

# 江苏省土壤元素地球化学基准值

廖启林<sup>1</sup> 刘 聪<sup>2</sup> 许 艳<sup>3</sup> 金 洋<sup>1</sup>  
吴昫昭<sup>3</sup> 华 明<sup>1</sup> 朱伯万<sup>1</sup> 翁志华<sup>1</sup>

(1.江苏省地质调查研究院,江苏 南京 210018;2.江苏省国土资源厅,江苏 南京 210029;  
3.南京大学地理与海洋科学学院,江苏 南京 210093)

**摘要:**土壤元素地球化学基准是指自然环境中土壤元素正常含量,属于土壤固有的化学组成与结构特征。江苏省现有国土面积约 102 600 km<sup>2</sup>,至 2007 年已经完成全省 1:250 000 多目标区域地球化学调查。按照 4 km<sup>2</sup> 采集 1 个样品、采样深度 150~200 cm,16 km<sup>2</sup> 分析测试 1 个组合样,共获得全省 6 127 个代表自然环境土壤之样品的 52 个元素与 TOC 含量的数据,剔除异常含量数据后,以平均含量代表全省土壤元素地球化学基准值、“基准值±1.5 或 2 倍标准离差”表示元素基准值变化范围,获得了江苏省土壤 52 个元素及 TOC 的地球化学基准值,为土壤环境评价等提供了基础资料。结果表明:(1)全省土壤大多数元素含量数据不服从正态分布,但剔除异常数据后对平均含量影响不明显;(2)人为活动因素导致江苏土壤的 Cd、Hg、Se、N 等元素在地表 20 cm 以上深度发生显著富集,给建立土壤元素地球化学基准值增添了新的难度;(3)成土母质、土壤成因类型与地貌等差异是影响江苏土壤元素含量分布的基本要素。

**关键词:**元素地球化学基准值;土壤;江苏

中图分类号:P596;X142

文献标志码:A

文章编号:1000-3657(2011)05-1363-16

自从 1964 年泰勒发布了比较系统的元素地壳丰度<sup>[1]</sup>以来,中国研究各类地质体的元素丰度的工作就一直没有间断过,以黎彤先生为代表的地球化学家们发表了这方面的系列论著<sup>[2-8]</sup>。鄢明才等<sup>[9]</sup>曾运用区域地球化学调查数据研究过中国部分地质体的元素丰度,进行了将区域地球化学调查与元素丰度研究相结合的尝试。在国内以往的专业地球化学文献中,提及元素丰度多限于岩石圈。随着人类社会从工业文明向生态文明转进,元素的表生地球化学行为越来越被关注,研究包括土壤在内的地表介质元素丰度的工作也引起了地球化学界的重视。土壤元素地球化学基准值从广义上讲也属于地表物质元素丰度研究的内容之一,是中国当代应用地球化学研究的一个重要方面。借鉴俄罗斯等国家开展多目标地球化学填图<sup>[9-11]</sup>的相关做法、结合中国新时期地

质工作的需求,中国自 1999 年以来,陆续开展了大规模多目标区域地球化学调查工作,获取了全国不同省(市、区)土壤、湖积物、海积物等介质的元素含量分布资料(调查面积约 1600000 km<sup>2</sup>),已有学者发表过这方面的研究成果<sup>[12-16]</sup>,为计算与研究不同地区土壤元素地球化学基准(或背景)值提供了数据基础。

江苏省位于中国东部沿海、地处长江与淮河下游,地理坐标为:东经 116°18′~121°57′、北纬 30°45′~35°20′,全省陆域国土面积约 10.26 万 km<sup>2</sup>,80%以上为第四系覆盖,是全国首家完成其全部陆域国土 1:250 000 多目标区域地球化学调查(或区域生态地球化学调查)的省区,截止 2007 年已经收集到全省土壤的元素含量分布数据近 200 万条。笔者即以这些新获得的调查数据为基础,探讨江苏省土壤 52 个元素及有机碳(TOC)的地球化学基准值。

收稿日期:2010-02-27;改回日期:2011-04-02

基金项目:国家自然科学基金(40873081)、江苏省人民政府与国土资源部合作项目(20031230008)资助。

作者简介:廖启林,男,1964 年生,博士,研究员级高级工程师,地球化学与矿床学专业,现从事生态地球化学调查研究;

E-mail:liaoqilin64@jsoil.com.cn。

## 1 土壤元素地球化学基准值

元素地球化学基准值(或背景值)一直为地球化学家所高度关注,通常表示地质体中元素正常含量分布的统计值。对于土壤中所分布元素的正常含量,以前的文献有的称之为(环境)背景值或基准(基线, Baseline)值<sup>[17-21]</sup>,也有人直接称为土壤地球化学基准值<sup>[19]</sup>。国内严格将土壤元素地球化学背景值与基准值分开,是实施大规模多目标区域地球化学调查以后的事情。

之前对土壤元素地球化学基准(或背景)值的表述不完全统一,如有人认为土壤元素背景值是指土壤在自然成土过程中所形成的固有地球化学组成和含量<sup>[18]</sup>,有人提出元素环境背景值即环境基线(基准)值,是指未受或基本未受、或少受人类活动污染的情况下,自然体如岩石、土壤、水体、植被和农作物的基本化学组成<sup>[17]</sup>,有人将土壤环境背景值定义为在不受或很少受人类活动影响和不受或很少受现代工业污染与破坏的情况下,土壤原来固有的化学组成与结构特征<sup>[20]</sup>,汪庆华等认为地球化学背景值是指一定区域范围或统计单元内元素含量的正常变化范围,反映了特定地质地球化学演化作用的物质组成特征<sup>[19]</sup>。中国地质调查局在颁布的《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)》(编号 DD2005-01)中提出了“土壤地球化学基准值”与“土壤地球化学背景值”的新定义,认为前者是反映第四纪地层地球化学本底的量值,由多目标区域地球化学调查深层采样分析统计取得;后者是反映第四纪地层地球化学背景的量值,由多目标区域地球化学调查表层采样分析统计取得。

综上所述,土壤元素地球化学基准(或背景)值应该包括以下几层含义:

(1)是自然成土过程中元素地球化学行为的记录,代表自然环境土壤的元素含量分布特征;

(2)是自然形成土壤之元素正常含量,代表了土壤的一种固有地球化学属性;

(3)背景含量通常都有一定变化范围,通过实地调查所获得的某个元素的土壤地球化学基准值只能是一个统计数据;

(4)土壤元素含量基准值在空间上会受一定范围限制,不同地区、不同类型、不同流域的土壤可能存在不同的背景含量。

本文所讨论的元素地球化学基准值,与以前所论及的有关土壤元素含量背景值或基准值均有一定联系。

## 2 研究方法

### 2.1 样品采集

在江苏省国土分布范围内,以 4 km<sup>2</sup> 为 1 个采样单元(或格子),每个单元采集 1 个样品,采样点尽量部署在每个采样单元的中心点附近、同时尽量避免人为污染因素。每个所采样品的原始重量大于 600 g,采样深度统一确定为 150~200 cm(少量样品为 120 cm 至基岩深度),用特制采样器连续截取该深度正常土壤,所采土壤样品装于干净布样袋中,并填写长期保存的专门采样记录卡。选择 150 cm 深度以下作为自然土壤环境的采样范围,是事先做了大量典型土壤沉积柱元素含量变化特征研究后确定的,研究资料表明人类活动对地表土壤的元素含量分布的影响深度一般不超过 40 cm,特例也极少超过 80 cm。120 cm 以下深度的土壤中元素含量分布相对稳定,绝大多数能代表自然环境。实地采集 150~200 cm 深度土壤代表自然环境,一是为了全国统一,二是为了更有效排除人为因素的干扰。

### 2.2 样品加工与组合

对采集的每个土壤样品进行自然干燥后,统一过 20 目尼龙筛,弃去样品中的植物碎片、岩屑、原生矿物颗粒、杂物等,保留 20 目以下部分,每个样品初加工好后保存 450 g 左右供长期使用,同时分取相应部分送实验室进行组合样品分析。组合样分析以 16 km<sup>2</sup> 为 1 个单元,从该单元所采集的 4 个样品中各取 50 g 土壤组合成 1 个分析样、重约 200 g(当 1 个单元的采样数量不足 4 个时按实际采样数等量抽取),混匀后送实验室,做元素含量分析的土壤样品统一磨细到 200 目,再进行指定方法的化验检测。

### 2.3 样品分析与测试

对样品统一分析土壤 TOC(总有机碳)及 Si、Al、Mg、Ca、Fe、K、Na、C、N、P、S、Se、B、Mn、Ti、V、Co、Cr、Ni、Cu、Pb、Zn、Cd、As、Sb、Bi、Hg、Mo、W、Sn、Ag、Au、Sr、Ba、La、Ce、Y、Sc、Zr、Th、U、Ga、Ge、Tl、Li、Be、Rb、Nb、F、Cl、Br、I 等 52 个元素含量,各指标的分析方法及检出限见表 1,确保每个元素的检出限都低于其地壳丰度。分析流程、质量监控、数据验收等按照中国地质调查局《多目标区域地球化

表 1 土壤样品 52 个元素含量及总有机碳的分析方法与检出限

Table 1 Analytical methods and detection limits of concentrations of 52 elements and TOC

元素	分析方法	方法检出限( $\mu\text{g/g}$ )	元素	分析方法	方法检出限( $\mu\text{g/g}$ )
Ag	X 荧光光谱法	0.01	Pb	X 荧光光谱法	2
As	原子荧光法	0.8	Rb	X 荧光光谱法	1
Au	石墨炉原子吸收	0.0003	S	X 荧光光谱法	5
B	发射光谱法	1	Sb	原子荧光法	0.04
Ba	X 荧光光谱法	6	Sc	等离子质谱(ICP-MS)	0.15
Be	等离子质谱	0.24	Se	原子荧光法	0.01
Bi	原子荧光法	0.05	Sn	发射光谱法	0.5
Br	X 荧光光谱法	0.05	Sr	X 荧光光谱法	1
Cd	石墨炉原子吸收	0.015	Th	等离子质谱(ICP-MS)	1.09
Ce	等离子质谱	0.11	Ti	X 荧光光谱法	9
Cl	X 荧光光谱法	10	Tl	等离子质谱(ICP-MS)	0.04
Co	等离子质谱	0.33	U	等离子质谱(ICP-MS)	0.08
Cr	X 荧光光谱法	2	V	X 荧光光谱法	4.0
Cu	X 荧光光谱法	0.5	W	等离子质谱(ICP-MS)	0.02
F	离子选择电极	30	Y	X 荧光光谱法	0.6
Ga	X 荧光光谱法	1	Zn	X 荧光光谱法	2
Ge	等离子质谱	0.04	Zr	X 荧光光谱法	1
Hg	原子荧光法	0.002	Si	X 荧光光谱法	0.05(%)
I	等离子质谱(ICP-MS)	0.1	Al	X 荧光光谱法	0.03(%)
La	等离子质谱	0.63	Fe	X 荧光光谱法	0.01(%)
Li	等离子质谱	0.27	Ca	X 荧光光谱法	0.001(%)
Mn	X 荧光光谱法	3	Mg	X 荧光光谱法	0.005(%)
Mo	等离子质谱	0.21	K	X 荧光光谱法	0.004(%)
N	酸碱滴定、容量法	15	Na	X 荧光光谱法	0.004(%)
Nb	X 荧光光谱法	1	C	管式炉燃烧非水滴定	0.05(%)
Ni	X 荧光光谱法	1	TOC	硫酸亚铁铵容量法	0.01(%)
P	X 荧光光谱法	8			

