发展规划和资源与环境评价提供了实用的基础地球化学信息。

**关键词:**成都市 土壤 元素 地球化学基准值

中图分类号:P631.2 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2005)01-0071-13

土壤既是人类生存发展最基本的、最重要的自然资源,也是与人类关系密切的自然环境要素。这里研究的土壤中元素地球化学基准值(以下简称基准值)是指基本未受人类活动影响,代表第I环境(原生环境)特征的土壤中元素含量。土壤中元素基准值研究是一项重要的基础工作,对资源、环境评价和国民经济可持续发展规划具有重要意义。

## 1 研究方法

由于人类生产活动已经历了相当长的时期,特别是现代工业的迅速发展,表层土壤已普遍遭受不同程度的污染影响。因此选择基本未受人类活动影响和现代工业污染的深层土壤为研究对象,通过系统的样品采集,采用高精度的分析测试技术,以统计学的方法研究土壤元素基准值。

研究区位于四川盆地西部,包括成都市所辖的整个地区,面积12400 km<sup>2</sup>。涉及龙门山区、盆地丘陵区、盆地平原区3个主体地貌单元。

### 1.1 样品采集

以每16 km<sup>2</sup>为一个采样单元,每个采样单元采集1件样品。根据成都市区污染元素垂向分布特征,污染元素一般分布在地表下0~1 m范围内,1 m以下基本没有受到污染,因此样品一般取至地表下100~180 cm的土壤层,西部龙门山区及部分浅覆盖丘陵区选择山间较平坦的地段采集,深度为80~100 cm。共采集正点样品832件,重复采样23件。

### 1.2 样品分析

样品分析以X荧光光谱法和等离子体光谱计

法为主,辅以原子吸收法、等离子体发射光谱、原子荧光法、催化极谱法等方法体系,以国家一级土壤标准物质(GBW系列)进行准确度和精密度监控,按比例随机检查和异常点抽查进行样品分析质量监控,以重复采样、重复分析来评定采样和分析误差是否对区域地球化学变化有显著影响。

### 1.3 土壤元素基准值的确定

深层土壤由于基本未受到人类活动影响,可以反映原生环境特征,其元素含量的平均值既代表该区域土壤元素的基准值。在数据处理过程中首先计算研究区土壤深层样元素平均值 $\bar{X}_1$ 、标准离差 $S_1$ ,将研究区数据经 $\bar{X}_1 \pm 2S_1$ 反复剔除后再计算其平均值 $\bar{X}_2$ ,即为研究区土壤元素基准值。

### 1.4 相对丰度值 $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$ 的确定

$K_1$  = 全区元素基准值/地壳元素丰度 $C_i$ (黎彤, 1976),用来衡量研究区土壤元素含量相对于地壳元素丰度的相对丰度。

$K_2$  = 全区元素基准值/全国土壤元素平均值 $C_2$ (鄢明才, 1996),用来衡量研究区元素基准值相对于全国土壤元素含量背景的背景的相对丰度。

$K_3$  = 研究单元基准值/全区基准值,用来衡量研究单元元素基准值相对于全区土壤元素基准值的相对丰度。

## 2 土壤元素基准值特征

### 2.1 成都市全区土壤元素基准值特征

成都市土壤中53种元素(包括氧化物、pH值)的基准值见表1。表中 $\bar{X}_1$ 、 $S_1$ 、 $C_{v1}$ 和 $\bar{X}_2$ 、 $S_2$ 、 $C_{v2}$ 分别

表 1 成都市土壤地球化学指标基准值特征

指标	$\bar{X}_{1,max}$	$\bar{X}_{1,min}$	$\bar{X}_1$	$S_1$	$C_{v1}$	$\bar{X}_2$	$S_2$	$C_{v2}$	$C_1$	$C_2$	$K_1$	$K_2$
Ag	3.80	0.040	0.082	0.13	1.64	0.069	0.01	0.13	0.08	0.077	0.86	0.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.0	4.23	13.4	2.59	0.19	13.9	1.49	0.11	15.7	12.6	0.88	1.11
As	66.1	0.45	9.66	5.98	0.62	6.84	2.33	0.34	2.20	10.0	3.11	0.68
Au	117	0.62	2.75	5.83	2.12	2.01	0.33	0.17	3.99	1.40	0.50	1.43
B	245	10.5	62.9	27.5	0.44	61.4	18.0	0.29	13.0	40.0	4.72	1.53
Ba	861	64.2	445	125	0.28	442	100	0.23	390	499	1.13	0.89
Be	5.63	0.45	2.23	0.60	0.27	2.21	0.45	0.20	1.30	1.80	1.70	1.23
Bi	1.77	0.02	0.30	0.12	0.40	0.29	0.08	0.27	0.004	0.30	72.2	0.96
Br	18.5	0.10	2.26	2.08	0.92	1.44	0.64	0.44	4.4	3.50	0.33	0.41
C	9.12	0.05	0.85	1.08	1.28	0.28	0.11	0.41	0.28	0.23	1.00	1.22
CaO	39.9	0.05	2.32	3.84	1.65	0.66	0.33	0.50	7.28	3.19	0.09	0.21
Cd	1.18	0.05	0.17	0.11	0.66	0.12	0.03	0.23	0.20	0.09	0.62	1.38
Ce	205	11.4	67.6	18.4	0.27	67.3	11.7	0.17	43.0	71.9	1.56	0.94
Cl	1190	1.00	77.9	73.9	0.95	51.6	10.0	0.19	280	68.2	0.18	0.76
Co	96.2	4.22	16.1	6.48	0.40	14.9	3.03	0.20	25.0	13.0	0.60	1.15
Cr	337	19.7	83.4	30.2	0.36	76.4	10.4	0.14	110	65.0	0.69	1.18
Cu	971	3.30	31.5	48.0	1.52	26.4	5.27	0.20	63.0	23.9	0.42	1.11
F	2360	116	631	226	0.36	601	106	0.18	450	480	1.33	1.25
Ga	51.0	4.90	17.9	5.88	0.33	16.3	3.49	0.21	18.0	17.0	0.90	0.96
Ge	2.08	0.25	1.39	0.23	0.17	1.39	0.16	0.11	1.40	1.30	0.99	1.07
Hg	1.66	0.01	0.06	0.07	1.26	0.04	0.01	0.39	0.089	0.041	0.44	0.90
I	7.28	0.24	1.23	0.91	0.74	0.80	0.32	0.40	0.6	0.593	1.33	1.34
K <sub>2</sub> O	4.62	0.60	2.23	0.64	0.28	2.10	0.41	0.20	2.4	2.51	0.88	0.84
La	104	8.45	34.8	7.85	0.23	34.8	4.91	0.14	39.0	38.0	0.89	0.92
Li	132	14.4	37.8	12.6	0.33	35.6	7.83	0.22	21.0	30.0	1.70	1.19
MgO	15.0	0.30	1.77	1.22	0.69	1.49	0.50	0.34	4.67	1.80	0.32	0.83
Mn	4272	76.7	737	398	0.54	686	198	0.29	1300	600	0.53	1.14
Mo	11.0	0.13	0.81	0.59	0.72	0.65	0.23	0.35	1.30	0.80	0.50	0.82
N	4733	94.0	652	498	0.76	409	111	0.27	18.0	640	22.71	0.64
Na <sub>2</sub> O	3.54	0.06	0.88	0.59	0.68	0.52	0.24	0.46	3.9	1.61	0.13	0.32
Nb	51.2	5.50	18.3	4.17	0.23	18.4	2.92	0.16	19.0	16.0	0.97	1.15
Ni	194	8.61	36.0	15.7	0.44	33.6	6.52	0.19	89.0	26.0	0.38	1.29
P	2129	122	481	246	0.51	423	166	0.39	1200	520	0.35	0.81
Pb	158	8.00	27.3	13.6	0.50	23.2	5.45	0.23	12.0	23.0	1.93	1.01
Rb	221	21.6	105	31.3	0.30	101	23.6	0.23	78	99.5	1.29	1.01
S	4312	38.3	190	360	1.89	83.4	18.0	0.22	400	150	0.21	0.56
Sb	2.81	0.04	0.68	0.37	0.54	0.53	0.18	0.35	0.60	0.80	0.89	0.67
Sc	35.0	2.51	11.7	3.41	0.29	11.6	2.17	0.19	18.0	11.0	0.64	1.05
Se	2.78	0.01	0.15	0.22	1.44	0.09	0.03	0.37	0.08	0.14	1.12	0.63
SiO <sub>2</sub>	83.2	19.7	65.6	7.14	0.11	65.7	3.75	0.06	62	65.0	1.06	1.01
Sn	8.30	1.72	3.19	0.79	0.25	2.85	0.39	0.14	1.70	2.50	1.68	1.14
Sr	607	13.9	118	67.0	0.57	80.9	19.5	0.24	480	170	0.17	0.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.0	1.33	5.64	1.54	0.27	5.58	0.88	0.16	8.38	3.39	0.67	1.65
Th	211	0.40	13.6	8.35	0.62	12.8	3.61	0.28	5.8	12.5	2.2	1.03
Ti	17670	1039	4703	1311	0.28	4540	693	0.15	6400	4300	0.71	1.06
Tl	1.27	0.21	0.73	0.15	0.21	0.74	0.11	0.15	0.48	0.60	1.54	1.23
U	11.67	0.46	2.72	1.07	0.39	2.51	0.62	0.25	1.70	2.60	1.48	0.96
V	351	30.6	104	31.3	0.30	102	18.2	0.18	140	82.2	0.73	1.24
W	4.10	0.35	1.78	0.63	0.35	1.65	0.43	0.26	1.10	1.80	1.50	0.92
Y	70.9	13.6	27.5	4.76	0.17	27.5	3.15	0.11	24.0	23.0	1.14	1.19
Zn	520	27.3	81.3	31.1	0.38	78.9	9.82	0.12	94.0	68.0	0.84	1.16
Zr	548	15.3	255	64.8	0.25	256	31.5	0.12	130	250	1.97	1.02
pH	8.62	4.21	7.37	0.89	0.12	7.79	0.38	0.05				

注  $\mu$ (C、氧化物) %  $\mu$ (Au)/10<sup>-9</sup>  $\mu$ (其余元素或氧化物)/10<sup>-6</sup>, 下同。

