

安徽省江淮流域土壤地球化学基准值 与背景值研究

陈兴仁 陈富荣 贾十军 陈永宁

(安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001)

摘要:基于安徽省江淮流域多目标区域地球化学调查数据资料,统计获得了表层和深层土壤地球化学基准值、背景值及相应的地球化学参数,为研究区生态环境评价及相关学科研究提供了基础。研究表明,成土母质类型对土壤元素地球化学基准值影响显著,表层土壤化学组成表现出既对深层土壤具有一定的继承性,又在表生作用下发生某些变化;表层土壤中迁移活动性强的元素和人为扰动污染的元素明显不同于深层土壤;随着地理空间位置的变化,同类成土母质形成环境,成因来源的差异导致其化学组成的空间变异,造成不同地区同类成土母质地球化学基准值有所不同。因此,土壤地球化学基准值研究应更多地考虑地质背景、物质来源等因素的影响。

关键词:土壤地球化学基准值与背景值;成土母质;空间分异;安徽省江淮流域

中图分类号:P595 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2012)02-0302-09

地球化学背景值与基准值是反映地球化学特征的基本指标,是识别和评价土壤污染程度、制订环境质量标准、确立污染治理修复目标的重要依据,具有环境、农业、生态以及地方病等多学科研究价值。近十年来中国实施的多目标区域地球化学调查,运用了系统完善的野外调查技术、分析测试方法及质量监控方案,取得了大量高精度的土壤、沉积物区域地球化学数据资料,为地球化学基准值和背景值研究提供了基础数据,使地球化学基准值与背景值研究进入了一个新的历史时期。通过不断的探索,人们在地球化学基准值与背景值的概念内涵、定值方法、影响因素及应用领域和服务对象等方面有了长足的认识,提出了包括局部、区域、流域等不同空间尺度,针对特定的自然地理景观、地质背景与成土母质、土地利用以及城市、农田、湖泊、矿区等生态环境系统的地球化学基准值与背景值^[1-5],大大丰富了地球表生系统地球化学研究成果,促进了 21 世纪应用地球化学研究的发展。

本文以安徽省人民政府与国土资源部中国地质调查局合作开展的“安徽省江淮流域多目标区域地球化学调查”数据为依据,在系统分析江淮流域区域土壤地球化学分布分配特征的基础上,按照中国地质调查局颁布的《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》,统计得到了研究区及区内不同母质区土壤地球化学基准值和背景值,通过系统地对比与分析,获取了系列的区域土壤地球化学信息,为安徽省地方环境质量的制订、资源与环境评价及区域经济发展规划提供了基础地球化学依据。

1 研究区概况

安徽省江淮流域地处安徽省中部,地理坐标:东经 115°52'~118°53',北纬 29°34'~33°00'。北与蚌埠、阜阳市相接,南至长江南岸,西与六安市相连,东与江苏省毗邻(图 1),面积 38 200 km²。研究区纵跨淮河、长江两大流域,地势总体南高北低,自北向南形成了平原、丘陵、山地 3 类地貌景观。属暖温带半湿

收稿日期:2011-09-10;改回日期:2012-02-10

基金项目:安徽省人民政府与国土资源部中国地质调查局协作项目“安徽省江淮流域生态地球化学调查”资助。

作者简介:陈兴仁,男,1962 生,高级工程师,主要从事地球物理、地球化学勘查研究和技术管理;E-mail:ahddycxr@ags.org.cn。

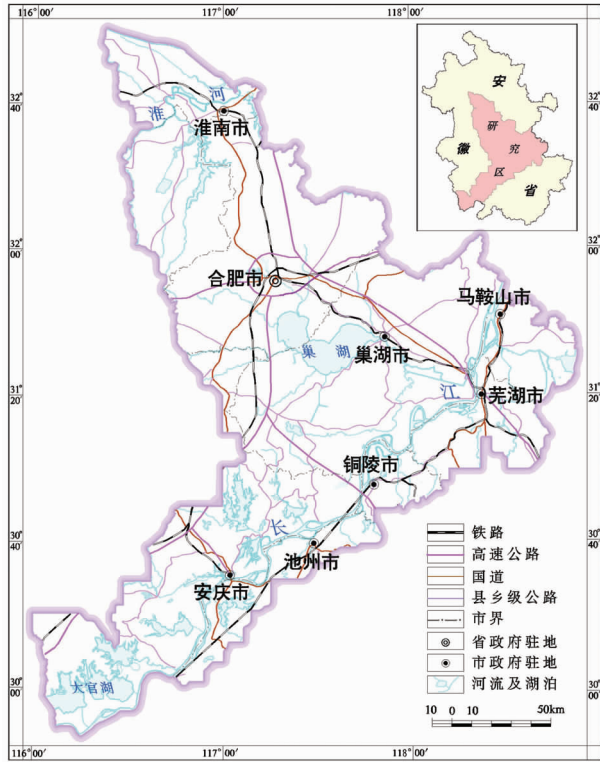


图 1 研究区交通位置图

Fig.1 Location of the study area

润—北亚热带湿润季风气候,四季分明、雨量适中,年均气温 14.5~16.5℃,年均降水量 900~1 500 mm,适宜的气候环境为农业经济发展提供了优越的自然条件。

研究区跨华北地块、扬子地块与秦岭—大别造山带 3 个一级构造单元,主体位于扬子地块,发育有十余处陆相拗(断)陷(盆地)。地层区划分属华北、华南地层大区,晋冀鲁豫、秦岭—大别山和扬子地层区,徐淮、桐柏—大别山和下扬子地层分区。丘陵、山地主要分布有震旦纪—早白垩纪地层,平原区古近—新近纪、第四纪地层广泛分布。构造以 NNE—NE 向脆性断裂为主,岩浆岩零星出露。区内矿产资源丰富,已发现大、中、小型矿床、矿点 1 900 余处。

区内地貌特征以平原为主,丘陵次之,山地局部分布。受区域地理、地质环境及成土条件和成土过程的影响,分布有河流冲积物母质、晚更新世黄土母质、网纹红土母质、基岩风化残坡积(洪积)母质等 9 类成土母质,形成了以水稻土、黄褐土为主,砂姜黑土、潮土次之,红壤、黄棕壤、石灰岩土、粗骨土、石质土、紫色土零星分布的多种类型土壤,并具地带性分布特征。