注:表中 TOC 即土壤总有机碳含量(等同于“多目标规范”中的 Org.C)。

学调查规范(1:250 000)》(DD2005-01)执行,样品分析测试由国土资源部南京矿产资源监督检测中心完成。

#### 2.4 元素含量分布参数统计

以上述均匀分布在全省 150~200 cm 深度的 6 127 个土壤样品的各元素含量分布等调查数据为基础,统计相关地球化学参数,进行每个元素全部含量数据的正态(或对数正态,余同)分布检验,按照“平均值 $\pm 2$ 倍标准离差”逐步剔除偏离正态的异常样数据,尽量保证最终参与统计计算的样品元素含量符合正态分布。对于实在不服从正态分布者,剔除到元素含量变异系数 $\leq 0.5$ 为止,保证参与全省土壤元素地球化学基准值计算的样品的代表性。最后以剔除异常样品后的有效样品统计结果为依据,用剔除后的元素平均含量代表基准值,依据实际情况采用推荐“基准值 $\pm 2$ 倍(少部分为 1.5 倍)标准离差”约定基准值的变化范围。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 元素含量分布特征与正态分布检验

利用上述所获取的全省深层土壤 6 127 个样品的 52 个元素含量及 TOC 的调查数据(代表全省自然环境土壤元素含量分布现状),对这批数据进行了各元素相关地球化学参数统计(表 2),从中可看出:大部分元素含量变化范围较宽,其最高含量一般是最低含量的若干倍,相比而言以 Ga、Ge、Tl 等稀散元素的含量变化范围最小。与全国 C 层土壤元素背景含量<sup>[20]</sup>相比,江苏土壤 Cr、Mn 等铁族元素平均含量总体偏高,而 As、Se 等元素平均含量总体偏低,如全国 C 层土壤的 Cr、Mn、As、Se 背景含量分别为 60.8、597、11.5、0.246  $\mu\text{g/g}$ <sup>[20]</sup>,而江苏深层土壤的 Cr、Mn、As、Se 算术平均含量分别为 76、774、9.9、0.1  $\mu\text{g/g}$ (未剔除)。相比全省表层土壤(0~20 cm 深度,

表 2 江苏省深层土壤元素含量分布统计参数

Table 2 Statistical parameters of element content distribution within deep soils (150~200cm) in Jiangsu Province

元素	含量范围	中值	众值	几何 平均值	算术 平均值	标准 离差	变异 系数	表层土壤 含量范围	表层土壤 算术均值	表层土壤 变异系数
As	1.5~319.0	9.7	11.1	9.1	9.9	5.74	0.58	2.2~245.0	9.4	0.41
Cd	0.018~0.90	0.081	0.11	0.085	0.09	0.046	0.51	0.033~22.800	0.151	1.20
Hg	0.003~6.850	0.023	0.014	0.024	0.03	0.107	3.58	0.005~8.090	0.082	1.68
Pb	2.9~693.0	22	23.4	21.7	22.6	11.30	0.50	11.4~1932.0	26.8	0.81
Cu	4.5~253.0	24	28.3	23	24.0	8.16	0.34	5.9~756.0	26.0	0.43
Zn	21.2~1040.0	64	66.4	64	66	19.8	0.30	18.3~1021.0	73.0	0.36
Cr	14.5~351.0	76	87.4	75	76	14.4	0.19	16.6~508.0	76.0	0.20
Ni	8.2~162.0	32.8	37	32.4	33.7	10.45	0.31	1.6~238.0	32.9	0.35
Co	2.2~131.0	14	15.1	14.2	15.2	7.75	0.51	2.4~91.8	13.7	0.29
V	18~321	88	101	86	88	20.2	0.23	12~269	88	0.21
Ti	1232~15340	4577	5139	4538	4590	734.4	0.16	14~17438	4568	0.17
Mn	78.9~8689	664	611	694	774	557.3	0.72	113~5640	629	0.36
Fe	0.84~12.00	3.54	4.08	3.47	3.55	0.781	0.22	1.12~9.44	3.35	0.22
Se	0.014~1.550	0.09	0.11	0.09	0.10	0.055	0.55	0.048~6.180	0.21	0.56
B	4.8~82.0	51	50	50	50.7	9.63	0.19	5.4~132.0	56.0	0.24
N	24~2388	440	436	426	460	179.4	0.39	140~3264	1252	0.29
P	126~8850	580	625	501	528	195.4	0.37	150~4366	791	0.30
K	0.43~4.01	1.81	1.75	1.84	1.86	0.298	0.16	0.95~3.68	1.82	0.16
S	7~4436	107	117	112	140	149.8	1.07	74~2780.4	343	1.26
Li	12.2~123.0	38	40.2	37	38	9.5	0.25	10.1~398.0	37.0	0.25
Be	0.94~4.86	2.26	2.54	2.21	2.24	0.381	0.17	0.25~7.63	2.16	0.15
Nb	5.4~35.5	16.3	14.6	16.2	16.3	2.28	0.14	6.5~46.7	16.1	0.14
Rb	20.9~185.0	102	116	101	102.5	18.45	0.18	38.5~205.0	100.0	0.16
W	0.30~6.29	1.85	2.04	1.81	1.85	0.352	0.19	0.28~39.0	1.89	0.28
Sn	0.9~24.0	3.1	3	3.1	3.2	0.86	0.27	1.0~2835.0	5.3	4.55
Mo	0.20~13.0	0.50	0.38	0.49	0.54	0.324	0.60	0.16~16.00	0.55	0.51
Au	0.3~210.0	1.4	1.5	1.4	1.6	2.91	1.82	0.1~109.0	2.2	1.27
Ag	0.01~0.48	0.08	0.07	0.08	0.08	0.02	0.25	0.01~5.30	0.09	0.87
Sb	0.14~15.39	0.82	0.82	0.75	0.82	0.378	0.46	0.26~190.0	0.96	2.03
Bi	0.05~3.07	0.29	0.33	0.27	0.29	0.104	0.36	0.07~22.20	0.35	0.67
F	208~2261	538	519	538	548	109.6	0.20	158~3647	546	0.22
Cl	26~16825	71	102	87	218	920.0	4.22	27~23515	209	4.41
Br	0.05~83.70	2.0	1.8	2.08	2.72	3.971	1.46	0.70~148.0	5.15	0.94
I	0.10~17.50	2.04	1.72	2.02	2.47	1.778	0.72	0.16~23.60	2.11	0.61
Ga	9.0~27.7	16.3	18.3	16	16.2	2.75	0.17	7.0~28.5	15.7	0.15
Ge	0.67~2.26	1.32	1.23	1.33	1.34	0.134	0.10	0.07~2.62	1.34	0.10
Tl	0.28~8.75	0.62	0.69	0.61	0.62	0.149	0.24	0.18~11.00	0.61	0.19
Sr	25~526	150	199	145	150	39.0	0.26	17~738	146	0.26
Ba	206~2208	486	424	509	520	130.0	0.25	266~2547	498	0.18
La	12.4~137.0	40.0	38.7	40.0	40.2	5.63	0.14	13.8~74.9	40.0	0.13
Ce	27.3~323	77	64.1	77	78.4	18.82	0.24	26.1~176.0	76	0.14
Y	8.5~44.3	26.0	23.1	26.0	26.4	3.43	0.13	8.8~68.1	27.0	0.11
Sc	2.3~33.5	12.4	13.9	12.1	12.3	2.46	0.20	3.7~23.8	11.8	0.19
Zr	94.8~949	258	256	254	258	49.0	0.19	116~624	267	0.22
U	0.33~4.78	2.30	2.25	2.30	2.33	0.35	0.15	0.85~5.77	2.34	0.15
Th	3.11~28.2	12.7	14	12.5	12.7	2.03	0.16	3.1~25.6	12.5	0.15
Al	4.72~11.48	7.10	6.19	6.95	7.02	0.983	0.14	3.77~10.55	6.73	0.11
Si	21.2~37.09	30.07	28.32	29.77	29.84	1.790	0.06	20.59~38.60	30.29	0.08
Na	0.05~2.60	1.02	0.85	0.99	1.02	0.245	0.24	0.09~5.36	0.97	0.29
Ca	0.07~12.79	2.03	0.6	1.71	2.35	1.645	0.70	0.07~9.40	2.13	0.79
Mg	0.19~3.94	1.16	1.24	1.08	1.12	0.291	0.26	0.22~3.35	1.02	0.35
C	0.11~2.69	0.79	0.45	0.76	0.86	0.404	0.47	0.20~7.23	1.56	0.32
TOC	0.01~2.45	0.25	0.15	0.26	0.30	0.198	0.66	0.13~5.31	1.09	0.35

注: Si、Al、Ca、Mg、K、Na、Fe、C、TOC 含量为%, Au 含量为 ng/g, 其余元素含量为  $\mu$ g/g; 未注明“表层土壤”各栏均指深层土壤的统计结果, 深层土壤参与统计样品数为 6 127 个; “表层土壤”指均匀分布在全省地表 0~20 cm 深度的土壤, 参与统计样品数 24 186 个(1 个样/4km<sup>2</sup>), 代表人为活动环境。

一般代表人为活动环境)而言,发现全省深层土壤的 Cd、Hg、Se、S、Sn、N、P、Br、C、TOC 等含量明显偏低,如 Hg 在深层土壤的平均含量为  $0.032\mu\text{g/g}$ ,而在表层土壤的平均含量则为  $0.082\mu\text{g/g}$ 。上述 53 个元素中(含 TOC,余同),共有 20 个元素出现了比较明显的人为活动环境相对富集,说明人类活动对土壤元素含量分布有显著影响,计算土壤元素地球化学基准值必须尽可能排除人为干扰。

进一步对上述 6127 个样品的 53 个元素含量分布数据进行正态分布检验。目前检验大批量元素含量数据是否服从正态分布一般都采用直方图偏度、峰度判断法<sup>[22]</sup>,其计算方法如下:

$$\text{偏度 } \gamma_1 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3}, \quad \text{峰度 } \gamma_2 = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{\sigma^4}, \quad \text{标准离差 } \sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2},$$

其中,  $N$  为样本数,  $X_i$  为单点元素含量,  $\bar{X}$  为平均含量。

概率统计理论已经证明:当母体服从正态分布时,若子样较大( $N > 100$ ),则统计量之偏度、峰度均近似服从如下正态分布:

$$\gamma_1 \approx N(0, \sqrt{\frac{6}{N}}), \quad \gamma_2 \approx N(0, \sqrt{\frac{24}{N}})$$

因此,若母体服从正态分布,给定置信度  $\alpha = 0.05$  时,则:

$$|\gamma_1| < \pm 2\sqrt{\frac{6}{N}}, \quad |\gamma_2| < \pm 2\sqrt{\frac{24}{N}}$$

如果实测数据峰度和偏度都满足上述要求,则说明数据服从正态分布,有一个不满足,则说明数据不服从正态分布。依据上述计算方法与判别标准,计算了全省深层土壤 6127 个样品的元素含量峰度与偏度(表 3),可以发现:

(1)在未剔除异常数据的情况下(全部 6127 个实测样品数据都参加统计),53 个元素没有一个能满足上述正态分布的检验标准,每个元素的峰度值全部超过了上述要求( $\gamma_2$  的绝对值不得大于 0.13),但 Y、Al 等极少部分元素比较接近正态分布;

(2)通过剔除少部分异常数据后(除 Ca 外,所有元素剔除异常数据均未超过总样品数的 10%),有 Mg、W、Rb 等 3 元素满足正态分布检验标准,有 Fe、Cr、Li、Nb、F、La、U 等 7 元素满足对数正态分布

检验标准;

(3)除 Ca 外,上述每个元素在剔除不到 10% 的异常数据后,其元素含量变异系数全部  $\leq 0.5$ ,而未剔除这些异常数据前,有 Cd、Hg、S 等 14 个元素的变异系数  $> 0.5$ ;

(4)Ca 元素含量的确不服从正态分布,这也可以从其全部数据直方图(图 1)上得到证实,其全部数据分布存在 3 个峰值区,要使其变异系数  $\leq 0.5$ 、至少得剔除 50% 的数据,这显然不能用异常数据来解释,也表明用剔除后的平均含量代表其全省土壤基准含量不合适;

(5)除 Ca、Cl、Br、S 等少部分元素外,绝大多数元素在剔除少量异常数据前后,其平均含量统计结果(几何平均值、算术平均值)并无实质性差异,而且从直方图来看,服从正态分布(如 Mg)、对数正态分布(如 Fe)、不服从正态分布但变异系数  $\leq 0.5$ (如 N)等元素,其剔除前后的直方图也几乎无差别(图 2),说明对于大样本统计量(数千个)而言,用变异系数  $\leq 0.5$  时的元素平均含量代表其背景值或基准值是有普遍意义的。

### 3.2 影响土壤元素含量分布的因素

从以上江苏全省深层土壤 6127 个样品 53 个元素含量分布数据的正态分布检验结果来看,全省土壤若不剔除异常样点没有一个元素满足正态分布的要求,即使将所有元素都剔除到变异系数  $\leq 0.5$  后,也仅有 10 个元素(不足 53 个元素的 20%)满足正态分布的要求。而中国地质调查局《多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)(DD2005-01)》(以下简称《规范》,余同)所规定的获取元素地球化学基准值的前提之一是满足正态分布,那么这是否意味江苏全省土壤的大部分元素不能求基准值或求不出基准值呢?答案当然是否定的,无非是要换一种数据统计方法或思路而已。要建立土壤元素地球化学基准值,关键是要了解影响土壤元素含量分布不均匀的主要因素。前人已经证实,影响土壤含量分布的基本因素至少涉及到物质来源、成土过程、大地构造背景等,那么江苏土壤的元素含量分布与土壤类型(反映了成土过程)、成土母质(反映了物质来源)、地貌单元(反映了大的地质背景与气候等差异)等因素又有什么关系呢?

江苏全省土壤分为数十个不同的成土母质,表 4 列出了全省 13 类成土母质土壤中各元素的平均

表 3 江苏深层土壤元素含量分布数据偏度与峰度检验结果

Table 3 Calculation results of kurtosis and skewness of element contents in soils from Jiangsu Province

元素	几何 平均值	算术 平均值	变异 系数	偏度	峰度	剔除 样数	剔除 几均	剔除 算均	剔除 变系	剔除 偏度	剔除 峰度
As	9.1	9.91	0.58	27.02	1380.51	6124	9.1	9.8	0.39	1.32	6.51
Cd	0.085	0.09	0.51	5.88	102.67	6123	0.08	0.09	0.47	2.59	10.12
Hg	0.024	0.03	3.58	52.17	2905.69	5540	0.02	0.03	0.49	1.13	0.70
Pb	21.7	22.6	0.50	35.77	2045.58	6105	21.6	22.3	0.27	1.85	8.77
Cu	22.8	24.0	0.34	6.01	146.74	6121	22.8	23.9	0.30	0.31	0.75
Zn	64.1	65.8	0.30	20.94	1020.63	6123	64.1	65.6	0.23	1.19	3.02
Cr	75.2	76.4	0.19	2.30	26.82	6047	75.1	76.2	0.04	0.03	0.11
Ni	32.4	33.7	0.31	3.20	23.82	6107	32.3	33.4	0.27	1.66	7.11
Co	14.2	15.2	0.51	6.27	59.61	6118	14.2	15.0	0.46	5.10	40.46
V	85.8	88.2	0.23	0.83	4.19	6123	85.8	88.1	0.23	0.50	0.70
Ti	4538	4590	0.16	2.16	18.59	6124	4539	4589	0.15	1.76	11.76
Mn	694	774	0.72	6.72	63.30	6048	691	745	0.49	3.69	19.98
Fe	3.47	3.55	0.22	0.85	3.75	6126	3.46	3.55	0.17	-0.04	0.06
Se	0.09	0.10	0.55	5.38	97.56	6113	0.09	0.10	0.49	1.56	3.59
B	49.5	50.7	0.19	-0.72	1.54	6125	49.6	50.7	0.19	-0.72	1.49
N	426	460	0.39	1.16	4.55	6123	426	460	0.39	0.92	1.98
P	501	528	0.37	13.79	562.68	6119	500	525	0.29	-0.20	0.70
K	1.83	1.86	0.16	1.08	3.06	6124	1.83	1.86	0.16	1.07	2.67
S	112	140	1.07	8.97	157.66	5772	105	117	0.49	1.29	1.73
Li	36.7	37.9	0.25	0.79	1.91	6127	36.7	37.9	0.07	-0.05	-0.05
Be	2.21	2.24	0.17	0.29	0.02	6124	2.21	2.24	0.17	0.23	-0.45
Nb	16.2	16.3	0.14	1.01	5.65	6112	16.2	16.4	0.05	-0.02	0.07
Rb	100.8	102.5	0.18	0.60	0.80	6125	100.9	102.5	0.04	0.05	0.08
W	1.81	1.85	0.19	0.71	6.39	6118	1.81	1.84	0.19	0.04	-0.09
Sn	3.09	3.16	0.27	10.12	209.22	6124	2.21	2.24	0.17	0.23	-0.45
Mo	0.49	0.54	0.60	14.44	435.31	6104	0.49	0.52	0.39	1.93	7.22
Au	1.4	1.5	1.82	62.27	4449.51	6099	1.4	1.5	0.46	1.56	5.15
Ag	0.08	0.08	0.25	6.44	90.49	6116	0.08	0.08	0.22	3.49	28.26
Sb	0.75	0.82	0.46	10.16	356.34	6097	0.75	0.81	0.37	0.40	0.80
Bi	0.27	0.29	0.36	4.30	91.72	6112	0.27	0.29	0.32	0.42	0.79
F	538	549	0.20	1.76	16.84	6107	538	547	0.03	0.02	0.08
Cl	87	218	4.22	9.90	115.77	5598	81	88	0.48	1.62	2.61
Br	2.08	2.72	1.46	9.37	114.48	5891	1.95	2.19	0.50	1.27	1.81
I	2.03	2.47	0.72	2.61	11.04	5678	1.87	2.13	0.49	0.66	-0.31
Ga	16.0	16.2	0.17	0.23	-0.46	6112	16.0	16.2	0.17	0.20	-0.58
Ge	1.33	1.34	0.10	0.51	0.40	6113	1.33	1.33	0.10	0.41	-0.35
Tl	0.61	0.62	0.24	28.10	1544.68	6107	0.61	0.62	0.16	0.21	-0.25
Sr	145	150	0.26	0.35	2.12	6102	144	149	0.25	-0.09	-0.86
Ba	508	520	0.25	3.48	18.89	6100	508	519	0.24	3.04	12.92
La	39.8	40.2	0.14	1.97	22.58	6113	39.7	40.1	0.04	0.01	0.11
Ce	76.9	78.4	0.24	5.07	42.85	6089	77.0	78.5	0.24	5.17	44.86
Y	26.1	26.4	0.13	0.03	-0.25	6107	26.1	26.3	0.13	-0.07	-0.79
Sc	12.1	12.3	0.20	0.38	0.58	6123	12.1	12.3	0.20	0.30	-0.32
Zr	253	258	0.19	1.33	12.55	6123	254	258	0.19	0.75	4.82
U	2.30	2.33	0.15	0.55	1.87	6027	2.31	2.33	0.16	0.01	-0.02
Th	12.5	12.7	0.16	0.27	1.14	6117	12.5	12.7	0.16	0.05	-0.67
Al	6.95	7.02	0.14	0.05	-0.95	6122	6.95	7.02	0.14	0.04	-1.00
Si	29.77	29.84	0.06	-0.68	1.73	6119	29.77	29.83	0.06	-0.69	1.68
Na	0.99	1.02	0.24	-0.01	1.11	6113	0.99	1.03	0.24	0.03	0.95
Ca	1.71	2.35	0.70	0.50	-0.75	3020	0.79	0.88	0.46	0.87	0.11
Mg	1.08	1.12	0.26	0.28	2.51	6087	1.08	1.12	0.25	-0.03	0.08
C	0.76	0.86	0.47	0.47	-0.68	6108	0.76	0.86	0.47	0.46	-0.74
TOC	0.26	0.30	0.66	2.89	15.33	5866	0.24	0.27	0.48	0.96	0.39

注: Si、Al、Ca、Mg、K、Na、Fe、C、TOC 含量为%, Au 含量为 ng/g, 其余元素含量为  $\mu\text{g/g}$ ;“几均”即几何平均值,“算均”即算术平均值,“变系”即变异系数。