为剔除离散数据(小于  $\bar{X}_1 - 2S_1$ , 大于  $\bar{X}_1 + 2S_1$ )前后的平均值、标准离差和变异系数(标准离差/平均值)  $\bar{X}_{1,max}$ 、 $\bar{X}_{1,min}$  分别为原始数据剔除离散数据前的最大值和最小值。

由表 1 可知,  $K_1 > 1.2$  的元素有 17 个, 这些元素基准值明显高于地壳丰度, 其中  $K_1 > 1.5$  的有 As、B、Be、Bi、Ce、Li、N、Pb、Sn、Th、Tl、Zr 等 12 个元素, 其基准值显著高于地壳丰度。  $K_1 < 0.8$  的元素或氧化物为 21 个, 其中  $K_1 \leq 0.5$  的有 Au、Br、CaO、Cl、Cu、Hg、MgO、Mo、Na<sub>2</sub>O、Ni、P、S、Sr 等 13 个元素或氧化物, 其基准值显著低于地壳丰度。

与全国土壤元素平均值  $C_2$  比较,  $K_2 > 1.2$  的有 Au、B、Be、C、Cd、F、I、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Tl、V, 基准值明显高于全国土壤元素平均值, 相对富集, 这些元素主要反映中酸性岩浆岩或粘土的成土母岩特征。其中 C、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、B、I 为农作物营养组分, 表明原生环境可为农田提供相对充足养分, 但在微弱碱性 (pH = 7 ~ 8) 的条件下, B、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等营养组分有效性较低, 应适当降低土壤 PH 值, 增加养分有效供给能力。仅有 Be、Cd、F、Tl 等有毒元素相对偏高, 但未达土壤污染标准, 因此区域原生土壤地球化学环境相对洁净, 无明显区域自然污染。

$K_2 < 0.8$  的有 As、Br、CaO、Cl、N、Na<sub>2</sub>O、S、Sb、Se、Sr, 明显低于全国土壤元素平均值, 其中 Br、CaO、Na<sub>2</sub>O、Sr 的  $K_2 < 0.5$ , 显著低于全国土壤元素平均值。这些元素中除 As、Sb 外均为农作物有益元素, 土壤原生环境有益元素相对贫乏, 可能导致农田养分缺失, 在农业生产中需要采取合理施肥等手段提高养分供给。

农作物主要营养元素 N、P、K 的基准值与四川土壤养分分级标准比较, N 的基准值 (0.041%) 仅为五、六级土壤标准 (全氮量小于 0.075%), P 的基准值 0.042% 为三、四级土壤标准 (全磷量 0.04% ~ 0.08%), K<sub>2</sub>O 的基准值 2.1% 为三、四级土壤标准 (全钾量 1.41% ~ 2.82%), 因此土壤原生环境为农田提供主要养分的能力较弱。

$K_2$  值在 0.8 ~ 1.2 之间的元素或氧化物有 31 个, 占全部 52 个元素或氧化物的 59.6%, 即多数元素基准值与中国土壤元素丰度较为接近。

## 2.2 不同景观区土壤元素基准值特征

成都市不同景观区土壤元素基准值列于表 2, 表中  $n$  为样本数 (表 3 ~ 6 同)。从表中可以看出:

平原区的  $K_3$  值在 0.81 ~ 1.96 之间, 最低为 Sb 元素, 最高为 Na<sub>2</sub>O。其中 As、CaO、Na<sub>2</sub>O、Sr 等  $K_3$  值在 1.2 万为数据, 相对富集明显。As 的富集与区

内地质构造环境有关, 是寻找油气资源的指示元素, 但该元素对农作物是有毒元素, 应注意调查其局部富集特征和迁移转化规律。CaO、Na<sub>2</sub>O、Sr 等化学性质活泼, 易于迁移, 因此在平原区相对富集。

丘陵区的  $K_3$  值在 0.76 ~ 1.29 之间, 其中 P 相对较低 ( $K_3 = 0.76$ ), Sb、Na<sub>2</sub>O 的相对较高, 分别为 1.29 和 1.25。其余的在 0.8 ~ 1.2 之间, 其基准值与全区基准值接近。丘陵区 P 相对贫乏, 与一套紫红色碎屑岩成土母岩有关, 其基准值仅为四川土壤养分分级三、四级标准 (全磷 0.04% ~ 0.08%), 成土母质为耕作层土壤提供 P 的能力较弱, 因此这些地区农业生产应注意结构调整和种植技术改良。Sb 的富集可能与地质构造环境有关。

山区的  $K_3$  值在 0.71 ~ 3.28 之间, 最低值为 Th, 最高值为 C, 变化较大。  $K_3 > 1.2$  的有 Br、C、Cd、Cl、Hg、I、N、P、S、Se, 这些相对富集的元素反映出龙门山区特有的地质地球化学环境特征, Br、C、I、N、P 是由于区内植物生命活动造成聚集, 而 Cd、Cl、Hg、S、Se 的高含量主要与含煤岩系等有关, 有毒元素富集的煤系地层分布区要避免种植经济作物, 以恢复植被为主。Na<sub>2</sub>O、Th 相对贫乏 ( $K_3 < 0.8$ ), Na<sub>2</sub>O 的低含量与其易迁移的地球化学性质有关, 而 Th 的低含量与其在有机质中不富集的生物地球化学特征有关。

## 2.3 不同流域土壤元素基准值特征

表 3 列出了不同流域土壤中 52 个元素 (或氧化物) 的基准值数据, 主要特征如下:

岷江流域的  $K_3$  值在 0.69 ~ 2.98 之间, 最低为 Hg, 最高为 Na<sub>2</sub>O。相对富集 ( $K_3 > 1.2$ ) 的有 As、Ba、CaO、Ga、K<sub>2</sub>O、MgO、Na<sub>2</sub>O、P、Sr 等。其余的  $K_3$  值在 0.8 ~ 1.2 之间, 基准值与全区接近。相对富集的元素主要反映了物源区特征和元素的迁移能力, Ba、CaO、K<sub>2</sub>O、MgO、Na<sub>2</sub>O、Sr 的富集与物源区的碳酸盐岩地层有关, 且这些元素或氧化物多以真溶液形式迁移, 易于在富水的深层土壤中富集; 而 Ga 和 P 的富集分别与物源区三叠系含煤地层和寒武系含磷地层有关。有毒元素 As 虽然偏高, 但 9.54 的含量低于一级土壤环境质量标准 (< 15), 而有毒元素 Hg 为低含量分布, 因此岷江流域地球化学环境无自然污染, 土壤原生地球化学环境洁净。

蒲江流域的  $K_3$  值在 0.63 ~ 1.3 之间, 绝大多数元素或氧化物在 0.8 ~ 1.2 之间, 基准值与全区基准值接近。仅有 Hg、Na<sub>2</sub>O 相对富集, Mn、Mo 相对贫乏。Hg 基准值为 0.05, 相对偏高, 但远低于一级土壤环境质量标准 (< 0.15), 因此土壤原生地球化学