2 样品采集与分析

2.1 样品采集

采用双层网格化布点,分别采集表层和深层土壤样品。表层土壤采样密度为 1 个点/ km^2 ,采样深度 0~20 cm;深层土壤采样密度为 1 个点/ 4 km^2 ,采样深度 150~200 cm。采样物质选择能代表单元网格内主要土壤类型的土壤,采样时避开人为污染和近期搬运的堆积土。土壤样品干燥后过 20 目筛,表层土壤按照每 4 km^2 分析一个组合样,深层土壤以 16 km^2 分析一个组合样,组合样送样分析重量为 200 g。

全区共采集表层土壤单点样 37 427 件,组合分析样品 8 885 件;深层土壤采集单点样 9 367 件,组合分析样品 2 289 件。

2.2 分析测试

依据中国地质调查局颁布的《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)》的规定,表层和深层土壤样品分别测定 Ag、Au、As、B、Ba、Be、Bi、Br、Cd、Cr、Cl、Co、Ce、Cu、F、Ga、Ge、Hg、I、La、Li、Mn、Mo、N、Ni、Nb、P、Pb、Rb、S、Sb、Sc、Se、Sn、Sr、Th、Ti、Tl、U、V、W、Y、Zn、Zr、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 CaO 、 MgO 、TC、Corg、pH 值共 54 项元素(指标)。

样品测试由安徽省地质实验研究所承担,采用 X 荧光光谱法(XRF)、等离子体发射光谱法(ICP-OES)、原子吸收法(AAS)、发射光谱法(ES)、原子荧光法(AFS)、极谱法(POL)、离子选择电极法(ISE)、容量法(VOL)等配套分析方案进行测试。以国家一级土壤标准物质(GBW 系列)进行准确度、精密性监控,按比例随机检查和异常点抽查监控分析质量,以重复采样、重复分析来评定采样和分析误差,保证了样品的分析质量。

3 研究方法

3.1 基准值、背景值概念与内涵

土壤地球化学基准值是指未受人类影响的,反映土壤原始沉积环境的地球化学元素含量。基准值具体表现在:①具有地域性与成因性双重特性;②空间上存在一个基本成因单元,在该单元内成因与地域性达到统一;③是一个相对固定的值,不随时间变化而发生改变。

土壤地球化学背景值是指在一定的自然历史期间,一定的地域内土壤中某些原有或准原有状态的

物质丰度。背景值表现在:①属于相对概念,具有随时间变化的特性;②受自然成因和人为活动的双重影响;③具有相对代表性,受多重因素控制,分布形态复杂。

土壤地球化学基准值和背景值是土壤地球化学调查研究的基础参数,分别代表了不同环境土壤中元素含量水平和变化规律,二者之间既有联系又有区别,既表现出一定的继承性,又客观存在一定的差异。

3.2 基准值、背景值的确定

首先统计出全区土壤地球化学基准值、背景值,再分不同成土母质及同类母质不同地理景观区依次求取了相应土壤地球化学基准值,通过对比分析区域及不同统计单元土壤基准值与背景值特征,提取出区域土壤地球化学信息,为该区农业、环境、资源及地方病等领域研究提供依据。

尽管土壤元素地球化学基准值、背景值的概念内涵存在差异,但其定值方法基本相同。本次利用研究区深层土壤元素数据迭代剔除平均值加减 2 倍标准差离群数据后的算术平均值作为地球化学基准值,以表层土壤元素数据迭代剔除平均值加减 3 倍标准差离群数据后的算术平均值作为地球化学背景值,并进行正态分布检验。由于研究区深层和表层土

壤大部分元素数据不服从正态分布,全区土壤地球化学基准值统一以剔除 $\pm 2S$ 离群数据后的算术平均值替代,地球化学背景值统一以剔除 $\pm 3S$ 离群数据后的算术平均值替代;在按成土母质分单元统计时,经剔除离群数据后多数元素服从正态分布,实际以通过检验的算术平均值作为该母质单元土壤地球化学基准值,未通过检验的与全区取值方法相同。

4 结果与讨论

4.1 深层土壤元素含量特征与基准值

统计参数显示(表 1),江淮流域深层土壤中绝大多数元素变异系数小于 0.25,属于均匀分布;只有 Br、I、Se、CaO、MgO 变异系数在 0.26~0.50,属较均匀分布。经迭代剔除离群数据后,除 Be、Cd、F、Sc、 TFe_2O_3 外,其他元素经分布检验均不服从正态分布,即多数元素地球化学过程是经由多重母体叠加构成,反映了区域内地质背景与成土母质的多样性。直方图反映 Be、Ga、La、Ce、Bi 等 25 种元素呈单峰分布,As、Ni、Pb、Ba、B、Zn、S 等 11 种元素呈正偏峰分布,Cd、CaO、Hg、MgO、Br、I、N、P、Mo、TC、Se、 SiO_2 等 16 种元素峰值不明显。

与中国土壤元素 C 层丰度值^[6]对比(仅收集到

表 1 研究区土壤地球化学基准值及统计参数

Table 1 Statistical parameters and soil geochemical baseline values of the study area

指标	基准值	S	C_V	K_1	指标	基准值	S	C_V	K_1	指标	基准值	S	C_V	K_1
Ag	0.073	0.01	0.16		I	2.25	1.13	0.50		Ti	5228.6	371.77	0.07	
As	11.4	1.53	0.13	0.99	La	39.6	2.24	0.06		Tl	0.61	0.06	0.10	
Au	1.74	0.38	0.22		Li	39.2	2.58	0.06		U	2.44	0.26	0.11	
B	54.7	6.85	0.12		Mn	769.7	101.19	0.13	1.29	V	99.7	6.21	0.06	1.18
Ba	577	26.99	0.05		Mo	0.44	0.09	0.20		W	2.06	0.23	0.11	
Be	2.49	0.16	0.06		N	397.3	55.61	0.14		Y	28.8	1.08	0.04	
Bi	0.32	0.03	0.09		Nb	18.4	0.91	0.05		Zn	63.2	4.71	0.07	0.89
Br	1.53	0.44	0.29		Ni	35.5	2.63	0.07	1.24	Zr	262.6	21.88	0.08	
Cd	0.061	0.01	0.16	0.73	P	320.5	51.97	0.16		SiO_2	66.8	1.72	0.03	
Ce	79.3	6.24	0.08		Pb	25.0	1.51	0.06	1.01	Al_2O_3	14.3	0.69	0.05	
Cl	45.8	7.42	0.16		Rb	113.4	5.55	0.05		TFe_2O_3	5.66	0.29	0.05	
Co	16.4	1.64	0.10	1.22	S	76.3	8.47	0.11		K_2O	2.12	0.15	0.07	
Cr	82.7	4.21	0.05	1.36	Sb	0.90	0.10	0.11		Na_2O	1.11	0.09	0.08	
Cu	27.8	1.36	0.05	1.20	Sc	12.9	1.06	0.08		CaO	0.73	0.24	0.33	
F	492.6	65.05	0.13	0.97	Se	0.10	0.04	0.42	0.40	MgO	1.23	0.31	0.26	
Ga	17.9	0.86	0.05		Sn	2.91	0.41	0.14		TC	0.24	0.05	0.19	
Ge	1.41	0.13	0.09		Sr	109.2	13.75	0.13		Corg	0.20	0.04	0.21	
Hg	0.014	0.002	0.16	0.32	Th	14.6	0.84	0.06		pH	7.75	0.38	0.05	