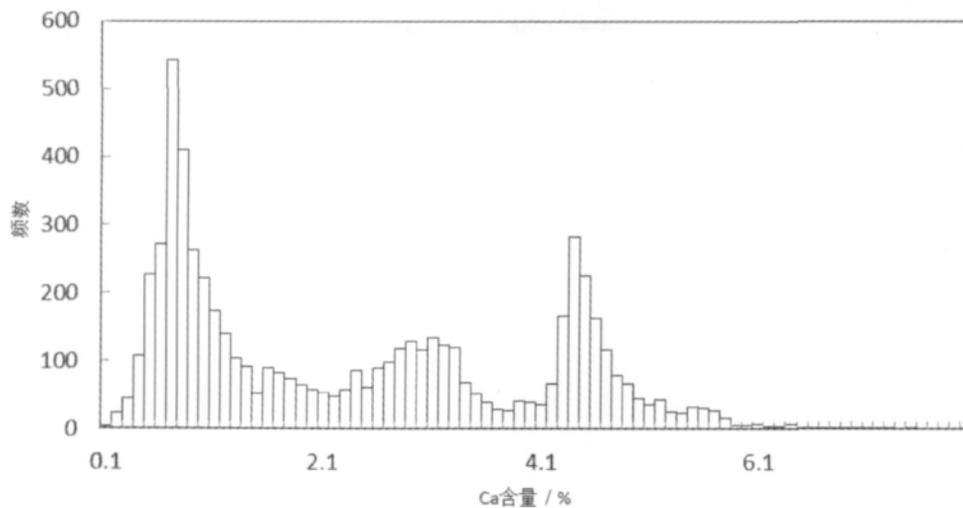


图 1 江苏深层土壤 Ca 元素含量分布直方图

Fig.1 Histogram of Ca contents in soils from Jiangsu Province

含量(以上述 6127 个样品 53 个元素含量调查数据为基础,余同),可以看出不同成土母质对土壤的绝大多数元素含量分布都有显著影响,只有像常量元素 Si, 稀土元素 La、Ce、Y, 分散元素 Ga、Ge、Tl 及放射性元素 U、Th 等少部分元素在各类成土母质土壤中的平均含量相差不是很明显,其余大部分元素在各类成土母质土壤中的平均含量均存在显著差异,如全新统海积砂土中 Cl、Br 含量明显偏高,全新统湖积粘土的 TOC 含量明显偏高,而常量元素 Ca 在全新统冲积砂土、海积砂土、海积冲积砂土中的平均含量比其他成土母质土壤高出若干倍,这在土壤环境的常量元素分布中是不常见的。全省土壤 Ca 含量空间分布特征显示,从南到北 Ca 含量递增趋势明显,可能与南部多硅酸盐风化成土,而北部成土过程中有大量碳酸盐物质加入有直接关系。江苏土壤的 Ca 高含量主要分布在苏北泛黄河故道—滨海平原北部一带,这一带土壤的 Ca 含量大部分在 4% 以上,也正是与外来碳酸盐有关的全新统冲积砂土、海积砂土、海积冲积砂土的主要分布区。成土母质的差异反映了第四纪地质作用及土壤物质来源等的差异,对土壤元素含量分布有影响是正常的。成土母质的差异对土壤中元素含量分布的影响可以进一步追踪到风化成土的有关基岩(成土母岩),如苏南中酸性火山岩分布区土壤中 B 元素含量普遍偏高,这与当地火山岩的存在有直接联系。成土母质的差异对土壤的元素正常含量分布有直接影响,前人<sup>[21]</sup>有关研究资料也证实了这点。

江苏地处全国气候南北过渡带,土壤(成因)类型也非常丰富,目前已经认定的土壤类型就有 16 个大类、44 个亚类,表 5 列出了全省 13 个主要土壤类型之土壤中各元素的平均含量,可以看出不同成因类型土壤中的元素含量分布差异也是非常明显的,像基性岩土的铁族元素(Cr、Ni、Co、Ti、Mn、V、Fe 等)平均含量明显高于其他土类,基性岩土富集铁族元素的特征明显,这与基性岩土主要由基性火山岩(如玄武岩等)风化后就地残积而成有直接关系。另外像潜育型水稻土、黄棕壤的 B 平均含量为 57 $\mu$ g/g,而棕壤的 B 平均含量才 26  $\mu$ g/g,滨海盐土的 P 平均含量高达 639 $\mu$ g/g,而棕壤与砂姜黑土的 P 平均含量还不到 300 $\mu$ g/g,黄棕壤的 Se 平均含量比黄褐土高出 1 倍,都指示了土壤类型对元素含量分布的差异有直接影响,研究土壤元素地球化学基准值必须考虑这方面的因素。

江苏全省分为 7 大地貌单元,从北往南依次为沂沭丘陵平原、徐淮黄泛平原、苏北滨海平原、里下河浅洼平原、长江三角洲平原、宁镇扬丘陵岗地、太湖水网平原,其中沂沭丘陵平原属于苏鲁超高压变质带,徐淮黄泛平原、苏北滨海平原、里下河浅洼平原主要属于华北地台(或板块),长江三角洲平原、宁镇扬丘陵岗地、太湖水网平原主要属于扬子地台(或板块)。表 6 列出了上述 7 大地貌单元土壤的各元素平均含量及其变异系数,可看出长江三角洲平原土壤的 Cd 平均含量最高,苏北滨海平原土壤的 Cl、Br、I、P 平均含量最高,沂沭丘陵平原土壤的 Pb 平

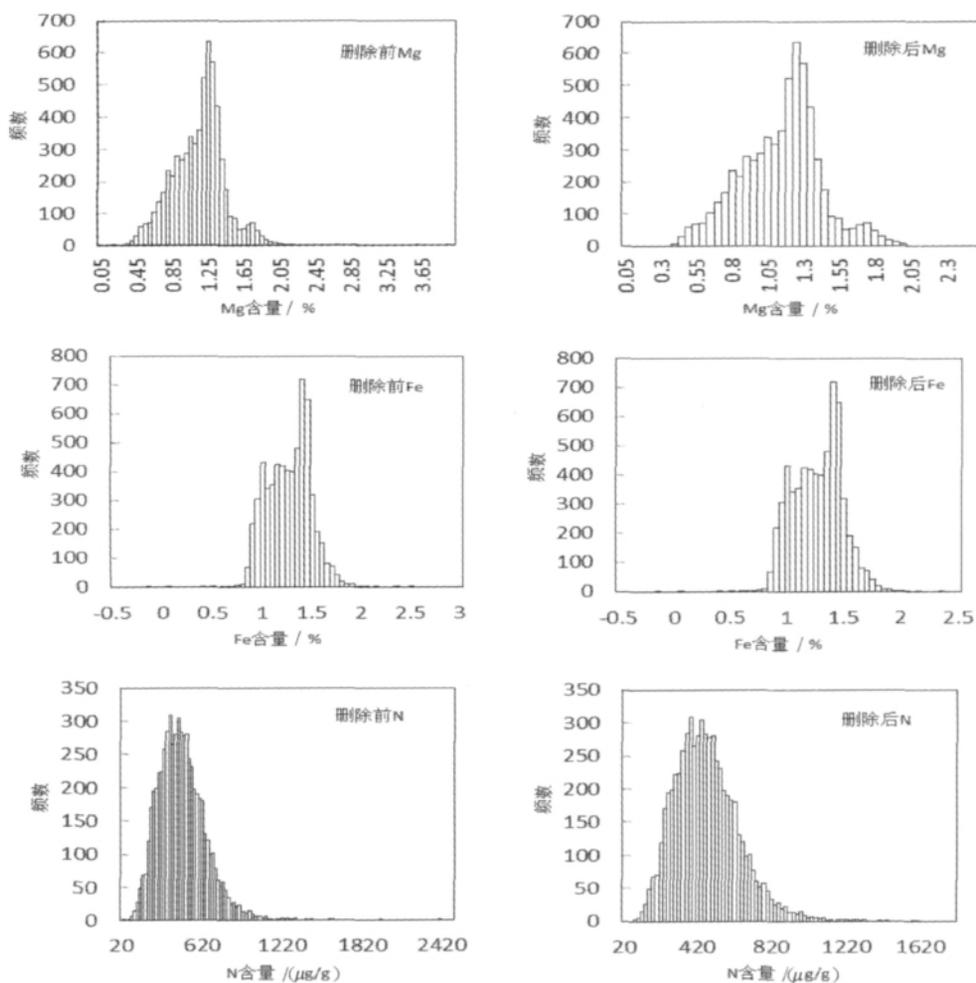


图2 江苏深层土壤 Mg、Fe、N 元素含量分布直方图

Fig.2 Histogram of Mg, Fe and N contents in soils from Jiangsu Province

均含量最高、且当地土壤中相当部分元素含量分布的变异系数大于 0.5, 宁镇扬丘陵岗地土壤的铁族元素含量最高, 太湖水网平原土壤的 N 与 TOC 含量最高, 不同地貌单元土壤之间的元素含量分布差异也相当明显, 表明地貌差异乃至气候与大地构造背景的差异也是影响自然环境土壤元素正常含量分布的重要因素。

因为影响江苏全省土壤元素含量分布的因素比较多, 导致大部分元素含量调查数据不服从正态分布, 为统计、计算全省土壤地球化学基准值增添了难度。

### 3.3 基准值求取

以上分析对比表明, 成土母质、土壤类型或成因、地貌单元等都是影响江苏土壤元素含量正常分布的客观因素, 导致了大部分元素含量分布在空间上存在比较大的差异, 表现在数据统计结果上就是

绝大部分元素含量都满足不了正态分布的要求。而为了确保所获取的全省土壤地球化学基准值经得起检验, 又必须考虑这些关键因素。那么究竟该如何确定江苏土壤地球化学基准值才合适呢? 上述《规范》要求获取土壤地球化学基准值有 3 个前提, 即同一沉积环境、同一物质来源、满足正态分布。从前面论述可知, 利用江苏全省 6127 个深层土壤 53 个元素的调查数据求取江苏土壤元素地球化学基准值, 前 2 条没有一个元素符合, 最后 1 条 80% 以上的元素不符合, 显然完全按照《规范》求得江苏土壤元素地球化学基准值是不现实的。事实上, 统计学早已有过类似经验, 在有效排除人为干扰影响后, 物质来源相同、沉积环境相同的土壤元素含量很容易满足正态分布, 而现在江苏全省土壤绝大部分元素满足不了正态分布的要求, 就是因为全省土壤有不同沉积环

表 4 江苏主要成土母质自然土壤环境元素平均含量对比  
Table 4 Average values of element contents in natural environment from soils of different parent matters in Jiangsu Province