表 2 成都市不同景观区土壤地球化学指标基准值

指标	测区	平原( $n=384$ )				丘陵( $n=276$ )				山区( $n=228$ )			
	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_2$	$S_2$	$C_{v2}$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$S_2$	$C_{v2}$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$S_2$	$C_{v2}$	$K_3$
Ag	0.07	0.07	0.01	0.13	1.01	0.07	0.01	0.09	0.95	0.07	0.01	0.16	1.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.9	14.2	1.59	0.11	1.01	13.7	1.24	0.09	0.98	13.8	1.56	0.11	0.99
As	6.84	8.72	3.36	0.38	1.28	6.84	2.06	0.30	1.00	5.73	2.34	0.41	0.84
Au	2.01	2.03	0.35	0.17	1.01	1.97	0.24	0.12	0.98	1.93	0.33	0.17	0.96
B	61.4	63.2	14.6	0.23	1.03	60.3	21.8	0.36	0.98	55.6	23.6	0.42	0.91
Ba	442	491	89.6	0.18	1.11	426	64.1	0.15	0.96	356	78.0	0.22	0.81
Be	2.21	2.29	0.50	0.22	1.04	2.21	0.43	0.19	1.00	2.03	0.32	0.16	0.92
Bi	0.29	0.29	0.08	0.27	1.01	0.29	0.06	0.21	1.00	0.29	0.09	0.30	1.01
Br	1.44	1.36	0.58	0.43	0.94	1.39	0.62	0.45	0.96	3.09	1.58	0.51	2.14
C	0.28	0.28	0.10	0.35	0.99	0.23	0.09	0.40	0.83	0.92	0.51	0.56	3.28
CaO	0.66	0.80	0.37	0.46	1.23	0.53	0.29	0.56	0.80	0.55	0.24	0.44	0.84
Cd	0.12	0.12	0.02	0.16	0.93	0.12	0.03	0.24	0.99	0.16	0.05	0.30	1.32
Ce	67.3	70.1	12.1	0.17	1.04	67.8	10.1	0.15	1.01	62.0	10.2	0.16	0.92
Cl	51.6	47.7	6.89	0.14	0.92	56.0	10.9	0.19	1.09	69.5	20.8	0.30	1.35
Co	14.9	15.0	2.91	0.19	1.01	14.0	3.55	0.25	0.93	15.4	2.93	0.19	1.03
Cr	76.4	78.4	10.5	0.13	1.03	72.8	11.8	0.16	0.95	78.2	6.40	0.08	1.02
Cu	26.4	27.4	5.54	0.20	1.04	22.8	6.97	0.31	0.86	24.9	3.78	0.15	0.94
F	601	622	88.8	0.14	1.04	577	165	0.29	0.96	548	108	0.20	0.91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58	5.93	0.86	0.14	1.06	5.10	1.25	0.24	0.91	5.18	0.90	0.17	0.93
Ga	16.3	17.5	3.61	0.21	1.08	14.5	2.65	0.18	0.89	16.8	4.66	0.28	1.03
Ge	1.39	1.41	0.15	0.11	1.01	1.35	0.14	0.10	0.97	1.43	0.21	0.15	1.03
Hg	0.04	0.04	0.02	0.41	1.00	0.03	0.01	0.37	0.91	0.06	0.03	0.47	1.57
I	0.80	0.73	0.26	0.36	0.92	0.78	0.33	0.42	0.98	1.15	0.57	0.49	1.45
K <sub>2</sub> O	2.10	2.14	0.50	0.23	1.02	2.16	0.47	0.22	1.03	2.10	0.35	0.17	1.00
La	34.8	37.1	3.80	0.10	1.07	34.2	3.59	0.11	0.98	34.5	6.12	0.18	0.99
Li	35.6	35.6	5.92	0.17	1.00	34.7	8.75	0.25	0.97	40.6	11.4	0.28	1.14
MgO	1.49	1.68	0.33	0.20	1.13	1.27	0.55	0.44	0.85	1.42	0.15	0.11	0.95
Mn	686	690	227	0.33	1.01	644	178	0.28	0.94	731	217	0.30	1.07
Mo	0.65	0.61	0.20	0.32	0.93	0.63	0.24	0.38	0.97	0.78	0.27	0.35	1.19
N	408	406	102	0.25	0.99	384	116	0.30	0.94	962	441	0.46	2.35
Na <sub>2</sub> O	0.52	1.02	0.56	0.55	1.96	0.65	0.32	0.49	1.25	0.40	0.11	0.26	0.77
Nb	18.4	18.4	2.49	0.14	1.00	17.5	3.53	0.20	0.95	19.0	3.34	0.18	1.03
Ni	33.4	35.6	7.16	0.20	1.06	33.0	6.76	0.20	0.98	30.2	4.35	0.14	0.90
P	423	425	169	0.40	1.00	321	119	0.37	0.76	557	101	0.18	1.32
Pb	23.2	24.0	5.04	0.21	1.04	20.8	4.93	0.24	0.90	26.0	7.65	0.29	1.12
Rb	101	104	27.5	0.26	1.03	104	18.2	0.17	1.03	91.8	19.1	0.21	0.91
S	83.5	80.9	16.3	0.20	0.97	82.7	17.6	0.21	0.99	216	127	0.59	2.58
Sb	0.53	0.43	0.12	0.27	0.81	0.69	0.20	0.30	1.29	0.49	0.17	0.36	0.91
Sc	11.6	12.8	1.70	0.13	1.11	10.7	1.76	0.17	0.92	10.4	2.16	0.21	0.90
Se	0.09	0.09	0.03	0.33	0.97	0.09	0.04	0.43	1.04	0.15	0.07	0.46	1.74
SiO <sub>2</sub>	65.7	64.7	2.36	0.04	0.99	66.5	4.50	0.07	1.01	66.6	5.26	0.08	1.01
Sn	2.85	3.02	0.42	0.14	1.06	2.61	0.17	0.07	0.91	3.38	0.86	0.25	1.19
Sr	80.9	113	39.8	0.35	1.39	85.6	22.7	0.27	1.06	76.2	15.6	0.20	0.94
Th	12.8	14.2	3.18	0.22	1.11	14.0	2.99	0.21	1.09	9.09	1.80	0.20	0.71
Ti	4540	4791	580	0.12	1.06	4243	771	0.18	0.93	4186	692	0.17	0.92
Tl	0.74	0.73	0.12	0.16	0.98	0.72	0.10	0.14	0.97	0.77	0.11	0.15	1.05
U	2.51	2.23	0.58	0.26	0.89	2.53	0.55	0.22	1.01	2.82	0.56	0.20	1.12
V	102	108	15.3	0.14	1.07	90.9	19.6	0.22	0.89	95.2	19.0	0.20	0.94
W	1.65	1.84	0.50	0.27	1.11	1.54	0.40	0.26	0.94	1.49	0.32	0.21	0.91
Y	27.5	29.5	2.10	0.07	1.07	27.7	3.41	0.12	1.01	25.1	1.85	0.07	0.91
Zn	78.9	79.9	8.4	0.11	1.01	72.6	12.5	0.17	0.92	81.3	12.0	0.15	1.03
Zr	256	256	28.3	0.11	1.00	256	43.6	0.17	1.00	251	31.0	0.12	0.98
pH	7.68	7.68	0.38	0.05	0.99	8.20	0.13	0.02	1.05	7.37	0.60	0.08	0.95

表 3 成都市不同流域土壤地球化学指标基准值

指标	测区	岷江流域 (n = 122)				蒲江流域 (n = 58)				沱江流域 (n = 101)			
	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_2$	$S_2$	$C_{v2}$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$S_2$	$C_{v2}$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$S_2$	$C_{v2}$	$K_3$
Ag	0.07	0.07	0.01	0.13	1.07	0.06	0.00	0.05	0.93	0.07	0.01	0.16	1.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.9	14.5	1.73	0.12	1.04	11.6	3.01	0.26	0.83	14.5	1.13	0.08	1.04
As	6.84	9.54	3.62	0.38	1.40	6.34	2.06	0.33	0.93	7.82	2.94	0.38	1.14
Au	2.01	2.00	0.39	0.20	1.00	2.00	0.45	0.23	0.99	1.90	0.15	0.08	0.94
B	61.4	70.7	13.3	0.19	1.15	63.2	9.63	0.15	1.03	50.4	13.9	0.28	0.82
Ba	442	550	72.0	0.13	1.24	374	80.4	0.21	0.85	518	63.0	0.12	1.17
Be	2.21	2.54	0.43	0.17	1.15	2.00	0.52	0.26	0.91	2.08	0.52	0.25	0.94
Bi	0.29	0.32	0.07	0.21	1.11	0.26	0.10	0.40	0.90	0.26	0.09	0.32	0.91
Br	1.44	1.18	0.56	0.48	0.82	1.44	0.54	0.37	1.00	1.78	0.73	0.41	1.23
C	0.28	0.34	0.11	0.32	1.20	0.28	0.09	0.31	1.00	0.30	0.14	0.46	1.07
CaO	0.66	1.04	0.14	0.14	1.59	0.57	0.09	0.16	0.87	1.14	0.61	0.54	1.75
Cd	0.12	0.12	0.02	0.18	0.95	0.13	0.03	0.21	1.02	0.12	0.02	0.16	0.93
Ce	67.3	75.0	12.1	0.16	1.11	64.9	11.9	0.18	0.96	64.8	12.1	0.19	0.96
Cl	51.6	47.7	5.51	0.12	0.92	52.2	12.1	0.23	1.01	69.8	26.8	0.38	1.35
Co	14.9	15.2	2.66	0.18	1.02	14.3	4.00	0.28	0.96	16.6	3.07	0.19	1.11
Cr	76.4	77.8	9.66	0.12	1.02	83.8	17.1	0.20	1.10	85.9	14.2	0.17	1.12
Cu	26.4	30.6	3.94	0.13	1.16	22.6	6.65	0.29	0.86	26.4	5.14	0.19	1.00
F	600	669	71.9	0.11	1.11	503	140	0.28	0.84	583	73.3	0.13	0.97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58	5.90	0.69	0.12	1.06	4.83	0.97	0.20	0.87	6.11	0.88	0.14	1.10
Ga	16.3	20.9	3.32	0.16	1.28	17.3	3.76	0.22	1.06	17.2	1.64	0.10	1.06
Ge	1.39	1.47	0.12	0.08	1.06	1.44	0.17	0.12	1.04	1.32	0.09	0.07	0.95
Hg	0.04	0.03	0.01	0.30	0.69	0.05	0.01	0.29	1.30	0.04	0.01	0.36	1.03
I	0.80	0.67	0.22	0.33	0.84	0.83	0.26	0.31	1.04	0.85	0.33	0.39	1.06
K <sub>2</sub> O	2.10	2.54	0.51	0.20	1.21	1.85	0.47	0.25	0.88	1.97	0.16	0.08	0.94
La	34.8	39.3	3.99	0.10	1.13	32.3	6.04	0.19	0.93	33.4	7.21	0.22	0.96
Li	35.6	34.7	4.64	0.13	0.97	33.7	8.19	0.24	0.95	34.1	7.21	0.21	0.96
MgO	1.49	1.81	0.19	0.10	1.21	1.34	0.37	0.28	0.90	1.45	0.48	0.33	0.97
Mn	686	759	191	0.25	1.11	430	107	0.25	0.63	834	237	0.28	1.22
Mo	0.65	0.68	0.21	0.32	1.03	0.51	0.16	0.32	0.78	0.59	0.20	0.33	0.91
N	409	438	94.7	0.22	1.07	465	126	0.27	1.14	366	95.5	0.26	0.90
Na <sub>2</sub> O	0.52	1.55	0.21	0.14	2.98	0.65	0.09	0.15	1.24	1.12	0.65	0.58	2.14
Nb	18.4	18.7	1.51	0.08	1.02	18.0	4.11	0.23	0.97	17.4	3.32	0.19	0.94
Ni	33.6	36.4	6.49	0.18	1.08	30.4	5.29	0.17	0.91	38.9	9.02	0.23	1.16
P	423	510	177	0.35	1.21	390	118	0.30	0.92	426	188	0.44	1.01
Pb	23.2	27.0	6.21	0.23	1.16	24.2	5.21	0.22	1.04	22.2	4.20	0.19	0.96
Rb	101	114	25.2	0.22	1.13	93.7	26.9	0.29	0.93	93.2	24.6	0.26	0.92
S	83.5	79.6	12.6	0.16	0.95	82.7	11.4	0.14	0.99	84.0	15.7	0.19	1.01
Sb	0.53	0.47	0.10	0.21	0.88	0.63	0.23	0.36	1.19	0.31	0.07	0.21	0.58
Sc	11.6	12.4	1.42	0.11	1.07	10.8	2.82	0.26	0.93	13.7	1.42	0.10	1.18
Se	0.09	0.09	0.03	0.31	1.02	0.10	0.03	0.36	1.08	0.09	0.03	0.38	0.97
SiO <sub>2</sub>	65.7	65.1	2.96	0.05	0.99	68.1	4.69	0.07	1.04	64.3	2.19	0.03	0.98
Sn	2.85	3.24	0.59	0.18	1.14	2.83	0.26	0.09	0.99	2.93	0.38	0.13	1.03
Sr	80.9	137	10.3	0.08	1.69	84.7	11.1	0.13	1.05	138	66.6	0.48	1.71
Th	12.8	13.6	2.62	0.19	1.06	15.1	3.17	0.21	1.18	12.8	3.87	0.30	1.00
Ti	4540	4745	466	0.10	1.05	4763	903	0.19	1.05	4869	613	0.13	1.07
Tl	0.74	0.70	0.15	0.21	0.95	0.70	0.14	0.20	0.94	0.77	0.08	0.10	1.03
U	2.51	2.13	0.52	0.24	0.85	2.59	0.70	0.27	1.03	2.47	0.77	0.31	0.99
V	102	109	14.7	0.14	1.07	97.4	23.7	0.24	0.96	115	11.0	0.10	1.13
W	1.65	1.95	0.29	0.15	1.18	1.78	0.53	0.30	1.08	1.55	0.53	0.34	0.94
Y	27.5	29.3	1.46	0.05	1.07	29.8	4.69	0.16	1.08	26.7	3.50	0.13	0.97
Zn	78.9	82.7	9.65	0.12	1.05	74.8	15.5	0.21	0.95	79.4	7.55	0.10	1.01
Zr	256	247	20.2	0.08	0.97	270	42.5	0.16	1.06	240	51.1	0.21	0.94
pH	7.70	7.70	0.34	0.04	0.99	7.82	0.32	0.04	1.00	7.50	0.32	0.04	0.96

