

山东省土壤地球化学基准值

庞绪贵,代杰瑞,董健,任天龙,喻超,刘华峰,王存龙,
王红晋,王增辉,赵西强,曾宪东,任文凯

(山东省地质调查院,山东 济南 250013)

摘要:自2003年开始,历时15余年,在山东省开展了深层土壤地球化学调查,基本查明了全省土壤地球化学基准值。深层土壤样品采样密度为1点/4 km²,16 km²组合成1件分析样,分析测试Ag,As,Au,B等54项指标;统计并研究了这些指标土壤地球化学参数,确定了山东省土壤地球化学基准值,为山东省基础地质研究及地质找矿与区划等提供了基础数据。

关键词:地球化学调查;深层土壤;基准值;基础数据;山东省

中图分类号:P595;X142

文献标识码:B

引文格式:庞绪贵,代杰瑞,董健,等.山东省土壤地球化学基准值[J].山东国土资源,2017,33(11):43-47.PANG Xugui, DAI Jierui, DONG Jian, etc. Soil Geochemical Reference Value in Shandong Province[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(11): 43-47.

0 引言

土地质量地质调查(也称生态地球化学调查)是一项基础性、公益性、战略性的地质调查与研究工作的。自2003年开始,历时15余年,山东省地质调查院组织实施了山东省黄河下游流域生态地球化学调查、山东省乐陵—河口地区多目标区域地球化学调查、山东省东部地区农业生态地球化学调查、山东省中南部地区农业生态地球化学调查。至此,实现了全省陆域范围1:25万土地质量地质调查工作全覆盖,取得了一批有影响意义的成果^[1-15],这些成果不仅对基本农田建设、土地资源保护、整治和开发利用,促进农业经济区划和种植结构调整,加快土壤保护治理和矿产资源勘查等具有重要现实意义,而且对城乡发展规划、改善人民的生存环境、提高人民的健康水平、保障社会经济的可持续发展具有深远的战略意义。

1 概述

1.1 自然地理与经济

山东省位于中国东部沿海、黄河下游,滨临渤海、黄海;境域包括半岛和内陆两部分,内陆之北、西、南三面分别与河北、河南、安徽、江苏省接壤,海上北隔老铁山水道与辽宁省、东隔黄海与朝鲜半岛相望。地貌以山地、丘陵和平原为主,中部山地突起,东部丘陵散布,宽谷平原错列于山地丘陵之间,北及西部平原坦荡低下。水系比较发育,河流分属于海河水系、黄河水系、淮河水系及直接注入渤海和黄海的其他河流。湖泊集中分布在鲁中南山丘区与鲁西南平原之间的鲁西湖带。气候属暖温带季风气候类型。年平均气温11.5~14℃,平均降水量550~950 mm。适宜的气候为区内农业发展提供了优越自然条件,农业生产稳步发展,粮食作物以小麦、玉米、甘薯为主,经济作物以棉花、烟叶、花生、蔬菜为

收稿日期:2017-09-03;修订日期:2017-09-05;编辑:陶卫卫

基金项目:国土资源大调查专项“山东省黄河下游流域生态地球化学调查”(1212010310306);全国土壤现状调查及污染防治专项“山东省乐陵-河口地区多目标区域地球化学调查”(GZTR20060104);山东省地质勘查专项“山东省东部地区农业生态地球化学调查”(鲁国土资字[2006]709号)、“山东省中南部地区农业生态地球化学调查及全省总结”(鲁国土资字[2011]1184号)资助