元素	碎屑岩 区土	偏酸性岩 浆岩区土	偏基性 岩区土	Qp 冲积亚 粘土	Qp 冲坡积 亚粘土	Qp 冲湖积 粘土	Qh 冲积亚 粘土	Qh 冲积砂 土	Qh 湖积粘 土	Qh 湖积亚 粘土	Qh 冲湖积 亚粘土	Qh 海积砂 土	Qh 海积冲 积砂土
As	10.9	10.1	8.4	11.3	13.9	10.3	9.1	3.8	6.9	9.1	11.6	7.4	6.7
Cd	0.063	0.067	0.09	0.068	0.071	0.071	0.077	0.067	0.074	0.074	0.075	0.072	0.099
Hg	0.021	0.018	0.026	0.02	0.014	0.032	0.018	0.019	0.051	0.026	0.018	0.019	0.046
Pb	23.7	24.7	20.9	23.2	26.3	24.2	21.5	14.5	23.1	23.5	25.1	17.2	20.8
Cu	26.0	24.0	34.0	28.0	25.0	29.0	23.0	14.0	26.0	27.0	28.0	18.0	24.0
Zn	61.0	61.0	71.0	65.0	55.0	68.0	58.0	52.0	69.0	69.0	65.0	59.0	73.0
Cr	77.0	73.0	120.0	83.0	77.0	85.0	72.0	65.0	82.0	84.0	86.0	67.0	78.0
Ni	32.8	32	66.4	37.4	38.3	37.3	30.6	24.3	34.4	36	37.8	26.9	31.5
Co	15.4	14.5	26.8	15	18.5	14.7	13.0	10.5	14.1	14.7	16	11.2	14.1
V	95	98	115	102	103	104	85	64	98	97	101	74	87
Ti	5272	4699	7540	5121	4327	5288	4330	4027	5271	4908	4757	4015	4856
Mn	656	665	945	673	1048	719	626	514	596	712	783	555	703
Fe	3.75	3.80	4.73	4.05	4.01	3.95	3.40	2.61	3.57	3.84	4.02	2.88	3.42
Se	0.11	0.10	0.10	0.08	0.08	0.10	0.09	0.05	0.16	0.11	0.09	0.07	0.10
B	56	39	45	54	35	57	47	50	60	56	48	54	58
N	483	428	505	413	406	516	452	278	816	534	480	295	545
P	355	288	549	298	262	402	462	626	435	478	444	632	632
K	1.59	1.84	1.54	1.74	1.75	1.65	1.71	1.67	1.76	1.83	1.77	1.84	1.83
S	72	63	66	58	72	87	91	83	235	84	91	103	113
Li	39.0	34.0	31.0	41.0	37.0	43.0	36.0	27.0	46.0	43.0	43.0	31.0	38.0
Be	2.30	2.40	2.24	2.51	2.40	2.52	2.24	1.81	2.41	2.45	2.49	1.89	2.18
Nb	18.3	16.7	23.7	17.6	15.7	19.2	15.6	14.1	18.9	17.8	17.2	14.5	16.9
Rb	104.0	102.0	86.0	112.0	100.0	115.0	95.0	81.0	115.0	114.0	114.0	90.0	99.0
W	2.15	1.90	1.68	2.18	1.77	2.29	1.72	1.47	2.00	2.00	2.03	1.58	1.73
Sn	3.19	2.98	3.18	3.26	2.91	3.51	2.99	2.71	3.54	3.3	3.11	2.77	3.11
Mo	0.55	0.72	0.71	0.43	0.52	0.38	0.50	0.42	0.40	0.37	0.41	0.47	0.42
Au	1.5	1.4	1.4	1.6	1.7	1.8	1.4	0.8	1.5	1.5	1.7	0.9	1.1
Ag	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08
Sb	0.97	0.92	0.69	0.98	1.15	0.90	0.81	0.49	0.56	0.70	0.93	0.58	0.51
Bi	0.31	0.28	0.26	0.33	0.29	0.33	0.27	0.16	0.32	0.33	0.33	0.22	0.27
F	494	487	435	545	551	552	500	455	518	568	573	509	571
Cl	44	44	44	44	55	48	52	74	70	61	57	128	72
Br	1.75	1.68	2.57	1.72	2.05	1.76	1.66	1.49	2.14	1.71	2.06	2.86	1.98
I	2.61	2.4	2.51	2.59	2.34	2.87	1.59	1.18	1.4	1.72	2.09	2.37	2.27
Ga	16.6	18.4	18.1	17.8	18.0	18.0	16.2	13.0	17.0	17.8	18.4	14.0	15.5
Ge	1.46	1.38	1.34	1.45	1.30	1.50	1.30	1.22	1.42	1.40	1.36	1.21	1.33
Tl	0.65	0.63	0.51	0.66	0.66	0.67	0.61	0.49	0.66	0.66	0.69	0.54	0.58
Sr	90	108	143	103	145	110	150	177	114	125	127	175	154
Ba	505	700	547	523	734	565	480	434	495	515	548	417	446
La	44.0	43.0	41.0	45.0	37.0	46.0	40.0	35.0	45.0	42.0	41.0	36.0	39.0
Ce	86.0	85.0	80.0	84.0	86.0	86.0	76.0	66.0	85.0	79.0	79.0	67.0	74.0
Y	29.0	26.0	28.0	30.0	26.0	31.0	26.0	22.0	29.0	28.0	29.0	24.0	25.0
Sc	12.8	12.8	13.7	14.2	12.0	14.1	11.9	9.3	13.5	13.6	14.1	10.4	11.9
Zr	300	285	283	281	263	277	274	248	260	257	257	244	244
U	2.56	2.10	2.10	2.29	2.45	2.82	2.29	2.03	2.65	2.40	2.43	2.10	2.26
Th	13.9	12.5	11.4	13.7	12.0	15.3	12.0	10.5	14.5	14.0	14.0	11.1	12.5
Al	7.61	7.92	7.37	7.96	7.76	7.94	7.04	5.64	7.70	7.67	7.94	6.04	6.77
Si	31.41	30.53	30.29	30.67	29.54	31.27	30.31	30.80	31.90	30.77	29.81	29.74	30.06
Na	0.76	0.91	0.94	0.81	0.88	0.86	1.04	1.28	0.97	0.91	0.85	1.24	1.04
Ca	0.42	0.46	0.86	0.53	1.33	0.66	2.12	3.48	0.62	0.75	0.90	3.66	3.02
Mg	0.68	0.70	0.88	0.88	0.91	0.77	0.98	1.20	0.74	0.99	1.12	1.26	1.26
C	0.35	0.30	0.48	0.29	0.55	0.48	0.72	0.79	0.77	0.51	0.48	1.00	0.93
TOC	0.22	0.18	0.25	0.22	0.15	0.28	0.18	0.15	0.56	0.28	0.27	0.18	0.33

注:表中 Si、Al、Ca、Mg、K、Na、Fe、C、TOC 含量为%, Au 含量为 ng/g, 其余元素含量为  $\mu$  g/g; Qp 即更新统, Qh 即全新统; 各母质土参与统计样品数从左向右(自碎屑岩区土始)依次为 119、124、44、576、114、137、335、457、102、629、389、525、303。

表 5 江苏主要土壤类型自然环境土壤元素平均含量对比  
Table 5 Mean values of element contents in natural environment from the main soil genetic classifications in Jiangsu Province

元素	黄棕壤 (70)	黄褐土 (238)	棕壤 (130)	褐土 (87)	冲积土 (211)	基性岩土 (42)	粗骨土 (66)	砂姜黑土 (194)	沼泽土 (20)	滨海 盐土 (447)	黄潮土 (804)	潞育型 水稻土 (1002)	潞育型 水稻土 (647)
As	11.0	11.3	10.2	12.9	9.7	8.1	9.8	12.9	10.1	10.6	8.7	9.7	8.9
Cd	0.063	0.069	0.090	0.080	0.088	0.083	0.073	0.075	0.068	0.087	0.084	0.075	0.079
Hg	0.023	0.018	0.014	0.022	0.014	0.024	0.023	0.015	0.031	0.019	0.014	0.025	0.022
Pb	24.4	23.8	28.0	27.6	17.9	21.2	24.8	27.4	25.6	18.2	17.0	23.6	21.7
Cu	26.0	28.0	23.0	27.0	19.0	34.0	24.0	27.0	27.0	24.0	17.0	29.0	25.0
Zn	62.0	66.0	56.0	60.0	53.0	70.0	62.0	59.0	76.0	60.0	54.0	58.0	49.0
Cr	77.0	84.0	74.0	83.0	62.0	125.0	75.0	87.0	88.0	67.0	60.0	84.0	78.0
Ni	30.8	38.2	40.9	39.5	25.4	70.0	33.3	40.0	39.7	28.9	23.6	37.4	32.4
Co	16.0	15.0	20.4	18.6	10.8	27.6	14.4	18.4	16.6	11.5	10.2	14.8	13.8
V	98	102	100	102	67	116	92	107	103	76	65	102	89
Ti	5328	5086	4149	4690	3834	7760	4647	4635	4879	3883	3859	5126	4882
Mn	690	692	1299	920	501	990	614	1025	702	542	489	698	665
Fe	3.82	4.07	4.02	4.09	2.73	4.75	3.68	4.17	4.06	2.94	2.61	4.03	3.55
Se	0.14	0.07	0.08	0.10	0.08	0.11	0.10	0.08	0.13	0.10	0.08	0.10	0.08
B	57	51	26	49	44	43	54	42	52	52	44	57	54
N	496	447	416	491	320	549	468	447	697	324	377	488	434
P	303	294	248	323	618	561	365	287	428	639	617	460	637
K	1.68	1.72	1.92	1.75	1.81	1.55	1.85	1.68	2.04	1.89	1.77	1.77	1.77
S	73	61	63	93	127	60	76	72	265	131	130	77	79
Li	41.0	41.0	32.0	42.0	28.0	30.0	36.0	42.0	49.0	32.0	28.0	42.0	38.0
Be	2.41	2.51	2.48	2.50	1.83	2.25	2.31	2.50	2.60	1.91	1.82	2.53	2.25
Nb	18.5	17.4	14.8	16.7	14.0	23.8	16.6	16.6	17.7	14.7	14.0	18.1	17.0
Rb	110.0	112.0	92.0	107.0	86.0	87.0	101.0	105.0	120.0	91.0	83.0	115.0	101.0
W	2.31	2.16	1.47	2.01	1.62	1.66	1.78	2.02	2.10	1.81	1.69	2.15	1.89
Sn	3.37	3.27	2.84	3.18	2.64	3.04	3.13	3.11	3.14	2.89	2.69	3.41	3.15
Mo	0.69	0.44	0.76	0.51	0.57	0.68	0.60	0.48	0.44	0.61	0.56	0.38	0.42
Au	1.6	1.7	1.5	2.0	1.1	1.3	1.4	2.0	1.5	1.2	1.0	1.6	1.4
Ag	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08
Sb	1.00	0.99	0.93	1.05	0.82	0.75	0.89	1.11	0.82	0.85	0.81	0.80	0.73
Bi	0.33	0.33	0.25	0.33	0.24	0.26	0.30	0.33	0.37	0.25	0.22	0.33	0.30
F	520	546	492	530	496	436	485	622	586	527	492	563	548
Cl	42	46	58	53	76	44	48	54	75	186	77	50	58
Br	1.84	2.00	1.74	2.54	1.50	2.56	1.73	1.96	1.98	4.13	1.49	1.89	1.65
I	2.93	3.00	2.25	2.57	1.23	2.58	2.44	2.25	1.49	2.03	1.24	2.07	1.56
Ga	16.6	17.9	18.7	18.2	13.3	18.2	18.3	18.5	18.4	14.0	12.8	17.9	16.0
Ge	1.49	1.44	1.29	1.37	1.20	1.34	1.40	1.35	1.40	1.21	1.21	1.44	1.36
Tl	0.67	0.67	0.63	0.68	0.55	0.51	0.63	0.69	0.71	0.56	0.53	0.67	0.60
Sr	86	108	123	127	199	141	104	137	129	189	199	113	144
Ba	521	558	949	589	467	559	530	642	541	420	462	526	474
La	44.0	44.0	41.0	40.0	35.0	41.0	41.0	40.0	41.0	38.0	34.0	44.0	41.0
Ce	87.0	84.0	104.0	87.0	65.0	79.0	85.0	85.0	79.0	72.0	63.0	83.0	78.0
Y	28.0	29.0	26.0	28.0	23.0	28.0	27.0	27.0	29.0	26.0	22.0	30.0	27.0
Sc	13.5	14.0	11.4	13.9	10.0	14.0	12.2	13.8	14.6	10.9	9.6	14.2	12.4
Zr	299	277	264	264	240	284	283	262	243	218	239	267	263
U	2.74	2.33	2.03	2.35	2.29	2.16	2.23	2.57	2.49	2.29	2.26	2.41	2.29
Th	14.4	13.9	11.1	14.0	10.9	11.4	12.8	13.5	14.3	11.5	10.5	14.4	13.0
Al	7.74	8.03	7.93	7.85	5.88	7.33	7.94	7.93	7.98	6.11	5.73	7.96	6.97
Si	31.55	30.66	29.55	29.70	29.08	30.41	30.76	29.16	30.41	28.34	29.36	30.83	30.20
Na	0.63	0.83	1.00	0.72	1.24	0.92	0.89	0.79	0.92	1.18	1.13	0.88	1.01
Ca	0.37	0.57	0.92	0.93	4.44	0.84	0.52	1.57	0.89	4.52	4.37	0.65	1.77
Mg	0.60	0.92	0.80	1.06	1.27	0.87	0.74	1.06	1.04	1.30	1.23	0.92	1.18
C	0.33	0.32	0.37	0.59	1.36	0.50	0.37	0.53	0.78	1.35	1.26	0.46	0.73
TOC	0.22	0.23	0.13	0.24	0.17	0.27	0.19	0.18	0.49	0.28	0.15	0.25	0.23