环境是洁净的。有益元素 Mn、Mo 相对偏低,应进一步调查它们对农业生产的影响。

沱江流域的  $K_3$  值在 0.58 ~ 2.14 之间,最低为 Sb,最高为  $Na_2O$ 。 $Na_2O$ 、Br、CaO、Cl、Mn、Sr 等相对富集,其余元素或氧化物的  $K_3$  值在 0.8 ~ 1.2 之间,基准值与全区接近。该流域相对富集的元素反映了碳酸盐岩物源区特征和元素较强的迁移能力。流域内土壤原生环境无有毒有害元素富集。

### 2.4 不同用地土壤元素基准值特征

表 4 列出了不同用地土壤 52 个元素或氧化物的基准值数据,主要特征如下:

旱地的  $K_3$  值在 0.70 ~ 1.40 之间。CaO、 $Na_2O$ 、Sb 等基准值比全区明显偏高;Hg 和 V 的基准值明显低于全区,其  $K_3$  值分为 0.70 和 0.79。其余元素或氧化物的  $K_3$  值在 0.8 ~ 1.2 之间,基准值与全区接近。

居民地及工矿用地的  $K_3$  值在 0.41 ~ 2.56 之间。N、Br、Se 明显贫乏, $K_3$  值分别为 0.77、0.55 和 0.41。As、Au、CaO、Ce、Ga、La、 $Na_2O$ 、P、Sb、Sr、W、Zr 等明显富集, $K_3$  值大于 1.2,其中 CaO、 $Na_2O$  基准值是全区的 2.25 和 2.56 倍。

林地的  $K_3$  值在 0.70 ~ 4.61 之间,最低为 Th,最高为 C。明显富集的有 Br、C、CaO、Cd、Cl、Hg、I、Mo、N、P、S、Se、Sn, $K_3$  值大于 1.2,其中 Br、C、CaO、N、S 基准值是全区的 2 倍以上。

水田土的  $K_3$  值在 0.82 ~ 2.08 之间。明显富集的有 As、CaO、 $Na_2O$ 、Sr, $K_3$  值大于 1.2,其中  $Na_2O$  基准值是全区的 2.08 倍。

不同用地类型土壤元素基准值特征,反映了不同的环境条件和元素的地球化学性质。旱地和水田相对富集的元素较少,主要是 CaO 和  $N_2O$  等;水田 As 的基准值相对偏高,但低于一级土壤环境质量标准,且旱地 Hg 和 V 等有毒元素基准值明显偏低,因此旱地和水田土壤原生环境是洁净的。林地明显富集的元素较多,其中 Br、C、CaO、Cl、I、N、P 等与植物生命活动较强烈有关,而 Cd、Hg、Mo、S、Se、Sn 等元素的富集与含煤地层成土母岩有关;林地土壤元素基准值仅有 Th 偏低,与其在有机质中不聚集的生物地球化学特性有关。居民及工矿用地富集元素在一定程度上受人类活动影响,但其主要有毒元素含量仍低于一级土壤环境质量标准,因此总体上土壤原生环境是洁净的,而农作物有益元素 N、Br、Se 相对贫乏与植物生命活动较弱有关。

### 2.5 不同土壤类型元素基准值特征

表 5 列出了不同土壤类型 52 个元素或氧化物

的基准值数据,主要特征如下:

黄壤中 Br、C、Cd、Cl、Co、Hg、I、Mo、N、Pb、S、Se 明显富集,其中 Br、C、N 是全测区基准值的 2 倍以上。而 CaO、 $Na_2O$ 、Th 明显贫乏,特别是 CaO 显著贫乏,基准值仅为全区的 0.49 倍。

黄棕壤中 Br、C、CaO、Cd、Cl、Hg、I、 $K_2O$ 、MgO、Mn、N、 $Na_2O$ 、P、S、Se、Sr 明显富集,其中 Br、C、CaO、I、N、 $Na_2O$ 、S、Sr 是全区基准值的 2 倍以上。而 As、B、Bi、Sb、W、Zr 明显贫乏,基准值为全区的 0.8 倍以下。

黄褐土中 As、I、Mo、Sb、Th 明显富集,其中 As、Sb 是全区基准值的 2 倍以上。而 B、Br、C、Hg、MgO、Mn、N、P 明显贫乏,基准值为全区的 0.8 倍以下。

暗棕壤中 Br、C、CaO、Cd、Cl、Hg、I、MgO、Mn、Mo、N、 $Na_2O$ 、P、Pb、S、Sr、Se、Sn、Sr、Zr 明显富集,其中 Br、C、CaO、Hg、I、N、S 是全区基准值的 2 倍以上。仅 Th 明显贫乏。

棕色针叶林土中 Ag、Br、C、CaO、Cd、Cl、Co、Cu、 $Fe_2O_3$ 、Hg、 $K_2O$ 、MgO、Mn、Mo、N、 $Na_2O$ 、Nb、P、S、Se、Se、Sn、Sr、Ti、U、V 明显富集,其中 C、CaO、Cd、MgO、N、 $Na_2O$ 、S、Se、Sr 是全区基准值的 2 倍以上。As、B、Bi、Th、I、W 明显贫乏。

紫色土中  $K_3$  值在 0.8 ~ 1.2 之间,各元素基准值与全区基准值基本一致。

潮土中 Ag、Ba、Br、C、CaO、Cl、Cr、Ga、I、MgO、Mn、N、 $Na_2O$ 、Ni、P、Se、Sn、Sr 明显富集,其中 CaO、 $Na_2O$  是全区基准值的 2 倍以上。Ce、Sb、U 基准值明显低于全区。

水稻土中 As、CaO、 $Na_2O$ 、Sr 明显富集,其中  $Na_2O$  基准值是全区基准值的 2.02 倍。没有相对贫乏的元素分布。

不同土壤类型元素基准值特征与土壤的分布环境和性状有直接联系,也受土地利用的影响。区域内占优势的紫色土和水稻土元素的分布特征不显著,其它土类尽管分布面积小,统计样本较少,但可以初步总结元素的分布规律。通过不同土类原生环境农作物有益元素和微量元素分布的研究,可为农业种植结构调整和发展特色农业提供重要依据。土类中有些重金属元素相对富集,但多数未达一级土壤环境质量标准限制值,总体上主要土类原生地球化学环境是洁净的。其中暗棕壤的 Pb 含量、棕色针叶林土的 Cu 含量、潮土的 Cr 和 Ni 的含量达土壤环境质量标准二级含量,为轻微污染,但不足以危及动植物生长及人体健康。棕色针叶林土的 Cd 含量值已达三级,为中度污染。

表 4 成都市不同用地土壤地球化学指标基准值

指标	测区	旱地 <i>n</i> = 70		居民地及工矿用地 <i>n</i> = 5		林地 <i>n</i> = 123		水田土 <i>n</i> = 287	
		$\bar{X}_2$	$\bar{X}_2$ $K_3$	$\bar{X}_2$ $K_3$	$\bar{X}_2$ $K_3$	$\bar{X}_2$ $K_3$	$\bar{X}_2$ $K_3$		
Ag	0.07	0.06	0.91	0.07	1.01	0.07	1.04	0.07	1.02
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.9	13.6	0.98	14.5	1.04	13.6	0.97	14.3	1.02
As	6.84	7.93	1.16	11.2	1.63	5.67	0.83	9.69	1.42
Au	2.01	1.96	0.98	2.53	1.26	2.01	1.00	2.08	1.04
B	61.4	54.7	0.89	70.8	1.15	50.7	0.83	65.7	1.07
Ba	442	427	0.97	510	1.15	419	0.95	526	1.19
Be	2.21	2.12	0.96	2.37	1.07	1.98	0.90	2.36	1.07
Bi	0.29	0.27	0.92	0.27	0.95	0.29	1.00	0.30	1.05
Br	1.44	1.42	0.98	0.80	0.55	3.71	2.57	1.34	0.93
C	0.28	0.26	0.92	0.26	0.92	1.30	4.61	0.30	1.05
CaO	0.66	0.92	1.40	1.47	2.25	1.37	2.10	0.88	1.34
Cd	0.12	0.14	1.14	0.13	1.08	0.17	1.37	0.12	0.93
Ce	67.3	67.5	1.00	83.5	1.24	61.6	0.92	71.3	1.06
Cl	51.6	54.0	1.05	50.3	0.97	83.8	1.62	47.8	0.93
Co	14.9	14.5	0.97	12.3	0.82	16.8	1.13	15.2	1.02
Cr	76.4	69.2	0.91	80.3	1.05	76.6	1.00	79.5	1.04
Cu	26.4	21.5	0.81	30.0	1.13	24.2	0.91	29.3	1.11
F	601	575	0.96	721	1.20	536	0.89	632	1.05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58	4.80	0.86	6.03	1.08	5.41	0.97	6.01	1.08
Ga	16.3	13.1	0.81	22.6	1.39	17.7	1.09	18.0	1.10
Ge	1.39	1.32	0.95	1.55	1.11	1.40	1.00	1.41	1.02
Hg	0.04	0.03	0.70	0.04	1.19	0.07	1.89	0.04	0.99
I	0.80	0.80	1.00	0.89	1.12	1.20	1.51	0.65	0.82
K <sub>2</sub> O	2.10	2.18	1.04	2.34	1.12	2.11	1.01	2.24	1.07
La	34.8	32.8	0.94	46.7	1.34	33.9	0.98	38.1	1.09
Li	35.6	33.5	0.94	36.7	1.03	40.1	1.13	35.7	1.00
MgO	1.49	1.41	0.94	1.51	1.01	1.72	1.15	1.79	1.20
Mn	686	614	0.90	578	0.84	792	1.15	698	1.02
Mo	0.65	0.61	0.94	0.69	1.06	0.80	1.22	0.57	0.88
N	409	421	1.03	313	0.77	1171	2.87	416	1.02
Na <sub>2</sub> O	0.52	0.69	1.33	1.34	2.56	0.44	0.84	1.09	2.08
Nb	18.4	16.4	0.89	19.0	1.03	19.5	1.06	18.9	1.03
Ni	33.6	32.8	0.98	32.7	0.97	28.6	0.85	36.7	1.09
P	423	389	0.92	747	1.77	592	1.40	452	1.07
Pb	23.2	19.7	0.85	19.9	0.86	27.2	1.17	25.2	1.09
Rb	101	98.9	0.98	106	1.05	87.9	0.87	107	1.06
S	83.5	89.7	1.08	67.5	0.81	266	3.19	79.5	0.95
Sb	0.53	0.67	1.25	0.73	1.38	0.46	0.87	0.47	0.88
Sc	11.6	10.3	0.89	12.8	1.10	11.0	0.95	13.0	1.12
Se	0.09	0.07	0.84	0.04	0.41	0.17	1.92	0.09	0.98
SiO <sub>2</sub>	65.7	66.8	1.02	65.7	1.00	64.7	0.99	64.5	0.98
Sn	2.85	2.65	0.93	2.80	0.98	3.60	1.26	3.02	1.06
Sr	80.9	93.5	1.15	158	1.95	79.1	0.98	117	1.45
Th	12.8	11.8	0.92	14.0	1.09	9.03	0.70	14.4	1.12
Ti	4540	4088	0.90	5076	1.12	4294	0.95	4764	1.05
Tl	0.74	0.75	1.01	0.84	1.14	0.79	1.07	0.71	0.96
U	2.51	2.43	0.97	2.24	0.89	2.74	1.09	2.21	0.88
V	102	80.6	0.79	97.0	0.95	97.6	0.96	111	1.09
W	1.65	1.42	0.86	2.53	1.54	1.42	0.86	1.83	1.11
Y	27.5	27.4	1.00	28.3	1.03	25.5	0.93	29.7	1.08
Zn	78.9	70.6	0.90	71.9	0.91	82.8	1.05	81.7	1.04
Zr	256	246	0.96	317	1.24	212	0.83	253	0.99
pH	7.79	8.22	1.05	7.80	1.00	7.04	0.90	7.64	0.98