作者简介:庞绪贵(1962—),男,山东五莲人,研究员,从事地球物理地球化学勘查技术应用研究和管理工作的;E-mail:sdsddygc@sohu.com

主。山东为全国主要水果、蔬菜产地省份之一,烟台苹果、莱阳梨、肥城桃和寿光的蔬菜等全国闻名。沿海水产亦较发达,水产养殖已形成产业,远洋渔业生产亦具相当规模。

1.2 地质概况

山东省地处华北板块东南缘和扬子板块东端。地层除志留纪和泥盆纪地层缺失外,自中太古界至第四系均有出露,地层分区性明显;侵入岩自中太古代至新生代均有出露,以新太古代、新元古代和中生代侵入岩分布最广,岩石类型以中酸性岩类为主;区域构造复杂,以沂沭断裂带、五莲断裂、牟平—即墨断裂带为界划分为华北板块和扬子板块2个构造单元,断裂构造发育,区域性分划性断裂有牟平—即墨断裂、五莲断裂、沂沭断裂带、聊城—兰考断裂、齐河—广饶等断裂。矿产资源丰富,能源、黑色金属、有色金属、贵金属、稀有金属、稀土金属、非金属等矿种均有分布。

1.3 土壤类型

按岩石的地质成因及沉积形成,山东省成土母质可分为残坡积物母质、洪冲积物母质、冲积物母质、湖积物母质、海相沉积物母质、风积物母质、黄河冲积物母质、黄土母质等8种类型。根据全国土壤普查暂行技术规程和《山东省第二次土壤普查土壤工作分类暂行方案》,山东省土壤类型分为15个土类,分别是:棕壤、褐土、红粘土、风沙土、火山灰土、石质土、粗骨土、砂姜黑土、山地草甸土、潮土、盐土、滨海盐土、碱土、水稻土、新积土。按各自的发育程度、附加成土过程和土壤属性进一步细分为39个亚类,86个土属,258个土种^[16]。

2 工作方法

2.1 样品采集

土壤地球化学基准值样品采集150~200 cm 深层土壤,样点布设采用网格法,布置在农用大田、菜地、果园、林地等,避开存在人为污染和搬运的堆积土,使组合的分析样能反映采样单元主要土壤地球化学特征的前提下,采样点尽可能布设在采样单元格中央。土壤地球化学基准值样品采样密度为1点/4 km²,采样深度为150~200 cm。采集的土壤样品过20目筛,并按4个相邻网格样品组合成一件样品进行分析,土壤地球化学基准值样品组合样密度

为1件/16 km²,组合样送样重量为200 g。山东省共分析土壤地球化学基准值组合样品10 083件^[17-23]。

2.2 测试元素与指标

依据中国地质调查局地质调查技术标准《多目标区域地球化学调查规范(1:25万)》的规定,土壤地球化学基准值样品分析测试Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, C, Cd, Ce, Cl, Co, Cr, Cu, F, Ga, Ge, Hg, I, La, Li, Mn, Mo, N, Nb, Ni, P, Pb, Rb, S, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, OrgC, pH值等54项指标^[24]。全省土壤地球化学基准值参数统计见表1。

样品测试由武汉综合岩矿测试中心承担,采用等离子体发射光谱法、X射线荧光光谱法、发射光谱法、原子荧光光谱法、石墨炉原子吸收法、离子选择性电极法、催化极谱法、化学发射光谱法等配套方法测试。样品测试质量由中国地质调查局区域地球化学分析质量监督检查组进行监控,采用了标准样、密码样、监控样等多种监控手段,保证了样品分析质量的可靠性。

2.3 基准值计算方法

土壤地球化学基准值的求取,首先对取得的深层土壤全量54项指标分析数据进行整理,分离出采样点数据,依据《数据的统计处理和解释正态性检验》(GB/T4882-2001),在置信度 $\alpha = 0.05$ 水平下,采用峰度、偏度法对数据频率分布形态进行正态检验。当统计数据服从正态分布时,用算术平均值(\bar{X})代表基准值;服从对数正态分布的数据,用几何平均值(X_g)代表基准值。不服从正态分布的数据,按照算术平均值加减3倍算术标准偏差($\bar{X} \pm 3S$)或几何平均值乘除几何标准偏差($X_g \cdot S^{\pm 3}$)的立方进行剔除,经反复剔除后服从算术正态分布或对数正态分布时,用剔除后的数据算术平均值或几何平均值代表土壤基准值,经反复剔除后仍不满足正态分布或对数正态分布,当呈偏态分布时,以剔除后数据众值(X_{md})或算数平均值(\bar{X})代表基准值;当呈双峰或多峰分布时,以剔除后数据中位值(X_{me})或平均值(\bar{X})代表基准值。依据实际情况,采用算术平均值加减2倍(少部分为1.5倍)标准偏差或几何平均值乘除几何标准偏差的平方(少部分为1.5次方)代表基准值的变化范围,未统一选择“ ± 2 倍标准离