注: $w(C、Corg、氧化物)/\%$, $w(Au)/10^{-9}$, $w(其余元素)/10^{-6}$,pH 无量纲;S 为标准离差, C_V 为变异系数, $K_1=全区土壤基准值/全国土壤 C 层丰度值$ 。

13 项指标),区内深层土壤 Co、Cr、Cu、Mn、Ni、V 等元素明显高于全国 C 层丰度值($K_1 > 1.1$);而 Cd、Hg、Se、Zn 等元素明显低于全国 C 层丰度值($K_1 < 0.9$),其中 Hg、Se 不足全国含量水平的一半;其他元素基准值与全国 C 层土壤丰度值相当。

4.2 表层土壤元素含量特征与背景值

由研究区表层土壤元素地球化学统计参数 (表 2) 可见, B、Be、Ce、 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 K_2O 、TC 等 25 种元素的变异系数 $C_{v1} \leq 0.25$, Ba、Br、MgO、Corg 等 12 种元素变异系数 C_{v1} 介于 0.25~0.50, 说明区内多数元素含量起伏变化不大, 虽然局部受成土母质、地貌类型及人类生产活动等因素影响, 但多数元素依然呈均匀—较均匀的背景场分布; 变异系数 $C_{v1} > 0.5$ 的元素有 Ag、As、Au、Cu、Zn 等 16 种元素, 其中 Ag、As、Au、Bi 等 10 种元素呈强变异分布($C_{v1} > 1.0$), Cu、I、W、Zn 等 6 种元素呈变异—弱变异分布($0.5 < C_{v1} \leq 1.0$), 如受到人为污染影响的 Cd、Hg、S、Se、Cu、CaO 等元素多围绕城镇工业区呈明显的次生富集特征, 在长江冲积平原区、碳酸岩和火山岩分布区以及矿集区, 因受特定的成土母质影响形成了 Cd、As、Cu 等元素的富集区或异常带。在剔除 $\pm 2S$ 离群数据后, 除 Hg、I、CaO 变异系数 C_{v2} 介于 0.25~0.50

外, 其他元素均小于 0.25, 元素含量变化极小, 空间分布均匀, 据此, 求取的算术平均值能够真实反映研究区表层土壤地球化学背景值特征。

与中国表层土壤丰度值^[16]相比, 区内 Au、B、N、S、Sn、Ti、Y、Zr 等元素背景值明显高于全国土壤丰度值 ($K_2 \geq 1.2$), Br、I、Mo、Sr、U、Zn、 K_2O 、 Na_2O 、CaO、MgO 等元素背景值明显偏低($K_2 \leq 0.8$), 其他元素与全国表层土壤丰度值接近(表 2)。

4.3 元素富集趋势分析

表层土壤元素除部分来自于大气沉降、农田灌溉、化肥和农药施用等人为污染或外源输入外, 主要来自于成土母质, 因此, 表层土壤元素组成很大程度上继承了成土母质或者说深层土壤元素的组成特征, 二者既表现出一定的继承性, 又因成土作用影响而有一定的差异性。利用区内表层土壤背景值与深层土壤基准值计算得到的元素比值系数, 可以在一定程度上反映出区域地球化学景观条件下元素相对富集或亏损的程度, 即成土作用过程中元素的次生富集与贫化特征。

由表层土壤背景值与深层土壤基准值比值系数(表 3) 可以看出, I、Mn、Ni、V、 TFe_2O_3 、CaO 等 6 种元素比值系数 ≤ 0.8 , 反映了经成土作用表层土壤中

表 2 研究区土壤地球化学统计参数及背景值

Table 2 Statistical parameters and soil geochemical background values of the study area

指标	平均值	C_{v1}	背景值	C_{v2}	K_2	指标	平均值	C_{v1}	背景值	C_{v2}	K_2	指标	平均值	C_{v1}	背景值	C_{v2}	K_2
Ag	0.091	1.38	0.074	0.16	0.93	I	1.54	0.62	1.06	0.30	0.48	Ti	5308.4	0.10	5241.4	0.06	1.22
As	10.6	1.71	9.40	0.16	0.94	La	41.6	0.17	41.3	0.08	1.09	Tl	0.63	0.24	0.60	0.10	1.00
Au	2.37	2.67	1.74	0.23	1.24	Li	34.8	0.23	32.8	0.10	1.09	U	2.29	0.28	2.15	0.14	0.80
B	58.1	0.25	57.7	0.14	1.44	Mn	589.3	0.38	525.2	0.20	0.88	V	88.6	0.24	80.0	0.10	0.98
Ba	544.8	0.27	507.9	0.06	1.02	Mo	0.74	1.27	0.48	0.24	0.60	W	2.17	0.88	2.06	0.14	1.14
Be	2.23	0.21	2.14	0.11	1.19	N	1192.3	0.20	1167.1	0.08	1.82	Y	27.9	0.10	28.4	0.04	1.23
Bi	0.45	7.26	0.30	0.13	1.00	Nb	18.9	0.19	18.2	0.05	1.14	Zn	71.9	0.53	53.2	0.09	0.78
Br	2.56	0.33	2.35	0.19	0.67	Ni	27.8	0.13	25.0	0.13	0.96	Zr	312.7	0.21	308.3	0.08	1.23
Cd	0.212	2.93	0.104	0.15	1.16	P	605.7	0.36	501.5	0.17	0.96	SiO_2	69.3	0.07	71.7	0.03	1.10
Ce	83.7	0.16	82.3	0.08	1.14	Pb	31.1	1.59	25.9	0.07	1.13	Al_2O_3	12.9	0.12	12.6	0.08	1.00
Cl	68.9	0.38	59.2	0.17	0.87	Rb	99.9	0.18	95.5	0.07	0.96	TFe_2O_3	4.74	0.20	4.44	0.09	0.94
Co	15.0	0.21	14.8	0.17	1.14	S	246.2	1.01	221.3	0.14	1.48	K_2O	2.05	0.24	1.80	0.06	0.72
Cr	72.0	0.20	69.4	0.07	1.07	Sb	0.94	0.65	0.83	0.15	1.04	Na_2O	1.06	0.33	1.15	0.09	0.72
Cu	31.7	0.98	24.9	0.08	1.04	Sc	11.4	0.18	11.1	0.10	1.01	CaO	1.15	1.04	0.66	0.28	0.21
F	470.3	0.27	420.5	0.12	0.88	Se	0.29	0.73	0.23	0.15	1.15	MgO	1.13	0.46	0.87	0.18	0.48
Ga	15.9	0.16	15.0	0.08	0.88	Sn	3.76	0.33	3.45	0.16	1.38	TC	1.32	0.24	1.22	0.12	
Ge	1.43	0.20	1.39	0.10	1.07	Sr	111.8	0.46	99.7	0.10	0.59	Corg	1.17	0.28	1.10	0.15	
Hg	0.065	1.32	0.041	0.31	1.03	Th	13.8	0.20	13.4	0.08	1.07	pH	6.38	0.15	5.85	0.07	

