

环境地质

## 山东半岛蓝色经济区土壤地球化学基准值与背景值

庞绪贵<sup>1</sup>, 陈钰<sup>2</sup>, 刘汉栋<sup>1</sup>, 代杰瑞<sup>1</sup>, 董健<sup>1</sup>, 陈磊<sup>1</sup>, 李肖鹏<sup>1</sup>

(1. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 2. 山东省国土测绘院, 山东 济南 250102)

**摘要:**山东半岛蓝色经济区土壤地球化学调查是按 1 km<sup>2</sup> 采集 1 件表层土壤样品, 4 km<sup>2</sup> 组合成 1 件分析样品, 4 km<sup>2</sup> 采集 1 件深层土壤样品, 16 km<sup>2</sup> 组合成 1 件分析样品, 测试 Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, C 等 54 项指标。对这些指标的地球化学基准值和背景值进行研究, 认为表层、深层土壤中除与金及多金属成矿作用有关的 Ag, Au, Hg, Mo, S, Sb 等元素和 Cl, Br, I 等卤族元素空间变异性大外, 大部分元素分布均匀, 且表层土壤与深层土壤元素分布具有相似性。统计了青岛、东营、烟台、潍坊、日照、威海等 6 市的土壤地球化学基准值和背景值, 发现 6 市绝大部分元素基准值和背景值相对稳定, 与半岛蓝色经济区基本一致, 仅部分指标基准值和背景值变化较大; 各市土壤地球化学基准值主要受地质背景控制, 而土壤地球化学背景值主要受地质背景和后期人类活动等多层因素控制。

**关键词:**土壤; 地球化学; 环境质量; 基准值; 背景值; 山东半岛蓝色经济区

**中图分类号:** X8; P59

**文献标识码:** B

山东半岛是我国最大的半岛, 山东半岛蓝色经济区范围包括山东全部海域和青岛、东营、烟台、潍坊、威海、日照 6 市及滨州市的无棣、沾化 2 个沿海县所属陆域, 海域面积 15.95 万 km<sup>2</sup>, 陆域面积 6.4 万 km<sup>2</sup>。地形地貌东部半岛大部是起伏和缓、谷宽坡缓的波状丘陵, 为鲁东丘陵区; 北部是黄河冲积而成的平原, 是华北平原的一部分, 为鲁西北平原区<sup>[1]</sup>。区内土地利用类型齐全, 涵盖耕地、林地、城镇村及工矿用地、园地等 8 个一级类, 其中, 耕地和林地是山东半岛蓝色经济区土地利用的两个主要类型, 分别占土地总面积的 80.43% 和 9.09%。耕地主要分布在河流的冲洪积平原、山前平原及广大低丘陵区; 林地主要分布于低山区、丘陵区及河漫滩地区; 城镇村及工矿用地居三, 占 2.76%, 园地居四, 占 2.50%; 其余 4 类土地仅占土地总面积的 5.22%。区内交通十分便利。

山东半岛蓝色经济区是山东省经济发达的地区, 近年来, 随着工业化、城镇化及农业产业化进程的快速发展, 区内生态地质环境不断恶化, 其中, 土

壤环境污染和农产品安全问题一直是制约山东半岛蓝色经济区发展的重要问题, 影响了区内农业生产、农产品和居民健康安全, 导致部分农产品重金属元素含量超标, 破坏了人类赖以生存的环境, 直接危及到人们的生活环境和身心健康, 影响了地区社会经济可持续发展。农作物的生长与土壤中地球化学元素密切相关, 开展山东半岛蓝色经济区土壤地球化学调查, 从土壤中地球化学元素分布入手, 研究土壤中地球化学元素背景含量及有益和有害元素的迁移、转化和富集规律, 对山东半岛蓝色经济区农业布局与农产品安全具有重要意义。

## 1 地质背景与土壤

### 1.1 地质背景

区内以沂沭断裂带、郝官庄-山相家断裂及即墨-牟平断裂为界, 跨 2 个 I 级构造单元, 断裂西北为华北陆块, 东南为苏鲁造山带; 以齐广断裂、沂沭断裂带、郝官庄-山相家断裂及即墨-牟平断裂为界, 自西向东划分为华北拗陷、鲁西隆起、鲁东隆起

收稿日期: 2013-12-27; 修订日期: 2014-04-24; 编辑: 曹丽丽

基金项目: 中国地质调查局《山东省黄河下游流域多目标区域地球化学调查》(编号 200314200023) 和山东省地质勘查《山东省东部地区农业生态地球化学调查》(编码: 鲁国土资字[2006]709) 项目部分成果