表 5 成都市不同土壤类型土壤地球化学指标基准值

元素	测区	黄壤( $n=24$ )		黄棕壤( $n=12$ )		黄褐土( $n=7$ )		暗棕壤( $n=11$ )	
	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$
Ag	0.07	0.06	0.93	0.07	1.03	0.07	0.97	0.08	1.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.9	13.2	0.95	13.5	0.97	13.9	1.00	14.6	1.05
As	6.84	7.48	1.09	3.94	0.58	14.6	2.14	6.78	0.99
Au	2.01	2.03	1.01	2.10	1.05	2.01	1.00	2.09	1.04
B	61.4	62.5	1.02	33.3	0.54	38.1	0.62	58.4	0.95
Ba	442	393	0.89	525	1.19	445	1.01	414	0.94
Be	2.21	2.15	0.97	1.85	0.84	2.42	1.09	2.11	0.95
Bi	0.29	0.30	1.04	0.18	0.62	0.34	1.19	0.32	1.12
Br	1.44	3.09	2.14	4.84	3.35	1.00	0.69	3.58	2.48
C	0.28	1.21	4.29	1.09	3.88	0.18	0.62	1.25	4.44
CaO	0.66	0.32	0.49	3.78	5.76	0.69	1.05	1.54	2.35
Cd	0.12	0.16	1.25	0.18	1.47	0.15	1.17	0.15	1.22
Ce	67.3	71.1	1.06	61.2	0.91	64.9	0.96	70.1	1.04
Cl	51.6	83.9	1.63	102	1.97	57.4	1.11	103	1.99
Co	14.9	18.4	1.24	16.3	1.10	15.4	1.03	15.8	1.06
Cr	76.4	73.0	0.96	82.6	1.08	77.0	1.01	77.9	1.02
Cu	26.4	24.3	0.92	22.6	0.86	23.4	0.88	21.9	0.83
F	601	568	0.95	505	0.84	630	1.05	574	0.96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58	5.55	0.99	5.36	0.96	6.05	1.09	5.30	0.95
Ga	16.3	18.9	1.16	15.1	0.93	14.0	0.86	19.4	1.19
Ge	1.39	1.44	1.03	1.23	0.88	1.37	0.98	1.43	1.03
Hg	0.04	0.06	1.58	0.05	1.40	0.02	0.67	0.07	2.03
I	0.80	1.40	1.75	1.66	2.08	1.52	1.90	2.32	2.90
K <sub>2</sub> O	2.10	2.02	0.96	2.57	1.23	1.75	0.83	1.94	0.92
La	34.8	34.9	1.00	31.9	0.92	33.7	0.97	35.2	1.01
Li	35.6	42.8	1.20	34.5	0.97	31.7	0.89	41.1	1.15
MgO	1.49	1.26	0.85	2.21	1.48	0.89	0.60	1.88	1.26
Mn	686	577	0.84	850	1.24	532	0.78	863	1.26
Mo	0.65	0.80	1.22	0.74	1.13	0.96	1.47	1.02	1.56
N	409	1158	2.83	973	2.38	315	0.77	1262	3.09
Na <sub>2</sub> O	0.52	0.38	0.73	1.64	3.13	0.42	0.80	0.98	1.88
Nb	18.4	21.9	1.19	17.4	0.95	17.6	0.95	20.3	1.10
Ni	33.6	32.6	0.97	29.3	0.87	33.4	0.99	28.2	0.84
P	423	453	1.07	766	1.81	206	0.49	535	1.26
Pb	23.2	31.5	1.36	23.7	1.02	22.4	0.96	38.2	1.65
Rb	101	95.6	0.95	82.9	0.82	98.9	0.98	88.6	0.88
S	83.5	146	1.75	228	2.74	74.3	0.89	279	3.35
Sb	0.53	0.55	1.04	0.24	0.45	1.21	2.27	0.50	0.94
Sc	11.6	11.4	0.98	11.3	0.97	11.2	0.97	11.4	0.98
Se	0.09	0.16	1.85	0.16	1.86	0.07	0.80	0.22	2.47
SiO <sub>2</sub>	65.7	67.4	1.03	61.8	0.94	67.6	1.03	64.8	0.99
Sn	2.85	3.18	1.12	3.38	1.18	2.73	0.96	3.63	1.27
Sr	80.9	77.2	0.95	186	2.30	73.7	0.91	161	1.99
Th	12.8	9.27	0.72	11.5	0.90	16.3	1.28	9.25	0.72
Ti	4540	4707	1.04	3851	0.85	4783	1.05	4895	1.08
Tl	0.74	0.73	0.98	0.70	0.94	0.64	0.86	0.80	1.08
U	2.51	2.92	1.16	2.08	0.83	2.90	1.15	2.87	1.14
V	101.6	85.1	0.84	95.2	0.94	103	1.02	109	1.07
W	1.65	1.49	0.91	1.26	0.76	1.95	1.18	1.66	1.01
Y	27.5	26.6	0.97	25.4	0.92	27.3	0.99	24.6	0.89
Zn	78.9	78.9	1.00	88.1	1.12	65.9	0.83	86.2	1.09
Zr	256	242	0.95	162	0.63	274	1.07	311	1.22
pH	7.06	7.06	0.91	7.12	0.91	8.00	1.03	6.79	0.87

续表

指标	测区	棕色针叶林土( $n=4$ )		紫色土( $n=135$ )		潮土( $n=8$ )		水稻土( $n=266$ )	
	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$
Ag	0.07	0.09	1.34	0.07	0.98	0.09	1.28	0.07	1.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.9	14.9	1.07	13.1	0.94	14.0	1.01	14.2	1.02
As	6.84	4.03	0.59	6.73	0.98	7.03	1.03	10.1	1.47
Au	2.01	2.05	1.02	2.02	1.01	1.77	0.88	2.05	1.02
B	61.4	47.0	0.77	58.7	0.96	63.3	1.03	62.8	1.02
Ba	442	510	1.15	394	0.89	541	1.22	517	1.17
Be	2.21	2.21	1.00	2.09	0.95	2.15	0.97	2.35	1.06
Bi	0.29	0.21	0.74	0.28	0.98	0.26	0.89	0.31	1.07
Br	1.44	2.48	1.71	1.50	1.04	2.25	1.56	1.21	0.84
C	0.28	2.29	8.15	0.29	1.05	0.53	1.87	0.30	1.05
CaO	0.66	7.06	10.77	0.56	0.85	1.93	2.94	0.84	1.29
Cd	0.12	0.38	3.01	0.14	1.15	0.11	0.91	0.12	0.93
Ce	67.3	62.9	0.93	63.5	0.94	51.8	0.77	71.1	1.06
Cl	51.6	84.9	1.65	53.7	1.04	74.6	1.44	47.6	0.92
Co	14.9	23.8	1.60	13.6	0.91	16.8	1.13	15.2	1.02
Cr	76.4	79.0	1.03	71.7	0.94	117	1.53	79.3	1.04
Cu	26.4	47.4	1.79	24.0	0.91	30.8	1.17	27.2	1.03
F	601	566	0.94	561	0.93	643	1.07	625	1.04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58	7.41	1.33	4.88	0.87	6.16	1.10	6.01	1.08
Ga	16.3	17.6	1.08	14.3	0.88	20.9	1.28	18.0	1.10
Ge	1.39	1.39	1.00	1.36	0.98	1.37	0.99	1.43	1.03
Hg	0.04	0.06	1.56	0.03	0.88	0.03	0.93	0.04	0.99
I	0.80	0.60	0.76	0.81	1.01	1.16	1.46	0.68	0.85
K <sub>2</sub> O	2.10	3.01	1.43	2.11	1.01	2.45	1.17	2.13	1.02
La	34.8	34.8	1.00	33.7	0.97	31.5	0.91	38.4	1.10
Li	35.6	31.3	0.88	36.8	1.03	35.0	0.98	35.4	0.99
MgO	1.49	3.89	2.60	1.57	1.05	2.23	1.49	1.75	1.17
Mn	686	854	1.25	633	0.92	975	1.42	685	1.00
Mo	0.65	1.25	1.90	0.62	0.95	0.74	1.14	0.57	0.87
N	409	876	2.14	462	1.13	518	1.27	402	0.98
Na <sub>2</sub> O	0.52	1.15	2.20	0.56	1.08	1.74	3.32	1.05	2.02
Nb	18.4	22.2	1.21	17.0	0.92	16.8	0.91	18.6	1.01
Ni	33.6	35.7	1.06	31.2	0.93	49.4	1.47	36.7	1.09
P	423	652	1.54	408	0.97	536	1.27	436	1.03
Pb	23.2	20.6	0.89	21.4	0.92	26.6	1.15	23.6	1.02
Rb	101	83.2	0.83	99.0	0.98	101	1.00	104	1.03
S	83.5	260	3.12	95.9	1.15	98.7	1.18	78.4	0.94
Sb	0.53	0.45	0.84	0.63	1.17	0.41	0.77	0.50	0.94
Sc	11.6	15.6	1.35	9.38	0.81	13.8	1.19	13.0	1.13
Se	0.09	0.34	3.85	0.09	1.01	0.12	1.34	0.09	0.97
SiO <sub>2</sub>	65.7	53.0	0.81	67.0	1.02	62.5	0.95	64.5	0.98
Sn	2.85	3.65	1.28	2.67	0.94	3.52	1.23	2.91	1.02
Sr	80.9	201	2.47	77.4	0.96	184	2.27	120	1.48
Th	12.8	8.88	0.69	11.0	0.86	10.6	0.83	14.3	1.12
Ti	4540	6916	1.52	4003	0.88	4777	1.05	4860	1.07
Tl	0.74	0.81	1.09	0.76	1.02	0.72	0.97	0.72	0.97
U	2.51	3.29	1.31	2.69	1.07	1.81	0.72	2.27	0.90
V	102	156	1.53	84.1	0.83	114	1.12	109	1.08
W	1.65	1.18	0.71	1.51	0.91	1.43	0.87	1.86	1.13
Y	27.5	26.2	0.95	24.9	0.91	26.9	0.98	29.8	1.08
Zn	78.9	91.4	1.16	72.0	0.91	85.5	1.08	80.5	1.02
Zr	256	211	0.83	255	1.00	214	0.84	257	1.01
pH	7.39	7.39	0.95	8.04	1.03	7.66	0.98	7.58	0.97