差”,是因为有些元素若选择“±2 倍标准离差”就会 素含量负值,这显然不符合实际情况。出现超出实际样品测试的含量范围,甚至会出现元

表 1 深层土壤地球化学含量特征参数

指标	原始数据			数据分布形态检验后统计值				全国土壤 C 层	
	平均值(X_0)	离差(S_0)	变异系数(C_0)	样本数(n)	基准值(X)	离差(S)	基准值范围		分布类型
Ag	0.063	0.043	0.69	9896	0.059	1.278	0.036~0.096	对数正态	
As	8.9	3.7	0.41	9932	8.7	3.1	2.6~14.9	偏态	11.5
Au	1.73	3.57	2.06	9747	1.54	0.43	0.68~2.39	偏态	
B	41.8	15.8	0.38	10027	41.4	15.0	11.5~71.4	偏态	
Ba	645	294	0.46	8982	564	132	299~829	偏态	
Be	2.01	0.39	0.19	9866	1.99	0.31	1.37~2.61	偏态	
Bi	0.24	0.10	0.40	9897	0.24	0.07	0.10~0.38	偏态	
Br	4.02	4.46	1.11	9184	3.09	1.21	0.67~5.52	偏态	
C*	0.87	0.57	0.66	10015	0.86	0.53	0.07~1.66*	双峰	
Cd	0.096	0.043	0.45	9859	0.092	0.031	0.031~0.154	偏态	0.084
Ce	70.9	19.2	0.27	9547	68.3	11.9	44.6~92.0	偏态	
Cl	415	1468	3.54	8272	97	54	16~178*	偏态	
Co	13.0	4.8	0.37	9732	12.5	3.5	5.5~19.4	偏态	13.4
Cr	65.2	23.7	0.36	9614	62.6	13.6	35.4~89.8	偏态	60.8
Cu	22.0	10.3	0.47	9849	21.3	6.3	8.8~33.8	偏态	23.1
F	520	145	0.28	9781	508	106	295~720	偏态	507
Ga	16.09	2.78	0.17	10047	16.08	2.72	10.63~21.53	偏态	
Ge	1.32	0.18	0.14	9979	1.32	0.17	0.98~1.65	偏态	
Hg	0.019	0.035	1.81	9544	0.016	0.005	0.005~0.027	偏态	0.044
I	2.00	1.46	0.73	9989	1.76	1.54	0.74~4.17	对数正态	
La	36.05	10.00	0.28	9478	34.66	5.46	23.74~45.59	偏态	
Li	31.60	9.11	0.29	9951	31.29	8.23	14.84~47.75	偏态	
Mn	657	348	0.53	9395	590	154	282~898	偏态	597
Mo	0.60	0.36	0.60	9688	0.57	0.15	0.27~0.86	偏态	
N	0.039	0.017	0.42	9628	0.037	0.012	0.019~0.055*	偏态	
Nb	13.9	2.7	0.20	9621	13.6	1.6	10.3~16.9	偏态	
Ni	29.3	12.5	0.43	9734	27.9	7.5	13.0~42.9	偏态	28.6
P	510	206	0.40	9845	492	154	183~800	偏态	
Pb	22.4	9.6	0.43	9730	21.4	4.5	12.4~30.4	偏态	24.7
Rb	96.6	17.1	0.18	9804	95.5	14.2	67.1~123.9	偏态	
S	151	117	0.78	9535	134	41	51~217	偏态	
Sb	0.81	0.49	0.61	9948	0.79	0.25	0.29~1.29	偏态	
Se	10.5	2.6	0.24	9913	10.5	2.3	5.8~15.1	偏态	
Se	0.10	0.04	0.43	9759	0.10	0.03	0.04~0.16	偏态	0.25
Sn	2.6	0.7	0.27	9935	2.5	0.5	1.4~3.6	偏态	
Sr	216	88	0.41	9328	197	47	104~290	偏态	
Th	11.3	4.4	0.39	9607	10.8	2.3	6.1~15.4	偏态	
Ti	3756	681	0.18	9715	3745	490	2765~4726	偏态	
Tl	0.61	0.11	0.18	9870	0.60	0.09	0.41~0.79	偏态	
U	2.14±	0.56	0.26	9847	2.12	0.42	1.28~2.96	偏态	
V	79.1	18.6	0.24	9899	78.7	16.3	46.1~111.4	偏态	84.3
W	1.56	0.55	0.36	9895	1.53	0.35	0.83~2.24	偏态	
Y	23.1	3.6	0.16	9806	23.2	2.9	17.3~29.1	偏态	
Zn	59.7	19.1	0.32	9855	58.6	12.9	32.7~84.4	偏态	71.1
Zr	251	62	0.24	9865	247	47	153~342	偏态	
Al ₂ O ₃	13.19	1.77	0.13	10058	13.20	1.74	9.71~16.68	偏态	
CaO	3.62	2.32	0.64	10057	3.59	2.25	1.34~5.84*	双峰	
MgO	1.61	0.59	0.37	9944	1.58	0.48	0.62~2.54	正态	
K ₂ O	2.45	0.40	0.16	9789	2.42	0.34	1.74~3.10	偏态	
Na ₂ O	2.01	0.55	0.27	9977	2.00	0.52	0.95~3.04	偏态	
SiO ₂	62.75	4.50	0.07	9880	62.75	1.07	54.81~71.84	对数正态	
TF _{e2} O ₃	4.45	1.08	0.24	9909	4.36	1.25	2.79~6.81	对数正态	
OrgC	0.29	0.19	0.64	9521	0.26	0.12	0.02~0.50	偏态	
pH	7.98	0.80	0.10	9936	8.01	0.75	6.51~9.52	偏态	