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

和胶南-威海隆起4个Ⅱ级构造单元<sup>[2]</sup>。区内地层出露规模大,约占调查区总面积的70%,以中生界为主,次为新生界第四系,太古宇、元古宇及古生界少量出露。构造处在华北陆块和苏鲁造山带接合带,由于受板块与板块间的碰撞期后地质作用影响,使早先形成的EW向展布的地质体,沿着NE向断裂左旋平移,使其区域构造线整体呈NE向展布,区内构造形迹以断裂构造为主,褶皱构造不明显。岩浆岩分布广,类型多,从元古宙、中生代到新生代都有岩浆活动踪迹,其岩性从基性—中性—酸性—偏碱性均有分布,产状有岩基、岩株、岩脉和潜火山岩等。

## 1.2 成土母质及土壤

成土母质又称土壤母质,是指地表岩石经风化作用使岩石破碎形成的松散碎屑,物理性质改变,形成疏松的风化物,是形成土壤的基本的原始物质,是土壤形成的物质基础和植物矿物养分元素的最初来源。因此,成土母质对母岩有很好的继承性。成土母质又是形成土壤的物质基础,对于土壤的形成和发育具有重要的意义,在一定的生物、气候条件下,成土母质的差异性往往成为土壤分异的主要因素。按岩石的地质成因及沉积形成,调查区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、风积物母质等类型。

据山东省第二次土壤普查制定的土壤分类方案,区内土壤分棕壤、褐土、风沙土、火山灰土、石质土、粗骨土、砂浆黑土、山地草甸土、潮土、盐土、滨海盐土、水稻土等。依其各自的发育程度、附加成土过程和土壤属性,可进一步分为棕壤、白浆化棕壤、潮棕壤、棕壤性土、褐土、石灰性褐土、溶淋褐土、潮褐土、褐土性土、草甸风沙土、火山灰土、酸性石质土、中性石质土、钙质石质土、中性粗骨土、酸性粗骨土、钙质粗骨土、砂浆黑土、石灰性砂浆黑土、山地草甸土、潮土、脱潮土、湿潮土、盐化潮土、碱化盐土、滨海盐土、滨海潮滩盐土、淹育水稻土等28个亚类<sup>[3]</sup>。

## 2 样品的采集与测试

### 2.1 样品采集

样品采集包括表层和深层土壤,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了采样单元格中央。野外采样前在室内把采样点标绘在1:5万地形图上,使用便携式GPS并结合地形图定点,表层样由多个子样组成,GPS定点标绘在中心子样点的位置,深层样采集一个子样,每一采样点都用喷漆在明显的固定物上作了固定标记。表层土壤样品采样密度为1点/km<sup>2</sup>,采样深度0~20cm;深层土壤样品采样密度为1点/4km<sup>2</sup>,采样深度一般达到150~200cm,在低山丘陵区采样深度150cm以下。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,表层土壤组合样为1件/4km<sup>2</sup>,深层土壤组合样为1件/16km<sup>2</sup>,组合样送样重量为200g<sup>[4]</sup>。

### 2.2 测试元素与指标

表层、深层土壤测量元素或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,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,SiO<sub>2</sub>,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,MgO,CaO,Na<sub>2</sub>O,K<sub>2</sub>O,Corg,pH值等54项指标<sup>[5]</sup>。样品测试单位为武汉综合岩矿测试中心。

### 2.3 测试质量评述

表层和深层土壤分析平均报出率为99.98%,单项指标报出率均大于97%,单项指标报出率(规定不低于90%)和平均报出率(规定不低于98%)均达到了规范要求。分析的准确度( $\Delta\lg C$ )和精密度( $\lambda$ )是用国家一级标准物质(GBW)进行检验。每批样品(43件)中插入8件标准物质,用其标准物质的标准值来衡量分析方法的精密度和准确度。经统计土壤元素分析准确度( $\Delta\lg C$ )最大0.10,精密度( $\lambda$ )最大0.15,符合规范要求 $\Delta\lg C \leq 0.10, \lambda \leq 0.17$ 的要求,合格率为100%。每批样品(43件)中插入1件重复样,2件重复分析样,以检验重复分析质量,计算原始分析与重复检验数据之间相对偏差(RD): $RD = [|A - B| / 2(A + B)] \times 100\%$ , $RD \leq 40\%$ 为合格,经统计重复分析合格率除Au元素为86.7%(规范要求Au元素大于85%)外,其他元素均大于95%,符合规范要求。样品测试结果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了验