表6 不同行政区土壤地球化学指标基准值

指标	测区	成都 (n=25)		崇州 (n=66)		大邑 (n=72)		都江堰 (n=67)		金堂 (n=84)		龙泉 (n=37)		彭州 (n=109)	
	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_2$	$K_3$												
Ag	0.07	0.06	0.92	0.07	1.06	0.07	0.99	0.08	1.10	0.07	0.99	0.06	0.89	0.08	1.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.9	15.4	1.10	13.1	0.94	13.2	0.94	14.0	1.00	13.5	0.97	14.7	1.05	14.6	1.05
As	6.84	13.65	2.00	5.88	0.86	5.97	0.87	7.43	1.09	8.98	1.31	9.72	1.42	5.58	0.82
Au	2.01	1.88	0.94	2.09	1.04	1.92	0.96	1.96	0.98	2.25	1.12	1.84	0.92	2.02	1.01
B	61.4	57.2	0.93	70.4	1.15	63.6	1.04	57.0	0.93	43.3	0.70	64.4	1.05	46.4	0.76
Ba	442	532	1.20	370	0.84	391	0.88	477	1.08	459	1.04	436	0.99	523	1.18
Be	2.21	2.70	1.22	2.18	0.99	2.13	0.97	2.13	0.96	2.18	0.99	2.31	1.05	1.52	0.69
Bi	0.29	0.32	1.09	0.30	1.03	0.30	1.05	0.27	0.95	0.29	1.00	0.26	0.90	0.25	0.86
Br	1.44	1.47	1.02	1.69	1.17	2.00	1.39	2.88	2.00	1.34	0.93	0.89	0.61	2.63	1.82
C	0.28	0.21	0.76	0.77	2.74	0.94	3.33	0.67	2.40	0.23	0.80	0.20	0.71	0.48	1.71
CaO	0.66	0.94	1.44	0.76	1.16	0.51	0.78	0.72	1.10	0.75	1.14	0.51	0.78	1.54	2.36
Cd	0.12	0.11	0.89	0.16	1.25	0.17	1.39	0.13	1.08	0.12	0.98	0.13	1.02	0.12	0.96
Ce	67.3	85.3	1.27	71.0	1.06	65.2	0.97	67.1	1.00	68.6	1.02	70.1	1.04	59.0	0.88
Cl	51.6	48.1	0.93	61.6	1.19	60.7	1.18	62.2	1.20	56.0	1.08	48.3	0.94	88.9	1.72
Co	14.9	15.0	1.00	14.7	0.98	16.7	1.12	15.8	1.06	14.1	0.94	13.77	0.92	17.8	1.19
Cr	76.4	81.4	1.07	77.5	1.01	75.8	0.99	75.5	0.99	72.6	0.95	73.4	0.96	78.9	1.03
Cu	26.4	30.1	1.14	25.1	0.95	29.4	1.11	26.8	1.01	19.2	0.72	26.0	0.98	27.2	1.03
F	601	705	1.17	668	1.11	525	0.87	583	0.97	557	0.93	639	1.06	551	0.92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58	6.43	1.15	5.23	0.94	5.64	1.01	5.48	0.98	4.72	0.85	5.69	1.02	6.25	1.12
Ga	16.3	18.6	1.14	17.3	1.06	18.1	1.12	19.7	1.21	13.0	0.80	14.0	0.86	17.1	1.05
Ge	1.39	1.51	1.09	1.44	1.04	1.54	1.10	1.38	1.00	1.33	0.95	1.50	1.08	1.35	0.97
Hg	0.04	0.05	1.39	0.04	1.00	0.05	1.28	0.06	1.73	0.03	0.84	0.03	0.68	0.05	1.34
I	0.80	1.24	1.55	0.95	1.19	0.63	0.79	0.99	1.24	0.70	0.87	1.15	1.44	1.23	1.55
K <sub>2</sub> O	2.10	2.32	1.11	2.07	0.99	2.21	1.05	2.36	1.12	2.11	1.01	2.06	0.98	2.03	0.97
La	34.8	42.2	1.21	39.1	1.12	34.0	0.98	35.8	1.03	33.5	0.96	35.7	1.02	29.9	0.86
Li	35.6	35.1	0.98	38.4	1.08	40.5	1.14	38.1	1.07	32.4	0.91	40.6	1.14	33.4	0.94
MgO	1.49	1.44	0.96	1.82	1.22	1.58	1.06	1.51	1.01	1.10	0.73	1.24	0.83	1.89	1.26
Mn	686	820	1.19	673	0.98	690	1.01	744	1.08	578	0.84	586	0.85	758	1.10
Mo	0.65	0.61	0.93	0.64	0.98	0.73	1.12	0.86	1.32	0.46	0.71	1.03	1.58	0.72	1.11
N	409	363	0.89	725	1.77	764	1.87	846	2.07	368	0.90	379	0.93	501	1.23
Na <sub>2</sub> O	0.52	0.96	1.84	0.46	0.87	0.52	0.99	0.48	0.93	0.72	1.37	0.67	1.28	1.14	2.17
Nb	18.4	20.0	1.08	19.4	1.05	20.7	1.12	19.0	1.03	15.7	0.85	18.0	0.98	16.8	0.91
Ni	33.6	36.7	1.09	31.8	0.95	31.7	0.94	30.8	0.92	32.6	0.97	33.6	1.00	38.7	1.15
P	423	221	0.52	565	1.33	587	1.39	570	1.35	316	0.75	349	0.82	509	1.20
Pb	23.2	22.1	0.95	29.1	1.25	25.2	1.09	30.4	1.31	17.9	0.77	20.5	0.88	21.5	0.92
Rb	101	125	1.24	95.3	0.95	95.0	0.94	104	1.03	102	1.02	104	1.03	84.3	0.84
S	83.5	76.1	0.91	96.4	1.16	96.6	1.16	105	1.26	83.0	0.99	85.3	1.02	99.3	1.19
Sb	0.53	0.88	1.66	0.49	0.92	0.60	1.13	0.50	0.93	0.76	1.43	0.82	1.55	0.33	0.61
Sc	11.6	12.7	1.10	11.22	0.97	10.4	0.90	11.6	1.00	10.0	0.87	11.7	1.01	14.2	1.22
Se	0.09	0.05	0.59	0.15	1.70	0.12	1.31	0.17	1.92	0.08	0.91	0.07	0.75	0.13	1.47
SiO <sub>2</sub>	65.7	64.6	0.98	67.0	1.02	67.4	1.03	66.2	1.01	66.6	1.01	65.0	0.99	62.6	0.95
Sn	2.85	2.86	1.00	3.02	1.06	3.34	1.17	3.49	1.22	2.58	0.91	2.64	0.93	3.12	1.09
Sr	80.9	113	1.40	106	1.31	77.5	0.96	91.9	1.14	95.3	1.18	83.6	1.03	169	2.09
Th	12.8	18.5	1.44	10.6	0.83	8.85	0.69	10.5	0.82	12.9	1.01	14.6	1.14	10.9	0.85
Ti	4540	5134	1.13	4547	1.00	4353	0.96	4496	0.99	4054	0.89	4633	1.02	4809	1.06
Tl	0.74	0.77	1.04	0.70	0.95	0.84	1.14	0.72	0.97	0.72	0.97	0.80	1.08	0.74	1.00
U	2.51	2.81	1.12	2.43	0.97	2.91	1.16	2.56	1.02	2.21	0.88	2.54	1.01	2.31	0.92
V	102	111	1.10	96.6	0.95	101	0.99	102	1.00	85.2	0.84	95.1	0.94	115	1.13
W	1.65	2.41	1.46	1.82	1.10	1.51	0.92	1.65	1.00	1.39	0.84	2.13	1.29	1.42	0.86
Y	27.5	30.7	1.12	27.5	1.00	24.8	0.90	26.0	0.95	27.3	0.99	26.0	0.95	25.4	0.93
Zn	78.9	78.8	1.00	85.3	1.08	80.3	1.02	83.0	1.05	71.0	0.90	69.7	0.88	80.4	1.02
Zr	256	287	1.12	253	0.99	239	0.93	258	1.01	259	1.01	261	1.02	214	0.84
pH	7.5	7.5	0.99	7.85	1.01	7.60	0.98	7.15	0.92	8.07	1.04	8.14	1.04	6.96	0.89