注: $w(C, Corg, 氧化物)/\%$, $w(Au)/10^{-3}$, $w(其余元素)/10^{-6}$, pH 无量纲; S 为标准差, C_v 为变异系数, K_2 为全区土壤背景值/全国表层土壤丰度值。

表3 研究区土壤背景值与基准值比值
Table 3 Ratios of soil background values to
baseline values

指标	比值	指标	比值	指标	比值
Ag	1.01	I	0.47	Ti	1.00
As	0.82	La	1.04	Tl	0.98
Au	1.00	Li	0.84	U	0.88
B	1.05	Mn	0.68	V	0.80
Ba	0.88	Mo	1.09	W	1.00
Be	0.86	N	2.94	Y	0.99
Bi	0.94	Nb	0.99	Zn	0.84
Br	1.54	Ni	0.70	Zr	1.17
Cd	1.70	P	1.56	SiO ₂	1.07
Ce	1.04	Pb	1.04	Al ₂ O ₃	0.88
Cl	1.29	Rb	0.84	TFe ₂ O ₃	0.78
Co	0.90	S	2.90	K ₂ O	0.85
Cr	0.84	Sb	0.92	Na ₂ O	1.04
Cu	0.90	Sc	0.86	CaO	0.90
F	0.85	Se	2.30	MgO	0.71
Ga	0.84	Sn	1.19	TC	5.08
Ge	0.99	Sr	0.91	Corg	5.50
Hg	2.93	Th	0.92	pH	0.75

元素被迁移带出或淋溶流失,造成上述元素贫化或亏损;Ag、Au、B、Pb、Zn、SiO₂等大部分元素比值系数为0.8~1.2,说明表层土壤中多数元素保持了成土母质的原始状况,即成土作用和人为活动影响较小或基本未受影响;Br、Cd、Cl、Hg、N、P、S、Se、TC、Corg等10种元素比值系数 ≥ 1.2 ,表明该组元素在成土母质和人为活动的双重影响下得到较明显的富集;其中耕用施肥等农业生产活动和植株残落等生物地球化学循环过程促使N、P、S、TC、Corg发生表层富集,工业生产及生活排污加剧了表层土壤中Br、Cd、Cl、Hg、Se的累积。

4.4 成土母质对土壤地球化学基准值的影响

(1)不同成土母质对基准值的影响

研究区各主要成土母质区深层土壤基准值统计见表4。

河流冲积物母质土壤:Ag、Cd、Cl、P、Zn、CaO、MgO基准值在各类母质土壤中最高,Cr、F、Li、V、Na₂O亦相对偏高,Br、Ce、I、Mn、Pb、Zr、SiO₂基准值最低。相对于全区土壤富Cd、Hg、P、CaO、MgO(富集系数 ≥ 1.2),以Cd元素最为强烈,富集系数高达2.2,而I低出区域基准值近一倍。

黄土母质土壤:Cr、I、Ni、Sc基准值在各类母质

土壤中最高,Br、Fe₂O₃、CaO、MgO也相对偏高,Hg、Mo、N、P、S、Se、Ti、TC基准值最低。较之于全区土壤,表现出富I、贫Se的特征。

网纹红土母质土壤:As、Ti、SiO₂基准值在各类母质土壤中最高,Cd、Cl、Sr、Al₂O₃、K₂O、Na₂O、CaO、MgO等多数元素基准值最低。相对于全区土壤,网纹红土母质土壤以富Se、Zr、TC、Corg,贫Cd、Sr、Na₂O、CaO、MgO为特征。

红色碎屑岩母质土壤:Be、Cd、Cu、Ga、F、P、Zn、Corg在各类母质土壤中基准值明显较低,其中Be、Ga、Zn、Corg基准值最低。相对于全区土壤,以富Hg、Mo、Se,贫Sr、Na₂O、CaO为特征。

浅色碎屑岩母质土壤:在各类母质土壤中,该类母质土壤Au、B、Corg基准值相对较高,Ba、Ga、Sr、Na₂O基准值相对较低。相对于全区土壤,以富B、Cd、Hg、I、Mo、S、Se、Zr、TC、Corg,贫Sr、Na₂O、CaO为特征。

碳酸盐岩母质土壤:Ag、Bi、Co、Cu、F、N、S、Sb、Se、Sn等元素基准值在各类母质土壤中最高。较之于全区土壤,富B、Cd、Hg、I、Mo、N、P、S、Se、TC、Corg,贫Sr、Na₂O、CaO。

酸性岩浆岩母质土壤基准值:(Cd)、Ce、Hg、Mn、Mo、Nb、Pb、Sr、Tl、W、TC、Corg等基准值在各类母质土壤中最高,Co、Sc、V、Fe₂O₃等基准值最低。较之于全区土壤,富Cd、Ce、Hg、Mo、Nb、P、Pb、S、Se、Tl、Zr、K₂O、TC、Corg,贫Cr、Ni、CaO、MgO。