收,评定为优秀。以上结果说明土壤样品分析结果达到了《多目标区域地球化学调查规范(1:25 万)》中对样品测试质量的要求。

## 2.4 数据统计

对取得的表层土壤、深层土壤全量 54 元素或指标分析数据进行整理,分离出采样点数据、重复样数据和质量监控样数据,再对每个采样点赋以高斯-克吕格坐标,形成全区的地球化学数据,然后转换成全区单元素或指标地球化学网格化数据。利用 MapGIS 等软件进行空间分析,进一步为每个点赋以行政区划等属性,进行地球化学参数统计分析。

全区统计采用 Excel 电子表格工具栏内的数据分析功能,运用各参数计算方法进行统计。不同单元统计,首先编制各统计单元分布图,应用 MapGIS 空间分析功能,分别按照单元区域范围提取需进行统计的数据,建立单元子区文件,分别进行参数统计。地球化学参数统计内容包括:样品数、最小值、最大值、中位数、算术平均值、几何平均值、标准离差、变异系数、异常下限等。

## 3 主要成果

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,它们分别代表了不同环境土壤中元素含量水平和变化规律<sup>[6-10]</sup>。表层、深层土壤是在同一成土母质基础上发育而成,土壤地球化学含量特征具一致性,但表层土壤在成土过程中,受自然风化淋滤作用和人为扰动如后期工业“三废”、增施肥料、污灌和农药等因素影响,使其含量特征产生明显差异<sup>[11-14]</sup>。

### 3.1 土壤地球化学基准值

土壤地球化学基准值是指未受到人类活动影响和环境污染的原始自然状态条件下各类成土母质的元素地球化学丰度,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。山东半岛蓝色经济区深层土壤基准值是指以深层(采样深度 150~200 cm)土壤地球化学元素分析数据为基础,按统计单元剔除离群数值后所获得的土壤元素含量平均值(表 1)。

(1)与全国土壤丰度值<sup>[15]</sup>对比(收集到 13 项指标),区内深层土壤大部分指标基准值与全国土壤丰度值相当,偏低的元素有 Cu, V, Pb, Co, 明显低的元