续表

指标	测区		郫县 (n=27)		蒲江 (n=41)		青白江 (n=24)		邛崃 (n=93)		双流 (n=71)		温江 (n=16)		新都 (n=28)		新津 (n=22)	
	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_2$	$K_3$	$\bar{X}_{X2}$	$K_3$	
Ag	0.07	0.09	1.30	0.07	0.99	0.06	0.92	0.07	1.01	0.07	0.97	0.08	1.10	0.07	0.98	0.07	0.98	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.9	15.2	1.09	12.1	0.87	14.2	1.02	11.3	0.81	13.9	1.00	14.1	1.01	14.3	1.02	12.4	0.89	
As	6.84	11.1	1.63	10.3	1.51	12.15	1.78	6.06	0.89	10.2	1.49	9.01	1.32	11.3	1.65	10.2	1.48	
Au	2.01	1.79	0.89	1.89	0.94	1.87	0.93	1.99	0.99	2.08	1.03	2.17	1.08	2.02	1.01	1.80	0.90	
B	61.4	74.7	1.22	58.7	0.96	46.8	0.76	64.9	1.06	74.4	1.21	81.6	1.33	56.1	0.91	62.0	1.01	
Ba	442	588	1.33	399	0.90	463	1.05	347	0.78	418	0.94	570	1.29	519	1.17	398	0.90	
Be	2.21	2.72	1.23	1.89	0.86	2.60	1.18	1.98	0.90	2.30	1.04	2.60	1.18	2.31	1.05	2.10	0.95	
Bi	0.29	0.33	1.16	0.36	1.24	0.35	1.20	0.25	0.85	0.27	0.95	0.32	1.10	0.33	1.13	0.30	1.04	
Br	1.44	1.39	0.96	1.76	1.22	1.63	1.13	1.52	1.05	1.17	0.81	1.30	0.90	1.72	1.19	1.01	0.70	
C	0.28	0.33	1.17	0.21	0.75	0.25	0.88	0.34	1.22	0.20	0.69	0.38	1.34	0.36	1.28	0.72	2.56	
CaO	0.66	1.10	1.67	0.29	0.44	0.74	1.13	0.34	0.51	0.47	0.72	1.22	1.87	1.26	1.92	2.37	3.62	
Cd	0.12	0.11	0.92	0.11	0.90	0.12	0.93	0.14	1.13	0.13	1.07	0.14	1.09	0.11	0.88	0.16	1.30	
Ce	67.3	78.2	1.16	66.2	0.98	67.6	1.00	56.6	0.84	69.8	1.04	80.4	1.19	64.8	0.96	67.8	1.01	
Cl	51.6	46.7	0.90	54.9	1.06	70.9	1.37	51.9	1.01	52.5	1.02	48.1	0.93	46.9	0.91	52.1	1.01	
Co	14.9	16.0	1.07	14.4	0.97	15.2	1.02	12.6	0.84	14.8	0.99	15.1	1.01	17.1	1.14	12.1	0.81	
Cr	76.4	79.6	1.04	80.8	1.06	81.3	1.06	76.2	1.00	75.2	0.98	74.3	0.97	91.8	1.20	74.1	0.97	
Cu	26.4	33.8	1.28	22.3	0.84	26.2	0.99	23.4	0.89	27.5	1.04	33.9	1.28	28.0	1.06	23.7	0.90	
F	601	676	1.13	436	0.73	623	1.04	521	0.87	618	1.03	764	1.27	610	1.02	572	0.95	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58	6.20	1.11	6.06	1.09	5.86	1.05	4.77	0.85	5.49	0.98	6.18	1.11	6.10	1.09	5.13	0.92	
Ga	16.3	21.9	1.35	19.0	1.17	15.2	0.93	14.7	0.90	16.2	1.00	19.6	1.21	16.9	1.04	17.5	1.07	
Ge	1.39	1.41	1.01	1.33	0.96	1.29	0.93	1.38	0.99	1.48	1.06	1.43	1.03	1.31	0.94	1.40	1.01	
Hg	0.04	0.04	0.95	0.05	1.24	0.03	0.94	0.04	1.18	0.03	0.93	0.02	0.55	0.05	1.32	0.03	0.76	
I	0.80	0.70	0.88	0.97	1.21	0.73	0.91	0.79	1.00	1.03	1.30	0.53	0.66	0.71	0.89	0.97	1.22	
K <sub>2</sub> O	2.10	2.88	1.37	1.71	0.82	2.14	1.02	1.80	0.86	2.15	1.02	2.60	1.24	2.19	1.05	1.90	0.90	
La	34.8	39.5	1.14	31.7	0.91	36.0	1.03	32.2	0.92	35.4	1.02	42.2	1.21	36.6	1.05	35.5	1.02	
Li	35.6	38.6	1.08	32.3	0.91	36.5	1.03	35.2	0.99	36	1.01	37.3	1.05	35.6	1.00	37.3	1.05	
MgO	1.49	1.82	1.22	0.60	0.41	1.39	0.93	1.38	0.93	1.38	0.92	1.85	1.24	1.75	1.17	2.02	1.35	
Mn	686	800	1.17	527	0.77	694	1.01	587	0.86	542	0.79	858	1.25	830	1.21	675	0.98	
Mo	0.65	0.66	1.00	0.76	1.16	0.59	0.91	0.62	0.95	0.84	1.28	0.48	0.73	0.48	0.73	0.60	0.92	
N	409	485	1.19	257	0.63	352	0.86	475	1.16	366	0.90	450	1.10	405	0.99	424	1.04	
Na <sub>2</sub> O	0.52	1.55	2.96	0.30	0.58	0.79	1.50	0.51	0.98	0.63	1.20	1.57	3.01	1.52	2.92	0.73	1.40	
Nb	18.4	18.2	0.99	20.8	1.13	18.9	1.02	17.3	0.94	18.9	1.03	19.0	1.03	17.9	0.97	17.7	0.96	
Ni	33.6	38.7	1.15	30.0	0.89	37.8	1.12	29.5	0.88	35.9	1.07	37.0	1.10	42.2	1.26	32.3	0.96	
P	423	568	1.34	213	0.50	348	0.82	332	0.78	225	0.53	535	1.26	497	1.18	430	1.02	
Pb	23.2	30.8	1.33	22.8	0.98	22.9	0.99	25.7	1.11	25.9	1.12	25.2	1.08	23.4	1.01	24.2	1.04	
Rb	101	134	1.33	86.8	0.86	111	1.10	91.3	0.91	109	1.08	111	1.10	104	1.03	105	1.04	
S	83.5	83.0	0.99	101	1.21	78.8	0.94	94.5	1.13	72.4	0.87	79.0	0.95	77.9	0.93	83.7	1.00	
Sb	0.53	0.49	0.92	0.75	1.41	0.84	1.58	0.52	0.98	0.75	1.40	0.45	0.84	0.37	0.70	0.56	1.05	
Sc	11.6	13.2	1.14	10.6	0.91	11.7	1.01	9.43	0.81	11.4	0.98	12.7	1.09	13.6	1.17	10.2	0.88	
Se	0.09	0.09	1.06	0.13	1.43	0.06	0.71	0.11	1.23	0.07	0.82	0.11	1.22	0.07	0.83	0.08	0.95	
SiO <sub>2</sub>	65.7	64.5	0.98	68.5	1.04	64.6	0.98	70.9	1.08	65.4	1.00	65.9	1.00	65.0	0.99	65.7	1.00	
Sn	2.85	3.85	1.35	2.62	0.92	2.85	1.00	2.90	1.02	3.00	1.05	3.54	1.24	3.05	1.07	2.97	1.04	
Sr	80.9	145	1.80	58.1	0.72	106	1.31	67.7	0.84	88.2	1.09	147	1.81	156	1.93	123	1.52	
Th	12.8	13.2	1.03	16.0	1.25	14.9	1.16	12.7	0.99	15.8	1.23	14.9	1.17	13.8	1.08	16.5	1.29	
Ti	4540	4621	1.02	6002	1.32	4520	1.00	4576	1.01	4456	0.98	5185	1.14	4306	0.95	4877	1.07	
Tl	0.74	0.64	0.86	0.67	0.90	0.71	0.95	0.72	0.98	0.78	1.06	0.70	0.95	0.74	1.00	0.75	1.01	
U	2.51	2.00	0.80	3.28	1.31	2.64	1.05	2.94	1.17	2.13	0.85	2.18	0.87	2.24	0.89	2.73	1.09	
V	102	116	1.15	108	1.06	109	1.07	91.5	0.90	98.2	0.97	113	1.11	112	1.10	97.3	0.96	
W	1.65	1.78	1.08	1.91	1.16	1.85	1.12	1.38	0.84	2.04	1.23	2.03	1.23	1.70	1.03	1.94	1.18	
Y	27.5	29.7	1.08	28.7	1.04	28.9	1.05	26.6	0.97	29.2	1.06	30.3	1.10	28.5	1.04	30.7	1.12	
Zn	78.9	87.2	1.11	68.4	0.87	76.7	0.97	68.8	0.87	78.2	0.99	85.6	1.08	82.7	1.05	74.6	0.95	
Zr	256	247	0.97	296	1.16	245	0.96	269	1.05	266	1.04	266	1.04	234	0.91	265	1.04	
pH	7.79	7.99	0.95	5.66	0.73	7.84	1.01	7.89	1.01	7.86	1.01	7.59	0.97	7.50	0.96	8.14	1.04	