注:深层土壤原始数据量为 10083 件;含量单位 C,N,OrgC 和氧化物为 10⁻²;Au 为 10⁻⁹;pH 无量纲,其余为 10⁻⁶。基准值范围带 * 的元素选择基准值±1.5 倍离差,其余皆选择±2 倍离差。

在进行 pH 值参数统计时,先将土壤 pH 值换算成 $[H^+]$ 平均浓度进行统计计算,然后再换算成 pH 值,其公式为: $[H^+] = 10^{-pH}$, $[H^+]_{\text{平均浓度}} = \sum 10^{-pH_n} / n$, $pH = -\lg[H^+]_{\text{平均浓度}}$ 。

3 主要成果

3.1 基准值的概念与意义

土壤地球化学基准值^[25-33]指未受人类活动影响的,反映土壤原始沉积环境(第 I 环境)的地球化学元素含量,即地质意义上(自然条件下)的地球化学背景特征,也称为土壤元素本底值,以深层土壤地球化学调查元素含量表征。其控制因素主要是地质背景、沉积物来源和类型,以及地貌气候条件等。它是研究表生元素地球化学行为(次生富集或贫化)的重要参比值,也是评判表层土壤污染程度(此处“污染程度”特指相对于原始地球化学背景含量)的重要依据,是圈定矿致元素异常、评价土壤元素丰缺、成土母质环境质量、农产品品质与安全性及防治对策等研究的基本参考值。

3.2 土壤地球化学基准值

(1)全省深层土壤大多数元素含量数据不服从正态分布。除 Cl, Ba 外,所有元素剔除异常数据均未超过总样品数的 10%,仅有 MgO 满足正态分布, Ag, I, Fe₂O₃, SiO₂ 等 4 指标满足对数正态分布检验标准,除 Mn, Au, S, Ba, Hg, Br, Cl, OrgC 等少部分元素(指标)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。