注: Si、Al、Ca、Mg、K、Na、Fe、C、TOC 含量为%, Au 含量为 ng/g, 其余元素含量为  $\mu\text{g/g}$ ; ()内数值为参与统计样品数; 主要土壤类型依据《江苏土壤》(1994)所提供的土壤大类, 选择其有代表性土类。

表 6 江苏 7 大地貌单元自然环境土壤元素平均含量与变异系数对比

Table 6 Mean values of element contents and variable coefficients in natural environmental soils from 7 main geomorphic units in Jiangsu Province

地区 元素	沂沭丘陵平原		徐淮黄泛平原		里下河浅洼平原		苏北滨海平原		长江三角洲平原		太湖水网平原		宁镇扬丘陵岗地	
	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv
As	12.0	0.40	11.1	0.30	9.2	0.32	9.5	0.44	6.7	0.73	9.2	0.45	11.3	0.98
Cd	0.088	0.56	0.093	0.31	0.078	0.33	0.089	0.34	0.123	0.52	0.082	0.33	0.094	0.69
Hg	0.021	0.58	0.022	0.43	0.028	0.53	0.022	0.41	0.047	0.60	0.06	4.09	0.03	1.02
Pb	31.2	0.39	21.1	0.28	22.7	0.17	19.5	0.24	18.9	0.27	23.9	0.34	24.5	0.96
Cu	25.0	0.28	22.0	0.40	25.0	0.18	21.0	0.34	21.0	0.43	27.0	0.19	29	0.32
Zn	65.0	0.28	60.0	0.23	69.0	0.16	67.0	0.26	67.0	0.23	69.0	0.17	69	0.53
Cr	79.0	0.29	69.0	0.19	81.0	0.12	72.0	0.16	74.0	0.13	83.0	0.12	84	0.21
Ni	41.7	0.40	30.4	0.29	34.6	0.16	30.7	0.25	29.5	0.20	35.2	0.17	38	0.37
Co	24.5	0.75	13.9	0.44	14.4	0.17	12.8	0.24	12.9	0.20	14.7	0.16	16.5	0.36
V	102	0.25	79	0.28	91	0.16	79	0.21	80	0.21	98	0.16	100	0.15
Ti	4243	0.13	4104	0.15	4688	0.06	4088	0.08	4703	0.11	5244	0.06	5362	0.15
Mn	1525	0.86	713.0	0.62	721.0	0.27	654.0	0.28	645.0	0.24	700.0	0.26	713	0.50
Fe	4.04	0.21	3.22	0.25	3.73	0.15	3.22	0.22	3.19	0.18	3.8	0.14	4.01	0.18
Se	0.10	0.39	0.09	0.35	0.11	0.36	0.08	0.38	0.10	0.59	0.14	0.56	0.12	0.73
B	37	0.33	45	0.12	54	0.13	53	0.12	55	0.11	58	0.10	54	0.17
N	487	0.29	386	0.33	515	0.30	355	0.42	445	0.40	625	0.29	485	0.42
P	389	0.39	551	0.24	489	0.28	635	0.06	653	0.10	491	0.29	437	0.83
K	2.04	0.23	1.86	0.12	1.93	0.11	1.99	0.16	1.78	0.11	1.71	0.15	1.71	0.15
S	108	1.39	128	0.30	158	1.12	193	0.94	134	0.59	169	1.47	82	0.91
Li	39.0	0.30	34.0	0.28	43.0	0.18	37.0	0.28	34.0	0.26	42.0	0.17	39.0	0.18
Be	2.47	0.14	2.05	0.17	2.37	0.12	2.05	0.15	2.04	0.15	2.46	0.11	2.45	0.13
Nb	15.7	0.13	14.7	0.10	16.9	0.06	15.0	0.07	16.0	0.11	18.7	0.07	18.2	0.14
Rb	107.0	0.21	95.0	0.17	112.0	0.13	100.0	0.2	92.0	0.17	111.0	0.14	107	0.14
W	1.69	0.23	1.74	0.17	1.90	0.12	1.69	0.15	1.64	0.21	2.14	0.14	2.15	0.14
Sn	3.01	0.15	2.83	0.17	3.27	0.15	2.89	0.14	3.15	0.25	3.75	0.37	3.42	0.32
Mo	0.78	0.76	0.58	0.23	0.40	0.32	0.57	0.32	0.46	0.45	0.43	0.55	0.57	0.88
Au	1.6	0.31	1.5	0.63	1.5	0.82	1.3	0.68	1.3	0.86	1.9	0.89	2.0	3.63
Ag	0.08	0.26	0.08	0.20	0.08	0.14	0.07	0.22	0.08	0.31	0.08	0.27	0.08	0.30
Sb	1.06	0.41	0.93	0.26	0.71	0.34	0.74	0.45	0.52	0.49	0.77	0.33	0.99	0.58
Bi	0.31	0.39	0.28	0.30	0.31	0.24	0.28	0.42	0.23	0.49	0.32	0.39	0.32	0.24
F	574	0.26	533	0.20	563	0.14	560	0.20	531	0.19	550	0.17	540	0.22
Cl	258	3.47	89	0.44	82	0.57	883	2.39	96	1.29	62	0.49	49	0.29
Br	3.19	1.43	1.93	0.49	2.10	0.42	6.05	1.40	1.98	0.55	1.97	0.36	1.94	0.54
I	2.85	0.75	1.95	0.69	2.10	0.56	3.59	0.66	2.15	0.92	2.39	0.46	2.55	0.58
Ga	18.8	0.11	15.0	0.19	17.2	0.13	15.1	0.18	14.6	0.15	17.2	0.12	17.3	0.13
Ge	1.31	0.09	1.25	0.08	1.38	0.07	1.24	0.07	1.31	0.09	1.46	0.06	1.46	0.10
Tl	0.68	0.15	0.6	0.17	0.65	0.12	0.59	0.18	0.54	0.17	0.65	0.13	0.66	0.44
Sr	160	0.30	183	0.16	137	0.12	175	0.10	155	0.09	112	0.12	105	0.29
Ba	780	0.31	509	0.17	514	0.11	429	0.07	452	0.10	524	0.10	522	0.13
La	42.0	0.21	36.0	0.11	41.0	0.07	37.0	0.09	39.0	0.11	45.0	0.07	44.0	0.12
Ce	103.0	0.43	71.0	0.20	76.0	0.07	70.0	0.10	73.0	0.12	85.0	0.07	84.0	0.12
Y	26.0	0.15	24.0	0.12	27.0	0.08	25.0	0.10	24.0	0.11	30.0	0.07	29.0	0.10
Sc	12.7	0.22	11.4	0.21	13.0	0.14	11.6	0.22	10.9	0.19	13.4	0.13	13.8	0.13
Zr	258	0.20	245	0.19	252	0.15	232	0.20	263	0.19	281	0.15	290	0.15
U	2.34	0.19	2.34	0.09	2.29	0.11	2.19	0.10	2.12	0.15	2.66	0.13	2.38	0.18
Th	12.9	0.20	11.7	0.16	13.4	0.11	12.0	0.15	11.7	0.14	14.6	0.10	13.3	0.14
Al	7.86	0.08	6.50	0.15	7.34	0.10	6.41	0.12	6.33	0.13	7.64	0.10	7.70	0.11
Si	29.22	0.06	28.78	0.05	30.42	0.05	28.53	0.08	30.14	0.04	31.51	0.04	31.00	0.05
Na	1.03	0.28	1.09	0.22	1.00	0.15	1.21	0.17	1.11	0.14	0.91	0.17	0.77	0.29
Ca	1.69	0.71	3.87	0.36	1.40	0.64	3.85	0.28	2.79	0.20	0.76	0.44	0.71	1.01
Mg	1.02	0.30	1.26	0.16	1.09	0.15	1.37	0.16	1.26	0.12	0.84	0.24	0.87	0.35
C	0.63	0.50	1.18	0.32	0.67	0.46	1.14	0.28	0.95	0.24	0.62	0.43	0.40	0.85
TOC	0.25	0.60	0.22	0.49	0.38	0.57	0.25	0.47	0.31	0.54	0.44	0.67	0.30	0.69

注: X 为平均含量, Cv 为元素含量变异系数; Si、Al、Ca、Mg、K、Na、Fe、C、TOC 含量为%, Au 含量为 ng/g, 其余元素含量为  $\mu\text{g/g}$ ; 沂沭丘陵平原、徐淮黄泛平原、里下河浅洼平原、苏北滨海平原、长江三角洲平原、太湖水网平原、宁镇扬丘陵岗地参与统计样品数依次为 588、1383、814、932、754、793、854。

境和不同物质来源。这就牵涉到前面提到的要不要计算全省土壤元素地球化学基准值和如何求的问题,地球化学前辈们能依据实际情况发表的有关地壳的元素丰度<sup>[1-7]</sup>,而用 6 127 个均匀分布在全省的深层土壤样品获取江苏全省土壤地球化学基准值就更应该没有问题,最后只剩下怎么求的问题了。

包括上述《规范》在内,目前计算土壤地球化学基准值的一般方法是用剔除离散数据后的样品求得统计单元内的平均含量与标准离差(列表对比)即可,没有要求确定一个元素的基准值具体是多少?也没有要求限定每个元素基准值的变化范围。但《中国土壤元素背景值》一书<sup>[22]</sup>中除了报道全国土壤相关元素含量的平均值与标准离差外,还提供了各元素

95%以上样品的含量范围。而依据前面所论述的土壤地球化学基准值是自然环境土壤元素正常含量的统计结果、有一定变化范围的属性,参照地球化学前辈们发表地壳元素丰度都是一个具体含量的做法,本次采用 1 个元素推荐 1 个基准值,并约定一个基准值的变化范围求取了江苏全省土壤 53 个元素的地球化学基准值,具体做法是:

以上述 6 127 个样品中剔除异常数据后的统计结果(表 3)为依据,选取剔除后的各元素含量几何均值与算术均值的平均值作为江苏土壤元素含量基准值的推荐值,选择“推荐值 $\pm 1.5$  或 2 倍标准离差”作为各自基准值的可能变化范围,最终获得了全省土壤元素地球化学基准值(表 7)。对于其中所推荐

表 7 江苏省土壤元素地球化学基准值统计结果

Table 7 Statistical results of geochemical baselines of element contents in soils in Jiangsu Province