中碱性岩浆岩母质土壤:Be、Br、Ge、La、Rb、Th、U、Zr、TFe₂O₃、K₂O元素基准值在各类母质土壤中最高,Ce、Mn、N、P、Ti元素基准值亦相对较高,仅Cr、Ni基准值最低。相对于全区土壤,以富Br、Hg、N、P、Se、Th、U、Zr、K₂O、TC、Corg,贫Cr、Ni、CaO、MgO为特征。

变质岩母质土壤:Ba、Ga、(Sr)、Al₂O₃、Na₂O元素基准值在各类母质土壤中最高,Ag、As、Au、B、Bi、Cu、F、Ge、La、Li、(Mn)、Nb、Rb、Sb、Sn、Th、Tl、U、W、Y等元素基准值最低。相对于全区土壤,以富Ba、Hg、Mo、S、Se、TC、Corg,贫As、B、Bi、Li、Sb、W为特征。

总体上看,研究区各类母质土壤中Ag、As、Bi、Co、Cu、La、Rb、Sc、Sn、Ti、Tl、SiO₂、Al₂O₃、TFe₂O₃等20种元素含量差异不明显,并与区域土壤基准值基本接近。岩浆岩、碳酸盐岩、碎屑岩母质土壤中B、

表 4 研究区不同母质土壤地球化学基准值
Table 4 Soil geochemical baseline values according to parent materials

指标	河流冲积物 (897)	晚更新世黄土 (826)	网纹红土 (42)	红色碎屑岩 (138)	浅色碎屑岩 (109)	碳酸盐岩 (113)	酸性岩浆岩 (40)	中碱性岩浆岩 (92)	变质岩类 (32)	全区 (2289)
Ag	0.080	0.074	0.064	0.066	0.066	0.074	0.072	0.069	0.063	0.073
As	10.0	12.3	12.7	11.6	12.6	12.6	10.1	10.6	8.0	11.5
Au	1.75	1.75	1.79	1.65	1.94	2.06	1.59	1.80	1.48	1.74
B	54.0	53.0	65.6	57.4	67.2	66.1	47.9	57.8	42.9	54.7
Ba	570.5	587.2	529.3	557.4	521.7	509.7	652.6	555.7	745.6	577.0
Be	2.50	2.51	2.39	2.37	2.42	2.54	2.58	2.85	2.39	2.49
Bi	0.32	0.32	0.31	0.30	0.32	0.34	0.32	0.31	0.22	0.32
Br	1.25	1.79	1.27	1.56	1.77	1.72	1.61	1.92	1.68	1.53
Cd	0.136	0.061	0.044	0.056	0.088	0.086	0.135	0.059	0.068	0.061
Ce	78.8	81.0	91.8	82.0	87.7	86.2	96.1	94.7	87.8	79.3
Cl	53.3	45.6	39.6	41.6	41.3	42.6	43.0	45.6	43.6	45.8
Co	15.8	17.1	17.0	16.7	17.2	17.7	15.1	17.0	17.1	16.4
Cr	82.9	84.0	77.4	73.2	75.6	79.4	63.3	62.5	74.4	82.7
Cu	28.3	27.8	25.3	24.8	26.0	29.6	25.3	27.5	23.6	27.8
F	529.5	498.0	452.4	445.2	457.3	530.6	470.3	507.9	401.2	492.6
Ga	17.9	18.1	16.9	16.8	16.8	17.7	17.3	18.1	18.5	17.9
Ge	1.43	1.40	1.37	1.40	1.46	1.48	1.32	1.48	1.30	1.41
Hg	0.017	0.014	0.026	0.019	0.030	0.032	0.042	0.033	0.023	0.014
I	1.24	3.03	2.48	2.43	2.86	3.00	2.67	2.56	2.22	2.25
La	39.5	39.4	41.3	39.4	42.0	41.7	46.6	46.7	39.1	39.6
Li	40.4	39.6	38.7	35.8	38.3	41.4	32.0	32.5	29.8	39.2
Mn	736.1	816.6	751.4	759.4	857.5	859.2	913.2	889.8	741.0	769.7
Mo	0.45	0.41	0.74	0.68	0.81	0.90	1.18	0.82	0.64	0.44
N	414.7	365.2	473.2	435.7	464.3	486.8	455.0	481.8	411.2	397.3
Nb	18.4	18.0	20.2	18.9	19.3	19.4	22.8	21.3	17.5	18.4
Ni	35.9	36.0	29.0	28.8	30.9	34.1	26.4	24.4	29.8	35.5
P	513.3	300.2	365.7	320.9	329.3	413.6	456.4	504.1	383.5	320.5
Pb	24.5	25.4	25.4	26.0	26.3	26.4	32.4	28.0	25.9	25.0
Rb	112.1	115.9	98.2	103.0	102.0	109.2	120.9	124.6	93.2	113.4
S	80.5	72.0	94.3	84.6	93.4	104.0	102.2	86.4	96.7	76.3
Sb	0.81	0.94	0.88	0.87	0.92	1.01	0.85	0.92	0.63	0.90
Sc	12.8	13.2	12.1	11.5	12.2	12.5	10.2	11.4	12.9	12.9
Se	0.12	0.06	0.16	0.13	0.16	0.18	0.15	0.17	0.12	0.10
Sn	2.90	2.96	2.95	2.90	3.01	3.30	2.99	2.91	2.64	2.91
Sr	120.1	110.2	76.9	86.6	81.8	87.3	125.1	106.8	122.6	109.2
Th	14.3	14.8	14.6	14.4	14.6	14.9	16.7	18.4	12.0	14.7
Ti	5259.1	4924.1	5928.4	5371.9	5580.6	5605.1	5210.4	5663.0	5328.6	5228.6
Tl	0.61	0.61	0.56	0.60	0.61	0.64	0.75	0.68	0.55	0.61
U	2.43	2.39	2.67	2.60	2.70	2.76	2.86	3.29	2.36	2.44
V	101.2	99.7	97.2	93.7	97.0	106.4	87.1	100.2	91.8	99.7
W	1.98	2.12	2.14	2.08	2.20	2.22	2.36	2.20	1.53	2.06
Y	28.6	28.8	29.2	27.5	28.9	29.7	28.4	29.0	26.9	28.8
Zn	71.3	62.5	61.3	58.4	62.8	69.3	65.1	69.9	62.7	63.2
Zr	245.0	256.0	326.8	302.7	317.2	305.0	326.1	344.8	286.4	262.6
SiO ₂	65.1	66.7	70.3	69.2	69.4	68.0	68.7	68.0	65.7	66.8
Al ₂ O ₃	14.4	14.6	13.3	13.7	13.5	13.9	13.9	14.3	14.8	14.3
TFe ₂ O ₃	5.60	5.72	5.53	5.35	5.40	5.72	4.98	5.74	5.48	5.66
K ₂ O	2.30	2.10	1.83	2.05	2.00	2.09	2.57	2.68	2.20	2.12
Na ₂ O	1.14	1.11	0.68	0.86	0.69	0.70	1.06	1.08	1.16	1.11
CaO	0.88	0.85	0.44	0.55	0.49	0.58	0.60	0.50	0.78	0.73
MgO	1.65	1.33	0.91	1.01	1.00	1.02	0.98	0.93	1.13	1.23
TC	0.25	0.23	0.30	0.24	0.31	0.32	0.34	0.29	0.31	0.24
Corg	0.22	0.19	0.27	0.18	0.28	0.27	0.30	0.25	0.27	0.20