(2)全省土壤基准值与中国土壤元素平均值(C 层,仅 13 项指标)相比,Zn, Pb 偏低, Hg, Se, As 明显偏低,比值在 0.36~0.76 之间,这说明区域原始土壤中 Pb, Hg, As 等元素环境质量较好,但同时也说明 Se, Zn 等微量营养元素总量不足, Se 仅为全国的 40%, Zn 仅为全国的 82%。其余 Cu, Co, V, Ni, Mn, F, Cr, Cd 等元素与全国土壤平均值(C 层)较为接近,比值在 0.92~1.10 之间。

(3)土壤中绝大部分元素的含量分布较均匀,区域变幅较小,变异系数小于 0.40,尤其 Ge, Y, Ga, Rb, Ti, Tl, Be, pH, SiO₂, Al₂O₃, K₂O 等元素(指标)变异系数在 0.07~0.19 的范围内,反映了土壤在长期历史中均匀演化作用的特征。元素基准值变幅

较大的元素主要为 Cd, Ba, Cu, Mn, Mo, Sb, CaO, C, Ag, I, S, Br, Hg, Au, Cl, OrgC, 其变异系数大于或等于 0.40; Au, Cl 元素的变化最大,其变异系数大于 2.0;一般来说元素基准含量的变化主要受成土母质及各成土因素的影响。

4 结论

通过对山东省土壤地球化学基准值统计分析研究,确定了山东省 54 项指标土壤地球化学基准值,这些成果为地方政府改善生态环境,进行农业区划、环境保护、国土资源管理、地方病防治等领域提供了基础地球化学资料和科学依据。

参考文献:

- [1] 庞绪贵,高宗军,王敏,等.鲁西北平原典型生态区地质地球化学环境研究[M].北京:地质出版社,2013:1-30.
- [2] 庞绪贵,高宗军,王敏,等.鲁西北平原特色农产品产地生态地质地球化学环境研究[M].北京:地质出版社,2013:1-20.
- [3] 庞绪贵,代杰瑞,曾宪东,等.鲁东地区农业生态地球化学研究[M].北京:地质出版社,2014:1-50.
- [4] 庞绪贵,王晓梅,代杰瑞,等.济南市大气降尘地球化学特征及污染源研究[J].中国地质,2014,41(1):285-293.
- [5] 代杰瑞,祝德成,庞绪贵,等.济宁市近地表大气降尘地球化学特征及污染来源解析[J].中国环境科学,2014,34(1):40-48.
- [6] 刘华峰,王增辉,庞绪贵,等.巨野县浅层地下水环境质量评价与成因分析[J].安全与环境工程,2014,21(5):1474-1476.
- [7] 庞绪贵,王晓梅,喻超,等.山东省生态地球化学调查与评价综述[J].山东国土资源,2013,29(9):10-15.
- [8] 王红晋,庞绪贵,何玉海,等.临沂地区浅层地下水环境质量评价与分析[J].安徽农业科学,2014,42(5):1474-1476.
- [9] 庞绪贵,祝德成,代杰瑞,等.山东半岛蓝色经济区土壤中元素的分布与富集研究[J].安徽农业科学,2013,41(28):11363-11367.
- [10] 喻超,智云宝,代杰瑞,等.山东省威海市区域地质背景下土壤 Cd 的地球化学特征[J].物探与化探,2014,38(5):109-114.
- [11] 代杰瑞,郝兴中,庞绪贵,等.典型土壤环境中重金属元素的形态分布和转化——以山东烟台为例[J].矿物岩石地球化学通报,2013,32(6):713-719.
- [12] 庞绪贵,高宗军,边建朝,等.山东省黄河下游流域地方病与生态地球化学环境相关性研究[J].中国地质,2010,37(3):824-830.
- [13] 代杰瑞,庞绪贵,刘华峰,等.山东省东部地区农业生态地球化学调查及其生态问题浅析[J].岩矿测试,2012,31(1):189-197.
- [14] 庞绪贵,王红晋,高宗军,等.山东烟台市土壤中有机氯农药的分布特征[J].物探与化探,2011,35(5):671-674.