元素	几何均值	算术均值	标准离差	推荐基准	基准值范围	元素	几何均值	算术均值	标准离差	推荐基准	基准值范围
As	9.1	9.8	3.8	9.4	9.4 $\pm$ 7.6	Ag	0.08	0.08	0.02	0.08	0.08 $\pm$ 0.04
*Cd	0.08	0.09	0.04	0.085	0.085 $\pm$ 0.06	Sb	0.75	0.81	0.30	0.78	0.78 $\pm$ 0.6
*Hg	0.02	0.03	0.015	0.025	0.025 $\pm$ 0.022	Bi	0.27	0.29	0.09	0.28	0.28 $\pm$ 0.18
Pb	21.6	22.3	6.0	22.0	22.0 $\pm$ 12.0	F	538	547	16.4	542	542 $\pm$ 32.4
Cu	22.8	23.9	7.2	23.4	23.4 $\pm$ 14.4	*Cl	81	88	37.6	84	84 $\pm$ 56
Zn	64.1	65.6	15.1	64.8	64.8 $\pm$ 30.2	*Br	1.95	2.19	1.1	2.07	2.07 $\pm$ 1.6
Cr	75.1	76.2	3.0	75.6	75.6 $\pm$ 6.0	*I	1.87	2.13	1.0	2.00	2.00 $\pm$ 1.5
Ni	32.3	33.4	9.0	32.8	32.8 $\pm$ 18.0	Ga	16.0	16.2	2.8	16.1	16.1 $\pm$ 5.6
*Co	14.2	15.0	6.9	14.6	14.6 $\pm$ 10.4	Ge	1.33	1.33	0.13	1.33	1.33 $\pm$ 0.26
V	85.8	88.1	20.3	87.0	87.0 $\pm$ 40.6	Tl	0.61	0.62	0.10	0.62	0.62 $\pm$ 0.2
Ti	4539	4589	688	4564	4564 $\pm$ 1376	Sr	144	149	37	146	146 $\pm$ 74
*Mn	691	745	365	718	718 $\pm$ 548	Ba	508	519	125	514	514 $\pm$ 250
Fe	3.46	3.55	0.60	3.50	3.50 $\pm$ 1.20	La	39.7	40.1	1.6	39.9	39.9 $\pm$ 3.2
*Se	0.09	0.10	0.05	0.095	0.095 $\pm$ 0.075	Ce	77.0	78.5	18.8	77.8	77.8 $\pm$ 37.6
B	49.6	50.7	9.6	50.2	50.2 $\pm$ 19.2	Y	26.1	26.3	3.4	26.2	26.2 $\pm$ 6.8
N	426	460	179	443	443 $\pm$ 358	Sc	12.1	12.3	2.5	12.2	12.2 $\pm$ 5.0
P	500	525	152	512	512 $\pm$ 304	Zr	254	258	49	256	256 $\pm$ 98
K	1.83	1.86	0.3	1.84	1.84 $\pm$ 0.6	U	2.31	2.33	0.4	2.32	2.32 $\pm$ 0.8
*S	105	117	57	111	111 $\pm$ 86	Th	12.5	12.7	2.0	12.6	12.6 $\pm$ 4.0
Li	36.7	37.9	2.7	37.3	37.3 $\pm$ 5.4	Al	6.95	7.02	0.98	6.98	6.98 $\pm$ 1.96
Be	2.21	2.24	0.38	2.22	2.22 $\pm$ 0.76	Si	29.77	29.83	1.79	29.90	29.9 $\pm$ 3.58
Nb	16.2	16.4	0.14	16.3	16.3 $\pm$ 0.28	Na	0.99	1.03	0.25	1.01	1.01 $\pm$ 0.5
Rb	100.9	102.5	4.1	101.7	101.7 $\pm$ 8.2	*Ca	0.88	4.63	1.64	2.85	2.85 $\pm$ 0.246
W	1.81	1.84	0.35	1.82	1.82 $\pm$ 0.7	Mg	1.08	1.12	0.28	1.10	1.10 $\pm$ 0.56
Sn	2.21	2.24	0.38	2.22	2.22 $\pm$ 0.76	*C	0.76	0.86	0.40	0.81	0.81 $\pm$ 0.6
*Mo	0.49	0.52	0.20	0.50	0.50 $\pm$ 0.3	*TOC	0.24	0.27	0.13	0.26	0.26 $\pm$ 0.20
*Au	1.4	1.5	0.7	1.4	1.4 $\pm$ 1.0						

注: Si、Al、Ca、Mg、K、Na、Fe、C、TOC 含量为%, Au 含量为 ng/g, 其余元素含量为  $\mu$  g/g; “几何均值”、“算术均值”、“标准离差”取全省 6127 个深层土壤样品数据剔除异常值后的统计结果; “推荐基准”即本次新获得的各元素含量基准值、取剔除后样品几何均值与算术均值的平均含量; “基准值范围”取基准值 $\pm 1.5$  或 2 倍标准离差(带 \* 的元素均选择 $\pm 1.5$  倍, 其余皆选择 $\pm 2$  倍); Ca 几何均值取图 1 的最低平均含量, 算术均值取图 1 的最高平均含量, 推荐基准取图 1 的中间平均含量。

的各元素基准值变化范围,有的是选择推荐“基准值 $\pm 2$ 倍标准离差”,有的是选择推荐“基准值 $\pm 1.5$ 倍标准离差”,如: Cd、Hg、Co、Mn、Mo、Se、S、Au、Cl、Br、I、C、TOC、Ca 等选择“ $\pm 1.5$ 倍标准离差”,其余 38 个元素为“ $\pm 2$ 倍标准离差”。未统一选择“ $\pm 2$ 倍标准离差”,是因为有些元素若选择“ $\pm 2$ 倍标准离差”就会出现超出实际样品测试的含量范围(表 2),甚至会出现元素含量负值,这显然不符合实际情况,为了使每个元素基准值变化范围不超出 6127 个样品的实测数据范围,最终选取了“ $\pm 1.5$ 倍标准离差”来限定这些元素的基准值变化范围。

江苏土壤 Ca 含量分布很特殊,无法用正常剔除后的平均含量及标准离差(表 3)获得全省土壤基准值,特选择全部参加统计样品(6127 个)的元素含量分布统计数据求取基准值及其变化范围,其 3 个接近正态分布的直方图(图 1)峰区所统计的 3 个算术平均含量依次为 0.88%、2.85%、4.63%,取中间一个峰的数据平均含量 2.85%作为全省土壤推荐基准值,取 6127 个样品的标准离差 1.64 约定其基准值变化范围,具体选择“ $\pm 1.5$ 倍标准离差”来限定全省土壤 Ca 基准值变化范围(未选择 $\pm 2$ 倍标准离差也是为了确保基准值不超出实测含量范围)。

### 3.4 有关比较

将上述求取江苏全省土壤地球化学基准值的过程与上述《规范》做一对比,发现本次做法有以下几点特色:

(1)基于土壤地球化学基准值是自然土壤环境元素正常含量的统计结果、有一定的变化范围这一定义属性,采用给每个元素赋予一个具体的基准含量推荐值、并用标准离差的适当倍数限定了每个元素的基准值可能变化范围。确切讲,就是用剔除后的平均含量代表元素的基准值,用“平均含量 $\pm 2$ 倍或 1.5 倍标准离差”确定每个元素基准值的范围。

(2)基于全省土壤绝大部分元素含量分布不能满足正态分布的要求(不剔除异常样品没有一个元素满足)、因为全省土壤的物质来源及沉积环境远不止一种,采用剔除异常样品后最终各元素含量变异系数 $\leq 0.5$ 的形式确定每个元素的剔除数据范围,按照逐步剔除“平均含量 $\pm 2$ 倍标准离差”以外数据的方式,剔除掉有关离散数据,最后用变异系数 $\leq 0.5$ 的有效样品计算每个元素的平均含量(剔除后满足正态分布的 10 个元素全部符合变异系数 $\leq 0.5$ ),用

剔除后的几何平均值与算术均值的平均值表示每个元素的平均含量,因为全省土壤在不剔除时既不符合正态分布、也不符合对数正态分布,不知道哪个更能代表平均含量,为了最后所选用的平均含量更有代表性,采取了上述折中方法。用变异系数 $\leq 0.5$ 的方式确定参与基准值统计的有效样品,还有一个前提就是要保证最后参与统计的样品数能最大限度代表全省土壤,也就是要保证 6127 个深层土壤样品最后参与基准值统计的有效样品不得低于 90%。实际结果是除 Ca 例外,其余 52 个元素按照最后变异系数 $\leq 0.5$ 的剔除限定、被剔除掉的数据都在 612 个之内(最大剔除量 $< 10\%$ ),如 Hg 是被剔除最多的一个元素、剔除样品数为 587 个,参与计算基准值的有效样品超过了实测的 90%。

对于不剔除离散数据变异系数 $\leq 0.5$ 的元素,按照“平均含量 $\pm 2$ 倍标准离差”的范围剔除影响正态分布的异常数据、剔除到满足正态分布要求为止(Mg 等 10 个元素即如此);对于剔除前后变异系数都 $\leq 0.5$ 、又不满足正态分布的元素,仅按照平均含量 $\pm 2$ 倍标准离差的范围剔除掉对计算峰度、偏度最有影响的少量异常数据,剔除到各元素偏度、峰度最接近正态分布的限定值为止(P、Zn 等大部分元素都如此),此时剔除量一般都很小(不超过 1%)。

(3)基于基准值是代表土壤元素正常含量分布的客观存在,利用实测数据统计得到的基准值肯定存在一个含量范围、这个范围要尽量与正常样品的元素含量调查数据相吻合,“平均含量 $\pm 2$ 倍标准离差”是限定土壤元素正常含量变化的一般做法,也采用“平均含量 $\pm 2$ 倍标准离差”限定大多数元素基准值变化范围。对于 Cd、Hg、Se、Ca、Au 等 15 个元素,由于其偏离正态分布的样品太多、异常数据主要集中在特高含量范畴,特选择“平均含量 $\pm 1.5$ 倍标准离差”限定其基准值变化范围,这样做可以保证那些正常的实测低含量落入该范围内,又排除了出现土壤元素负含量的不可能事件,也能将不是基准值的高含量样品剔除在外。至于不能将 53 个元素的基准值变化范围都限定在“推荐值(平均含量) $\pm 1.5$ 倍标准离差”之间,是因为大部分元素含量的标准离差与平均含量相比只是很小一部分,只有“ $\pm 2$ 倍标准离差”才能有更符合实际的元素正常含量分布范围(不然将有一部分元素正常含量被排除在基准值之外),而且剔除离散点都是按照“平均含量 $\pm 2$ 倍标准离

差”的形式进行的,所以选择了上述 2 种确定全省土壤地球化学基准值变化范围的方式。

## 4 结 论

(1)以江苏全省深层土壤(150~200 cm 深度)6127 个样品的元素含量分布数据为基础,采用剔除后元素平均含量表征基准值、平均含量(推荐基准值) $\pm 1.5$  或 2 倍标准离差指示基准值变化范围的方式,新获得了江苏全省土壤 53 个元素的地球化学基准值,为当地土壤环境质量评价、第四纪研究、元素表生地球化学行为研究等提供了基础资料。因为全省土壤正常的元素含量都很难满足正态分布的要求,为了基准值的可靠性与实用性、权威性,总结或摸索了一些求取江苏省土壤地球化学基准值的新的方法,可供检验、参考。

(2)人为活动已经对江苏地表土壤的元素含量分布产生了显著影响,导致 Cd、Hg、Se、N 等元素在地表 20 cm 以上深度土壤中出现了显著富集<sup>[23]</sup>,建立土壤元素地球化学基准值必须剔除人为干扰。人为活动对第四纪沉积物元素地球化学行为的影响已经受到环境学家的高度关注,从矿业开发、农田施肥用药到汽车尾气排放等无不直接影响局部土壤环境的相关元素含量分布,近年来这方面的研究相当普遍<sup>[23-26]</sup>。随着人类活动对地表土壤环境的作用力度不断加大,越往后建立一个地区的土壤地球化学基准值的成本会逐渐增加。建立全省土壤地球化学基准值后,对进一步研究人为活动对江苏土壤环境的影响也提供了更有针对性的背景资料。

(3)成土母质、土壤成因类型、地貌以至大地构造背景的差异都是影响土壤环境元素含量分布的基本因素,成土母质的差异对土壤中元素含量分布的影响可以进一步追踪到风化成土的有关基岩,如基性火山岩分布区土壤的铁族元素背景含量远高于其它成土母质土壤。这些都是求取土壤地球化学基准值必须要考虑的要素,考虑得越充分、参与统计的样本代表性越全面,则所建立的土壤地球化学基准值越客观、真实。

(4)绝大多数元素在剔除异常数据前后的平均含量差异不明显。当元素含量满足不了正态分布要求时,为了求取可信的平均含量,选择元素含量变异系数 $\leq 0.5$ 也不失为一个有效办法。

致谢:参加该项研究工作的还有吴新民、黄顺生、

高孝礼、潘永敏、毕葵森、范迪富、冯金顺、仇慎平、汤志云、周泳德等,江苏省地质调查研究院、国土资源厅有关领导与专家给予了大力支持与指导关照,南京大学地学院蒋少涌教授给予了作者有益指教,中国地质大学(北京)余涛博士提供了重要帮助,谨一并诚致谢忱!