### 2.6 不同行政区土壤元素基准值特征

表 6 列出了不同行政区土壤 52 个元素或氧化物基准值及  $K_3$  值,各指标相对丰度分布特征见表 7。

表 7 成都市各行政区土壤地球化学指标相对丰度特征

行政区	$K_3 \geq 2$	$K_3 = 1.2 \sim 2$	$K_3 = 0.5 \sim 0.8$	$K_3 \leq 0.5$
成都市 市区	As	Ba、Be、CaO、 Ce、Hg、I、La、 Na <sub>2</sub> O、Rb、Sb、 Sr、Th、W	C、P、Se	
崇州市	C	Cd、MgO、N、P、 Pb、Se、Sr		
大邑县	C	Br、Cd、Hg、N、 P、Se	CaO、I、Th	
金堂县		As、Na <sub>2</sub> O、Sb	B、Cu、MgO、 Mo、P、Pb	
龙泉驿区		As、I、Mo、 Na <sub>2</sub> O、Sb、W	Br、C、CaO、 Hg、Se	
都江堰	C、N	Br、Cl、Ga、Hg、 I、Mo、P、Pb、S、 Se、Sn		
彭州市	CaO、 Na <sub>2</sub> O、Sr	Br、C、Cl、Hg、I、 MgO、N、P、Se、 Se	B、Be、Sb	
郫县	Na <sub>2</sub> O	Ag、As、B、Ba、 Be、CaO、Cu、 Ga、K <sub>2</sub> O、MgO、 P、Pb、Rb、Sn、Sr		
蒲江县		As、Bi、Br、Hg、 I、S、Sb、Se、Th、 Ti、U	C、F、Mn、N、 Na <sub>2</sub> O、Sr	CaO、 MgO、P
青白江区		As、Bi、Cl、 Na <sub>2</sub> O、Sb、Sr	B、Se	
邛崃县		Se	Ba、CaO、P	
双流县		As、B、I、Mo、Sb、 Th、W	C、CaO、Mn、P	
温江县	Na <sub>2</sub> O	As、B、Ba、C、 CaO、Cu、Ga、F、 K <sub>2</sub> O、La、MgO、 Mn、P、Se、Sn、 Sr、W	Hg、I、Mo	
新都县	Na <sub>2</sub> O	As、C、CaO、Cr、 Hg、Mn、Ni	Mo、Sb	
新津县	C、CaO	As、Cd、MgO、I、 Na <sub>2</sub> O、Sr、Th	Br、Hg	

不同行政区土壤元素基准值特征是土壤环境的综合反映,包括成土母岩和母质特征、成土环境、以及成土后元素迁移转化条件等,也受现代土地利用的影响。如成都市区土壤基准值反映了岷江流域物源特征,同时由于强烈的人类活动造成重金属元素 As、Hg 稀有稀土元素 Rb、Ce、La,以及放射性元素 Th 等相对富集;而植物生命元素 C、P、Se 等明显贫乏。又如崇州市相对富集元素 Cd、Pb、Se 和 Sr、MgO 分别反映了煤系地层和碳酸盐岩成土母岩特征,而 C、N、P 相对富集与植物生命活动有关。

各行政区土壤中部分重金属元素基准值偏高,除新都县 N 的含量 42.24 达到二级环境质量标准

(40~50)外,其它均小于一级土壤环境质量标准限制值,因此土壤原生环境总体是洁净的,无区域自然污染。农作物主要营养元素 N、P、K<sub>2</sub>O 等基准值与四川土壤养分分级标准比较,总体偏低,耕地养分供给能力较低;金堂县、彭州市及青白江区 B 等微量元素相对缺失对农业生产的影响可开展专项调查。

### 3 土壤元素基准值研究意义

成都市以及不同景观区、不同流域、不同用地、不同行政区、不同土壤类型土壤基准值,基本反映了元素自然本底含量,是不同地质背景、物质来源、沉积环境的具体反映,体现了特定的地球化学环境。既具有重要的理论意义,更具有现实的应用价值,将在农业环境评价、生态环境评价、基础地质研究、矿产调查、地方病研究等方面得到广泛应用。

(1)丰富地球化学理论研究。通过土壤中元素基准值研究,了解土壤的化学组成;不同条件土壤中元素基准值特征和元素组合分布与分配规律研究,进一步了解元素成土过程的地球化学行为,以及成土后元素的迁移和转化规律等。

(2)为基础地质研究和地质找矿服务。以土壤基准值为背景,利用土壤元素丰缺分布及共生组合规律,发现区域或局部地球化学异常。通过异常特征的研究,为土壤形成环境、沉积盆地演化、区域构造分布研究以及矿产资源潜力评价等提供依据。

(3)为防治地方病提供依据。地方病的病因一般与微量元素的丰缺有关,通过区域土壤基准值研究,了解微量元素的丰缺对人体健康的影响,研究地方病的病因,并获得微量元素引起地方病的阈值。

(4)为提升农业产业层次服务。土壤中元素基准值是了解地表耕作层土壤养分供给能力的重要依据。因此基准值的研究,对农业规划布局、配方施肥、调整农业结构等具有科学的指导作用。表 8 为成都市平原区土壤中农作物主要营养组分含量,表中  $\bar{X}_{表}$  为地表 0~20 cm 耕作层土壤中组分含量(采样 1 件/1 km<sup>2</sup>、4 km<sup>2</sup> 组合为 1 件分析样,共为 1 494 个分析样本的平均值), $\bar{X}_{基}$  为基准值, $K = \bar{X}_{表}/\bar{X}_{基}$ 。从表中可以看出,多数组分地表含量高于基准值,主要与施肥和耕种技术有关,也有人类其它活动的影响。其中 N 和 P 含量分别接近 0.15% 和 0.08% 的四川土壤养分分级一、二级标准,较为丰富;K<sub>2</sub>O 较贫乏,其含量为三、四级土壤标准,区内应适量补充该养分;C、CaO、S、Se 等养分丰富,但要调查 S、Se 的来源,防止过量;B、Mo 地表含量略高于基准值,而 Mn、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 略低于基准值,满足农作物养分需求,可

调节土壤 pH 值 ,降低碱度 ,提高养分有效性 ,或适量施用微肥 ,但要注意合理调节 ,减少元素之间的拮抗作用。

表 8 成都市平原区土壤中农作物主要营养成分含量

指标	N	P	K <sub>2</sub> O	C	CaO	Mn	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	B	S	Mo	Se
$\bar{X}_{表}$	1424	785	2.18	1.42	1.83	555	5.46	71.4	408	0.82	0.30
$\bar{X}_{基}$	406	425	2.14	0.28	0.8	690	5.93	63.2	80.9	0.61	0.09
K	3.51	1.85	1.02	5.06	2.28	0.8	0.92	1.13	5.05	1.34	3.29

(5)为环境保护及管理服务。土壤环境质量是人类生存环境质量的重要部分。土壤基准值 ,既是研究土壤原生环境的依据 ,又是研究土壤污染环境的标准 ,是土壤质量评价、质量控制和质量标准制定的重要依据 ,对于保护环境、控制污染有重要意义。表 9 为成都市平原区土壤中重金属元素含量 ,从表中可知 ,地表土壤中重金属元素含量均高于基准值 ,表明地表土壤均存在不同程度人为污染 ,以 Hg、Cd、Pb 污染为主 ,Cu、Zn 污染也较明显 ,As、Ni、Cr 污染较弱。

表 9 成都市平原区土壤中重金属元素含量

指标	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	As	Ni	Cr
$\bar{X}_{表}$	0.188	0.206	37.8	35.3	97.7	9.95	36.9	78.9
$\bar{X}_{基}$	0.04	0.12	24.0	27.4	79.9	8.72	35.6	78.4
K	4.7	1.72	1.57	1.28	1.22	1.14	1.03	1.01

## 4 结论

(1)成都市土壤中 Au、B、Be、C、Cd、F、I、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Tl、V 等基准值明显高于全国土壤的平均值。其中 C、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、B、I 为农作物营养成分 ,原生环境可为农田提供相对充足养分 ;尽管 Be、Cd、F、Tl 等少量有毒元素相对偏高 ,但未达土壤污染标准 ,因此区域原

生土壤地球化学环境相对洁净 ,无明显区域自然污染。

(2)成都市土壤中 As、Br、CaO、Cl、N、Na<sub>2</sub>O、S、Sb、Se、Sr 等基准值明显低于全国土壤的平均值 ,这些元素相对贫乏可能导致农田部分养分缺失。农作物主要营养元素 N、P、K 的基准值与四川土壤养分分级标准比较 ,含量偏低 ,土壤原生环境为农田提供 N、P、K 养分的能力较弱。在农业生产中需要采取合理施肥或耕作技术提高养分的有效供给。

(3)成都市不同景观区、不同流域、不同用地、不同行政区、不同土壤类型土壤地球化学指标基准值特征反映了特定的地球化学环境。是农业种植结构调整、发展特色农业和土壤环境保护的重要依据。

(4)成都市平原区地表土壤重金属元素含量明显高于基准值 ,地表土壤存在不同程度的人为污染 ,以 Hg、Cd、Pb 污染为主 ,Cu、Zn 污染也较明显 ,As、Ni、Cr 污染较弱。

本项工作是在四川省地质调查院陈德友副总工程师的指导下完成的 ,主要工作人员有刘应平、杨志荣、肖秀芳、罗正春、廖敏、杨荣、朱礼学等 ,在此表示感谢 !

## 参考文献 :

- [1] 鄢明才,顾铁新,迟清华,等.中国土壤化学元素丰度与表生地球化学特征[J].物探与化探,1997,21(3).
- [2] 王云,魏复盛.土壤环境元素化学[M].北京:中国环境科学出版社,1995.
- [3] 中国地质调查局.覆盖区多目标地球化学调查暂行规定[S].2002.

## REFERENCE GEOCHEMICAL VALUES OF ELEMENTS IN SOIL OF CHENGDU CITY AND THEIR IMPLICATIONS

TAND Wen-chun<sup>1,2</sup>, JIN Li-xin<sup>2</sup>, ZHOU Xue-mei<sup>2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China 2. Chemical Survey Office, Sichuan Institute of Geological Survey, Deyang 618000, China)

**Abstract :** Based on systematic sampling and investigation of the deep layer of soil (No. I environment), the authors worked out the serial reference geochemical values of the elements in soil of Chengdu City and found out their basic characteristics. The values include the element reference values of soil in the whole area and in different scenic spots, different soil types, different lands and different administrative districts. The data obtained provide practical and basic geochemical information for regional economic planning as well as resource and environmental evaluation.

**Key words :** Chengdu City ; soil ; element ; reference geochemical value

作者简介:唐文春(1965-)男,高级工程师,现为成都理工大学在读研究生,长期从事地球化学勘查及矿产普查工作。