注: $w(\text{C}, \text{Corg}, \text{氧化物})/\%$, $w(\text{Au})/10^{-9}$, $w(\text{其余元素})/10^{-6}$; TFe₂O₃ 指与全铁相对应的氧化铁含量; 括号中的数值为样本数。

表 5 研究区不同地理景观区黄土母质土壤地球化学基准值

Table 5 Geochemical baseline values of soils derived from loess in different districts

指标	沿淮淮北地区(105)				江淮分水岭地区(523)				沿江地区(198)			
	基准值	S	C _V	K ₃	基准值	S	C _V	K ₃	基准值	S	C _V	K ₃
Ag	0.075	0.01	0.12	1.01	0.076	0.01	0.15	1.03	0.066	0.01	0.19	0.89
As	11.8	0.70	0.06	0.96	12.5	1.80	0.14	1.02	11.9	1.99	0.17	0.97
Au	1.72	0.42	0.25	0.98	1.77	0.34	0.19	1.01	1.86	0.53	0.28	1.06
B	49.1	6.63	0.13	0.93	54.2	7.68	0.14	1.02	65.0	12.51	0.19	1.23
Ba	588.5	17.28	0.03	1.00	587.0	28.15	0.05	1.00	536.7	67.8	0.13	0.91
Be	2.61	0.14	0.05	1.04	2.50	0.16	0.06	1.00	2.46	0.25	0.10	0.98
Bi	0.34	0.04	0.11	1.06	0.32	0.03	0.09	1.00	0.32	0.04	0.14	1.00
Br	1.56	0.39	0.25	0.87	2.00	0.51	0.25	1.12	1.62	0.53	0.33	0.91
Cd	0.066	0.01	0.18	1.08	0.061	0.01	0.19	1.00	0.059	0.02	0.29	0.97
Ce	78.1	8.53	0.11	0.96	77.8	6.15	0.08	0.96	86.8	11.37	0.13	1.07
Cl	66.8	10.14	0.15	1.46	45.6	5.57	0.12	1.00	42.4	6.42	0.15	0.93
Co	17.3	1.51	0.09	1.01	17.2	2.38	0.14	1.01	16.7	2.92	0.18	0.98
Cr	85.9	2.69	0.03	1.02	83.9	2.46	0.03	1.00	80.4	6.69	0.08	0.96
Cu	27.9	1.85	0.07	1.00	27.8	1.11	0.04	1.00	26.5	3.65	0.14	0.95
F	541.1	52.76	0.10	1.09	493.9	65.5	0.13	0.99	485.7	95.4	0.20	0.98
Ga	18.2	0.68	0.04	1.01	18.0	0.96	0.05	0.99	17.3	1.58	0.09	0.96
Ge	1.48	0.15	0.10	1.06	1.42	0.16	0.11	1.01	1.43	0.15	0.11	1.02
Hg	0.015	0.01	0.12	1.07	0.014	0.01	0.10	1.00	0.026	0.01	0.35	1.86
I	2.55	0.84	0.33	0.84	3.31	0.78	0.24	1.09	2.54	0.99	0.39	0.84
La	39.0	2.84	0.07	0.99	39.3	1.82	0.05	1.00	42.4	5.91	0.14	1.08
Li	42.8	2.81	0.06	1.08	38.9	3.09	0.08	0.98	40.1	5.40	0.13	1.01
Mn	807.7	97.0	0.12	0.99	842.9	136.3	0.16	1.03	743.2	175.6	0.24	0.91
Mo	0.34	0.03	0.08	0.83	0.41	0.04	0.10	1.00	0.59	0.08	0.14	1.44
N	320.4	18.05	0.06	0.88	371.4	46.0	0.12	1.02	461.2	74.46	0.16	1.26
Nb	17.1	0.64	0.04	0.95	18.0	0.42	0.02	1.00	19.7	0.93	0.05	1.09
Ni	37.1	1.90	0.05	1.03	36.1	1.51	0.04	1.00	32.4	5.12	0.16	0.90
P	322.2	45.69	0.14	1.07	303.0	48.28	0.16	1.01	317.0	66.25	0.21	1.06
Pb	24.9	1.32	0.05	0.98	25.7	1.84	0.07	1.01	24.1	1.36	0.06	0.95
Rb	116.3	3.76	0.03	1.00	114.3	5.17	0.04	0.99	105.3	10.93	0.10	0.91
S	72.7	6.38	0.09	1.01	72.4	7.23	0.10	1.01	88.1	17.69	0.20	1.22
Sb	1.00	0.13	0.13	1.06	0.94	0.12	0.13	1.00	0.91	0.12	0.14	0.97
Sc	13.5	1.37	0.10	1.02	13.3	1.24	0.09	1.01	12.6	1.65	0.13	0.95
Se	0.05	0.01	0.16	0.83	0.06	0.02	0.28	1.00	0.12	0.03	0.26	2.00
Sn	2.92	0.56	0.19	0.99	3.03	0.29	0.10	1.02	2.99	0.55	0.18	1.01
Sr	130.5	14.6	0.11	1.18	108.9	11.13	0.10	0.99	87.6	16.82	0.19	0.79
Th	14.2	0.96	0.07	0.96	14.8	0.88	0.06	1.00	15.2	1.21	0.08	1.03
Ti	4667.9	66.21	0.01	0.95	4961.3	117.6	0.02	1.01	5627.7	398.6	0.07	1.14
Tl	0.63	0.05	0.08	1.03	0.61	0.07	0.11	1.00	0.60	0.08	0.14	0.98
U	2.36	0.30	0.13	0.99	2.37	0.22	0.09	0.99	2.64	0.41	0.16	1.10
V	96.6	5.15	0.05	0.97	100.0	7.12	0.07	1.00	100.1	11.46	0.11	1.00
W	2.10	0.10	0.05	0.99	2.10	0.22	0.10	0.99	2.20	0.40	0.18	1.04
Y	27.4	1.25	0.04	0.95	28.8	1.09	0.04	1.00	29.7	2.28	0.08	1.03
Zn	65.8	2.85	0.04	1.05	61.5	4.07	0.07	0.98	62.8	9.92	0.16	1.00
Zr	251.7	8.50	0.03	0.98	257.2	11.33	0.04	1.00	316.0	36.0	0.11	1.23
SiO ₂	64.8	1.05	0.02	0.97	66.6	0.74	0.01	1.00	68.6	2.63	0.04	1.03
Al ₂ O ₃	14.9	0.35	0.02	1.02	14.4	0.76	0.05	0.99	13.8	0.98	0.07	0.95
TF ₂ O ₃	5.66	0.12	0.02	0.99	5.72	0.36	0.06	1.00	5.63	0.66	0.12	0.98
K ₂ O	2.23	0.07	0.03	1.06	2.08	0.13	0.06	0.99	1.99	0.27	0.13	0.95
Na ₂ O	1.16	0.07	0.06	1.05	1.08	0.12	0.11	0.97	0.85	0.21	0.25	0.77
CaO	1.48	0.51	0.34	1.74	0.89	0.18	0.21	1.05	0.57	0.16	0.28	0.67
MgO	1.76	0.19	0.11	1.32	1.32	0.20	0.15	0.99	1.11	0.30	0.27	0.83
TC	0.22	0.02	0.09	0.96	0.23	0.03	0.14	1.00	0.26	0.09	0.36	1.13
Corg	0.20	0.03	0.15	1.05	0.19	0.03	0.14	1.00	0.20	0.07	0.37	1.05