- [15] 代杰瑞, 庞绪贵, 宫玉鑫, 等. 山东威海农业生态地球化学调查与评价[J]. 地质通报, 2010, 29(9): 1391-1398.
- [16] 阎鹏, 徐世良, 曲克健, 等. 山东土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 54-63.
- [17] 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.
- [18] 廖启林, 吴新民, 瓮志华, 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.
- [19] 周娟, 王仁卿, 郭卫华, 等. 寿光大棚蔬菜生产基地土壤地球化学元素调查[J]. 环境化学, 2013, 32(6): 1100-1101.
- [20] 庞绪贵, 战金成, 宋海林, 等. 山东黄河下游地区局部生态地球化学评价方法与技术[J]. 山东国土资源, 2006, 22(5): 28-33.
- [21] 庞绪贵, 陈长峰, 李秀章, 等. 鲁北小清河流域土壤中元素分布特征及环境质量评价[J]. 地质通报, 2005, 24(2): 160-164.
- [22] 庞绪贵, 姜相洪, 战金成, 等. 山东黄河流域下游土壤粒度和深度试验成果[J]. 地质通报, 2005, 24(8): 767-771.
- [23] 庞绪贵, 王君亭, 战金成, 等. 山东黄河下游区域生态地球化学评价方法技术探讨[J]. 山东国土资源, 2005, 21(9): 35-39.
- [24] 中国地质调查局. 多目标区域地球化学调查规范(1:25万) (DD2005-1)[S]. 2005.
- [25] 魏复盛, 陈静生, 吴燕玉, 等. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 1-91.
- [26] 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): 161-167.
- [27] 庞绪贵, 高宗军, 刘中业, 等. 沾化冬枣产地的土壤地质地球化学背景研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 1081-1084.
- [28] 代杰瑞, 庞绪贵, 喻超, 等. 山东省东部地区土壤地球化学基准值与背景值及元素富集特征研究[J]. 地球化学, 2011, 40(6): 577-587.
- [29] 庞绪贵, 李肖鹏, 王炳华, 等. 山东黄河冲积平原区土壤地球化学特征[J]. 山东国土资源, 2008, 24(11): 26-29.
- [30] 王世进, 庞绪贵, 战金成, 等. 山东省黄河下游流域生态地球化学调查主要成果[J]. 山东国土资源, 2008, 24(11): 21-25.
- [31] 代杰瑞, 崔元俊, 庞绪贵, 等. 山东省东部地区农业生态地球化学调查与评价[J]. 山东国土资源, 2011, 27(5): 1-7.
- [32] 庞绪贵, 代杰瑞, 徐春梅, 等. 平阴县土壤地球化学基准值与背景值研究[J]. 山东国土资源, 2008, 24(1): 21-25.
- [33] 庞绪贵, 曹秀华, 代杰瑞, 等. 山东省平阴县土壤地球化学元素含量特征与污染评价[J]. 上海地质, 2011, 31(增刊): 114-132.

Soil Geochemical Reference Value in Shandong Province

PANG Xugui, DAI Jierui, DONG Jian, YU Chao, LIU Huafeng, WANG Cunlong, WANG Hongjin, WANG Zenghui, ZHAO Xiqiang, ZENG Xiandong, REN Wenkai

(Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China)

Abstract: Since 2003, deep soil geochemical survey has been carried out in Shandong province for more than 15 years. The soil geochemical reference value of the whole province has been basically identified. Deep soil sampling density is $1/4\text{km}^2$, and one sample has been formed within the scope of 16km^2 . 54 indicators, such as Ag, As, Au, B, etc have been analyzed and tested. Statistics and study on these indexes of soil geochemical parameters have been carried out, and the soil geochemical reference value in Shandong province has been determined. It will be basic data for basic geology study, geological prospecting and zoning.

Key words: Geochemical survey; deep soil; reference value; basic data; Shandong province