## 参考文献 (References):

- [1] Taylor S R. The abundance of chemical elements in the continental crust: a new table [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1964, 28: 1273-1285.
- [2] Lee Tan, Yao Chilung. Abundance of chemical elements in the Earth's crust and its major tectonic units [J]. *International Geology Review*, 1970, 12(7): 778-786.
- [3] 黎彤. 岩石圈及其结构层的元素丰度 [J]. *地质学报*, 1985, (3): 219-227.  
Li Tong. The abundance of chemical elements in the lithosphere and its structural layers [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1985, (3): 219-227 (in Chinese with English abstract).
- [4] 黎彤. 中国陆壳及其沉积层和上地壳的化学元素丰度 [J]. *地球化学*, 1994, 23(2): 140-145.  
Li Tong. Element abundances of China's continental crust and its sedimentary layer and upper continental crust [J]. *Geochimica*, 1994, 23(2): 140-145 (in Chinese with English abstract).
- [5] 黎彤, 倪守斌. 中国大陆岩石圈化学元素丰度 [J]. *地质与勘探*, 1997, 33(1): 31-37.  
Li Tong, Ni Shoubin. Element abundances of the continental lithosphere in China [J]. *Geology and Prospecting*, 1997, 33(1): 31-37 (in Chinese with English abstract).
- [6] 黎彤, 袁怀雨, 吴胜昔, 等. 中国大陆壳体的区域元素丰度 [J]. *大地构造与成矿学*, 1999, 23(2): 101-107.  
Li Tong, Yuan Huaiyu, Wu Shengxi, et al. Regional element abundances of continental crustobodies in China [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 1999, 23 (2): 101-107 (in Chinese with English abstract).
- [7] 倪守斌, 满发胜, 黎彤, 等. 新疆北部地区的大地化学背景 [J]. *地质科学*, 1999, 34(2): 177-185.  
Ni Shoubin, Man Fasheng, Li Tong, et al. On the tectonic geochemical background in northern Xinjiang [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1999, 34 (2): 177-185 (in Chinese with English abstract).
- [8] 黎明才, 迟清华, 顾铁新, 等. 中国火成岩化学元素的丰度与分布 [J]. *地球化学*, 1996, 25(5): 409-424.  
Yan Mingcai, Chi Qinghua, Gu Tie-xin, et al. Abundance and distribution of chemical elements of igneous rocks in China [J]. *Geochimica*, 1996, 25 (5): 409-424 (in Chinese with English abstract).
- [9] Koval P V, Burenkov E K, Golovin A A. Introduction to the

- program "Multipurpose geochemical mapping of Russia" [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1995, 55:115-123.
- [10] Darnley A G. International geochemical mapping: A review. Journal of Geochemical Exploration, 1995, 55:5-10.
- [11] 杨忠芳, 陈岳龙, 汪明启, 等. 地球化学填图的国际研究现状及建议[J]. 地球科学进展, 2002, 17(6):826-832.  
Yang Zhongfang, Chen Yuelong, Wang Mingqi, et al. The status of international geochemical mapping and suggestions to Chinese mapping [J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17 (6):826-832(in Chinese with English abstract).
- [12] 张德存, 张宏泰. 江汉平原多目标地球化学调查主要成果与意义[J]. 中国地质, 2001, 28(12):1-4.  
Zhang Decun, Zhang Hongtai. Main results and significance of multi-purpose geochemical survey in the Jianghan Plain [J]. Geology in China, 2001, 28 (12):1-4 (in Chinese with English abstract).
- [13] 赵琦. 成都市多目标地球化学调查和双层采样的效果[J]. 中国地质, 2002, 29(2):186-191.  
Zhao Qi. Multi-target geochemical survey and results of double-layer sampling in Chengdu City[J]. Geology in China, 2002, 29(2):186-191(in Chinese with English abstract).
- [14] 廖启林, 吴新民, 翁志华, 等. 南京地区多目标地球化学调查基本成果及其相关问题初探[J]. 中国地质, 2004, 31(1):70-77.  
Liao Qilin, Wu Xinmin, Weng Zhihua, et al. Basic results of multi-target geochemical survey of the Nanjing area and its relevant problems [J]. Geology in China, 2004, 31 (1):70-77(in Chinese with English abstract).
- [15] 唐文春, 张秀芝, 何玉生, 等. 成都盆地平原区浅层土壤 Cd、Pb、Zn 分布特征及其成因初探[J]. 地球化学, 2007, 36(1):89-97.  
Tang Wenchun, Zhang Xiuzhi, He Yusheng, et al. Distribution and origin of Cd, Pb and Zn in topsoils of plain region of Chengdu Basin [J]. Geochemica, 2007, 36 (1):89-97(in Chinese with English abstract).
- [16] 奚小环. 生态地球化学: 从调查实践到应用理论的系统工程[J]. 地球科学, 2008, 15(5):1-8.  
Xi Xiaohuan. Ecological geochemistry from a geochemical survey to an applied theory [J]. Earth Science Frontiers, 2008, 15(5):1-8 (in Chinese with English abstract).
- [17] 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社, 1997: 178-193.  
Zhao zhenhua. Geochemical Principles of Trace Elements [M]. Beijing: Science Press, 1997:178-193 (in Chinese).
- [18] 陈怀满. 土壤中化学物质的行为与环境质量[M]. 北京: 科学出版社, 2002:23-45.  
Chen Huaiman. Behavior of Chemicals in Soils and its Relation to Environmental Quality [M]. Beijing :Science Press, 2002:23-45 (in Chinese).
- [19] 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).
- [20] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990:93-493.  
Inspective Station of Environment of China. The Background Value of Soil Element in China [M]. Beijing: China Environment Science Press, 1990:93-493(in Chinese).
- [21] 杨学义. 南京地区土壤背景值与母质的关系[C]//刘卓澄编. 环境中若干元素的自然背景值及其研究方法. 北京: 科学出版社, 1982:16-20(in Chinese).  
Yang Xueyi. Relationship between soil background values and their parent materials in Nanjing[C]//Liu Zhuocheng (ed.). Natural Background Value of Elements in Environment and Its Research Methods. Beijing: Science Press, 1982:16-20(in Chinese).
- [22] 王崇云. 地球化学找矿基础[M]. 北京: 地质出版社, 1987:174.  
Wang Chongyun. The Basis of Geochemical Prospecting [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987:174(in Chinese).
- [23] 廖启林, 金洋, 吴新民, 等. 南京地区土壤元素的人为活动环境富集系数研究[J]. 中国地质, 2005, 32(1):141-147.  
Liao Qilin, Jin Yang, Wu Xinmin, et al. The artificial environmental concentration coefficient of elements from topsoil in Nanjing areas [J]. Geology in China, 2005, 32 (1):141-147 (in Chinese with English abstract).
- [24] Thibault Sterckeman, Francis Douay, Denis Baize, et al. Factors affecting trace element concentrations in soils developed on recent marine deposits from northern France [J]. Applied Geochemistry, 2004, 19:89-103.
- [25] Yang Shilun, Zhao Qingying, Belkin Igor M. Temporal variations in the sediment load of the Yangtze River and the influences of human activities [J]. Journal of Hydrology, 2002, 263:56-71.
- [26] Von Gunten H R, Sturm M, Moser R N. 200-years record of metals in lake sediments and nature background concentrations. Environmental Science and Technology, 1997, 31:2193-2197.

## Geochemical baseline values of elements in soil of Jiangsu Province

LIAO Qi-lin<sup>1</sup>, LIU Cong<sup>2</sup>, XU Yan<sup>3</sup>, JIN Yang<sup>1</sup>,  
WU Yun-zhao<sup>3</sup>, HUA Ming<sup>1</sup>, ZHU Bai-wan<sup>1</sup>, WENG Zhi-hua<sup>1</sup>

(1. Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, Jiangsu, China; 2. Jiangsu Department of Land and Resources, Nanjing 210029, Jiangsu, China; 3. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

**Abstract:** Geochemical baseline values of elements mean their normal concentrations within the natural environmental soils and belong to a kind of inherent chemical compositions and structural characteristics related to primitive matter. The whole 1:250 000 multi-target regional geochemistry survey of Quaternary sediments had been accomplished in Jiangsu Province by 2007, and a lot of geochemical data of soil samples were obtained. In this paper, data of 6 127 natural environmental soil samples containing total contents of 52 elements and total organic carbon (TOC) from Jiangsu were studied by statistical calculation, and the new geochemical baseline values about element contents in soil of Jiangsu are equivalent to the mean concentration  $\pm 1.5$  or 2 Std. Deviation of every element from the above stated 6 127 samples by eliminating abnormal data is reported. The 6 127 samples cover about 102 600 km<sup>2</sup> of the whole land of Jiangsu, and a soil sample per 16km<sup>2</sup> was measured at the chemical laboratory, with every measured sample consisting of 4 samples collected from a unit of 4 km<sup>2</sup> like a chessboard lattice, and all sampling depths being 150~200 cm or so. Some conclusions have been reached: First, most element contents are not in normal distribution, and the mean content from these elements does not change obviously after eliminating abnormal data. Second, anthropogenic input has apparently increased a part of contents of Cd, Hg, Se and N, etc. in topsoil above the depth of 20 cm, and it is necessary to exclude disturbance of anthropogenic activity to establish geochemical baseline value of soils. Third, parent matter, genetic classification of soils and topographic units are main factors affecting element content distribution within soil of Jiangsu, and the difference of normal concentrations of some elements are very obvious in soil of different areas. The information obtained by the authors will provide new clues and bases for assessing eco-environmental quality and establishing local standard of soil environment.

**Key words:** geochemical baseline; soil; Jiangsu Province

---

**About the first author:** LIAO Qi-lin, male, born in 1964, doctor and senior researcher, engages in the study of geochemistry and mineral deposit geology as well as eco-geochemistry; E-mail: liaoqilin64@jsoil.com.cn.