注:w(C、Corg、氧化物)/%,w(Au)/10⁻⁹,w(其余元素)/10⁻⁶,TF₂O₃指与全铁相对应的氧化铁含量,S为标准偏差,C_V为变异系数,K₃=某地区土壤基准值/全区黄土母质土壤基准值;括号中的数值为样本数。

Br、Ce、Hg、I、Mo、N、Nb、P、Pb、S、Se、U、W、Zr、 SiO_2 均高于区域基准值,呈富集特征;酸性岩浆岩、中碱性岩浆岩母质土壤中放射性、稀有稀土元素基准值明显偏高;网纹红土母质土壤中造岩元素基准值最低;变质岩母质土壤中元素贫化现象明显,多数元素基准值最低。

(2) 同类成土母质空间分异对基准值的影响

黄土母质广泛分布于江淮流域的沿淮淮北、江淮分水岭、沿江三大地理景观区,地理分布的差异决定了其物质来源、矿物和化学组成可能存在一定的差异。为了进一步开展对比研究,按照沿淮淮北、江淮分水岭、沿江地区分别统计出黄土母质发育形成的土壤地球化学基准值(表 5)。

由此可见,虽然同为由黄土母质形成的土壤,但元素地球化学基准值特征不尽相同(表 5),表现为:
(1)沿淮淮北地区黄土母质土壤,Ba、Be、Cd、Cl、F、P、Sb、Sr、Zn、 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、CaO、MgO 基准值相对较高,As、B、Br、Mo、N、Th、Ti、Zr、 SiO_2 基准值相对较低,与区域黄土母质土壤基准值相比,该地区土壤相对富集 Cl、CaO、MgO 等;(2)江淮分水岭地区黄土母质土壤,Ag、As、Br、I、Mn 元素基准值相对较高,Ce、Hg、P、S 元素基准值相对较低,与区域黄土母质基准值相比,该地区黄土母质土壤元素区域地球化学分异不明显;(3)沿江地区黄土母质土壤,Au、B、Ce、Hg、La、Mo、N、Nb、S、Se、Th、Ti、U、Zr、 SiO_2 元素基准值相对较高,Ag、B、Be、Cu、F、Ga、Mn、Ni、Rb、Sc、Sr、 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、CaO、MgO 元素基准值相对较低,较之于区域黄土母质土壤,该地区土壤富 B、Hg、Mo、N、S、Se、Zr,贫 Sr、 Na_2O 、CaO。

上述研究结果表明,在确定不同成土母质土壤地球化学基准值的同时,有必要考虑不同地理景观区同类母质土壤因存在成因与物源方面的差异来进一步细化统计单元,以获取更加客观真实的土壤地球化学基准值。

5 结论与建议

本文给出了安徽省江淮流域区域土壤地球化学基准值、背景值,为区域生态环境评价和相关学科研究提供了基础依据。研究表明,表层土壤与深层土壤的化学组成既表现出一定的继承性,又因成土作用和人为扰动污染等而有所差异,突出表现为表层土壤中表生迁移活动性强的元素和人为扰动污染强烈

的元素明显不同于深层土壤;成土母质类型不仅对土壤元素地球化学基准值影响显著,且随着地理空间位置的变化,由于沉积环境、成因物源的差异导致同类成土母质的矿物和化学组成也存在一定的差异,造成土壤地球化学基准值存在空间分异。因此,土壤地球化学基准值研究应更多地考虑地质背景、物质来源等因素的影响。当地理跨度大、物源复杂时,为了更加客观真实地反映土壤地球化学基准值特征,建议适当细分成土母质统计单元,在对比不同地理区同类成土母质地球化学基准值的异同性,当差异很小时,可对统计单元进行归并,当存在明显差异时,需单独统计地球化学基准值。

参考文献(References):

- [1] Salminen R, Gregorauskiene V. Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology [J]. Applied Geochemistry, 2000, 15:647-653.
- [2] Pasternack G B, Brown K J. Natural and anthropogenic geochemical signatures of floodplain and deltaic sedimentary strata, Sacramento-San Joaquin Delta, California, USA [J]. Environmental Pollution, 2006, 141:295-309.
- [3] 朱立新, 马生明, 王之峰. 土壤生态地球化学基准值及其研究方法探讨[J]. 地质与勘探, 2003, 39(6):58-60.
Zhu Lixin, Ma Shengming, Wang Zhifeng. Methodology for soil eco-geochemical reference value[J]. Geology and Prospecting, 2003, 39(6):58-60(in Chinese with English abstract).
- [4] 胡树起, 马生明, 朱立新, 等. 土壤生态地球化学基准值及其确定方法[J]. 物探与化探, 2006, 30(2):95-99.
Hu Shuqi, Ma Shengming, Zhu Lixin, et al. The soil eco-geochemical reference value and its defining method[J]. Geophysical and Geochemical exploration, 2006, 30(2):95-99(in Chinese with English abstract).
- [5] 朱立新, 马生明, 王之峰. 中国东部平原土壤生态地球化学基准值[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1400-1405.
Zhu Lixin, Ma Shengming, Wang Zhifeng. Soil eco-geochemical baseline in alluvial plains of eastern China [J]. Geology in China, 2006, 33(6):1400-1405(in Chinese with English abstract).
- [6] 奚小环. 土壤污染地球化学标准及等级划分问题讨论 [J]. 物探与化探, 2006, 30(6):471-474.
Xi Xiaohuan. A discussion of the geochemical standard and grade division of soil pollution [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2006, 30 (6):471-474 (in Chinese with English abstract).
- [7] 董岩翔, 郑文, 周建华, 等. 浙江省土壤地球化学背景值 [M]. 北京:地质出版社, 2007.
Dong Yanxiang, Zheng Wen, Zhou Jianhua, et al. Soil Geochemical Background in Zhejiang [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2007(in Chinese).

- [8] 汪庆华, 董岩翔, 郑文, 等. 浙江土壤地球化学基准值与环境背景值[J]. 地质通报, 2007, 26(5):590-597.
Wang Qinghua, Dong Yanxiang, Zheng Wen, et al. Soil geochemical baseline values and environmental background values in Zhejiang, China[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(5):590-597(in Chinese with English abstract).
- [9] 林才浩. 福建沿海土壤地球化学分类及基准值研究 [J]. 第四纪研究, 2005, 25(3):347-354.
Lin Caihao. Research of geochemical classification of soils and geochemical baseline in coastal zone of Fujian Province [J]. Quaternary Sciences, 2005, 25(3):347-354(in Chinese with English abstract).
- [10] 陈国光, 奚小环, 梁晓红, 等. 长江三角洲地区土壤地球化学基准值及其应用探讨[J]. 现代地质, 2008, 22(6):1041-1048.
Chen Guoguang, Xi Xiaohuan, Liang Xiaohong, et al. Soil geochemical baselines of the Yangtze River Delta and their significances [J]. Geoscience, 2008, 22 (6):1041-1048 (in Chinese with English abstract).
- [11] 张秀芝, 杨志宏, 马忠社, 等. 地球化学背景与地球化学基准[J]. 地质通报, 2006(5):626-629.
Zhang Xiuzhi, Yang Zhihong, Ma Zhongshe, et al. Geochemical background and geochemical baseline [J]. Geological Bulletin of China, 2006(5):626-629(in Chinese with English abstract).
- [12] 曹峰, 李瑞敏, 王轶, 等. 海河平原北部地区土壤地球化学基准值与环境背景值[J]. 地质通报, 2010, 29(8):1215-1219.
Cao Feng, Li Ruimin, Wang Yi, et al. Soil geochemical baseline and environmental background values in northern Haihe plain, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(8):1215-1219(in Chinese with English abstract).
- [13] 王喜宽, 黄增芳, 苏美霞, 等. 河套地区土壤基准值及背景值特征 [J]. 岩矿测试, 2007, 26(4): 287-292.
Wang Xikuan, Huan Zengfang, Su Meixia, et al. Characteristics of reference and background values of soils in Hetao area [J]. Rock and Mineral Analysis, 2007, 26 (4):287-292 (in Chinese with English abstract).
- [14] 盛奇, 王恒旭, 胡永华, 等. 黄河流域河南段土壤背景值与基准值研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18):8647-8650, 8668.
Sheng Qi, Wang Hengxu, Hu Yonghua, et al. Study on soil background value and reference value in Henan section of Yellow River [J]. Journal of Anhui Agri. Sci., 2009, 37 (18): 8647-8650, 8668(in Chinese with English abstract).
- [15] 李湘凌, 张颖慧, 周涛发, 等. 合肥地区典型城镇土壤中 As、Hg 的环境地球化学基线[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1):154-159.
Li Xiangling, Zhang Yinghui, Zhou Taofa, et al. Environmental geochemical baselines of soil metal elements in typical towns in Hefei area, Anhui Province [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(1):154-159(in Chinese with English abstract).
- [16] 迟清华, 鄢明才, 等. 应用地球化学元素丰度数据手册 [M]. 北京:地质出版社, 2007:280-286.
Chi Qinghua, Yan Mingcai, et al. Handbook of Elemental Abundance for Applied Geochemistry [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2007. 280-286(in Chinese).

Soil geochemical baseline and background in Yangtze River - Huaihe River basin of Anhui Province

CHEN Xing-ren, CHEN Fu-rong, JIA Shi-jun, CHEN Yong-ning

(Anhui Institute of Geological Survey, Hefei 230001, Anhui, China)

Abstract: Geochemical parameters of top and deep soils as well as geochemical baseline and background were calculated based on multi-purpose regional geochemical survey covering Yangtze River-Huaihe River basin of Anhui Province. The concentrations of most elements in top soils are mainly controlled by their concentrations in deep soils. The concentrations of some elements in different soil layers are apparently different. Soil formation processes and anthropogenic activities have had remarkable impact on the distribution of elemental concentrations in soils. It is demonstrated that soil parent material usually has significant influence on geochemical baseline. Geochemical baselines of soils derived from the same parent materials have the tendency to vary in different geographical units. Therefore calculation of soil geochemical baseline should consider spatial variation. These results can be widely used in eco-geochemistry and related multi-discipline research.

Key words: soil geochemical baseline and background; soil parent material; spatial variation; Yangtze River - Huaihe River basin of Anhui Province

About the first author: CHEN Xing-ren, male, born in 1962, senior engineer, mainly engages in geophysical and geochemical exploration, research and technology management; E-mail: ahddycxr@ags.org.cn.