表 1 山东半岛蓝色经济区土壤地球化学基准值统计

指标	青岛	东营	烟台	潍坊	日照	威海	全区	全省	全国
Ag	0.058	0.054	0.058	0.059	0.058	0.055	0.058	*	*
As	7.5	9.2	6.0	8.1	5.8	4.6	7.80	9.3	11.5
Au	1.44	1.37	1.56	1.46	1.14	1.40	1.44	*	*
B	28.9	50.2	27.2	38.5	23.5	19.5	35.5	*	*
Ba	809	464	846	573	1020	1083	708	*	*
Be	1.87	1.80	1.94	1.88	2.06	2.09	1.93	*	*
Bi	0.20	0.22	0.20	0.21	0.19	0.20	0.21	*	*
Br	3.78	7.90	3.11	4.43	2.56	3.49	3.74	*	*
C	0.40	1.31	0.34	0.76	0.39	0.40	0.75	*	*
Cd	0.067	0.100	0.064	0.081	0.085	0.055	0.082	0.083	0.084
Ce	68.9	64.5	65.5	66.2	81.7	74.4	67.8	*	*
Cl	68	2275	85	67	59	96	74	*	*
Co	12.8	10.4	11.9	12.7	12.6	10.2	11.9	14.8	13.4
Cr	55.5	63.2	56.3	64.9	56.9	47.8	59.8	70.0	60.8
Cu	6.9	18.9	18.5	20.0	18.0	15.1	19.1	24.5	23.1
F	422	493	462	473	479	403	474	550	507
Ga	15.74	13.48	17.89	15.11	17.42	17.54	15.95	*	*
Ge	1.32	1.24	1.28	1.33	1.38	1.23	1.29	*	*
Hg	0.013	0.015	0.014	0.015	0.016	0.013	0.015	0.015	0.044
I	2.72	1.14	2.09	2.08	1.93	3.35	2.07	*	*
La	33.28	34.25	33.87	33.46	43.13	39.08	34.74	*	*
Li	25.1	30.2	26.0	29.5	25.1	19.5	27.9	*	*
Mn	669	490	529	597	674	534	574	551	597
Mo	0.54	0.55	0.51	0.49	0.62	0.71	0.56	*	*
N	0.034	0.08	0.034	0.036	0.040	0.038	0.035	*	*
Nb	12.8	13.2	12.2	13.2	14.9	14.6	13.3	*	*
Ni	27.1	25.4	25.6	27.7	25.9	19.4	26.3	29.4	28.6
P	300	604	339	422	497	346	443	*	*
Pb	22.9	17.0	23.9	20.3	25.0	25.8	21.8	25.3	24.7
Rb	91.5	86.5	96.4	91.8	99.0	96.8	93.8	*	*
S	118	181	114	113	103	119	126	*	*
Sb	0.73	0.84	0.57	0.71	0.56	0.48	0.71	*	*
Sc	9.0	9.8	9.3	10.1	9.0	8.3	9.7	*	*
Se	0.10	0.09	0.10	0.08	0.12	0.14	0.10	0.08	0.25
Sn	2.3	2.4	2.3	2.4	2.2	2.2	2.4	*	*
Sr	208	199	267	189	253	293	209	*	*
Th	9.6	10.0	9.7	10.6	10.6	10.5	10.3	*	*
Ti	3490	3618	3409	3660	3817	3421	3605	*	*
Tl	0.57	0.55	0.60	0.58	0.57	0.61	0.59	*	*
U	1.82	2.22	1.69	1.96	1.82	1.90	1.97	*	*
V	72.2	66.8	69.7	76.2	78.3	66.6	73.4	76.3	84.3
W	1.27	1.60	1.23	1.41	1.17	1.23	1.38	*	*
Y	22.1	23.6	20.8	22.9	25.0	21.1	22.8	*	*
Zn	46.7	55.2	54.7	52.7	62.4	49.3	55.1	71.4	71.1
Zr	277	243	234	270	294	262	255	*	*
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.60	11.40	14.71	12.64	14.12	15.08	13.29	*	*
CaO	1.24	5.60	1.37	3.20	1.32	1.27	3.07	*	*
MgO	1.13	1.85	1.22	1.45	1.25	0.95	1.45	*	*
K <sub>2</sub> O	2.55	2.21	2.74	2.29	2.93	2.95	2.53	*	*
Na <sub>2</sub> O	2.08	2.08	2.39	1.87	2.56	2.47	2.14	*	*
SiO <sub>2</sub>	66.1	62.1	66.4	62.8	64.2	66.7	63.8	*	*
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.02	3.91	4.20	4.26	4.36	3.77	4.21	*	*
OrgC	0.29	0.19	0.27	0.29	0.36	0.31	0.28	*	*
pH	7.54	8.62	7.25	8.27	7.12	6.75	7.79	*	*

注:深层土壤含量统计样品数为:全区 4 761 件、青岛市 749 件、东营市 482 件、烟台市 916 件、潍坊市 1 017 件、日照市 344 件、威海市 404 件。含量单位 Au 为 10<sup>-9</sup>; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C, CaO, K<sub>2</sub>O, MgO, N, Na<sub>2</sub>O, OrgC, SiO<sub>2</sub>, TFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 为 10<sup>-2</sup>; pH 无量纲,其余为 10<sup>-6</sup>。

素有 Hg, Se, As, Zn。这说明区域原始土壤中 Hg, Pb 等元素环境质量较好,但同时说明 Cu, Co, Zn, Se 等微量营养元素总量不足,特别是 Se 仅为全国的 40%, Zn 仅为全国的 77%, 这些营养元素在土壤中原始储备量的不足,是土壤出现缺素的主要原因,原始含量过低将影响农作物质量。

(2)与山东省深层土壤元素含量平均值对比,区内深层土壤中相对偏低的元素有 Zn, Cu, Hg, Pb, Cr, V, Cd, Ni, 其中 Zn, Cu 明显偏低,分别是山东省土壤平均值的 77%, 78%; Co 明显高于山东省土壤平均值,为全省平均值的 1.27 倍,而 Se, Mn, F, As 与山东省土壤平均值基本接近。

(3)全区深层土壤中大部分元素含量分布均匀,变异系数多小于 0.50,特别是  $\text{SiO}_2$ , pH, Ge,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Y, Nb, Rb, Ti, Tl, Be, Ga,  $\text{K}_2\text{O}$  等变异系数小于 0.25;而 Ag, Au, Br, Cl, Hg, I, Mo, S, Sb 等元素分布不均匀,变异系数大于 0.75,特别是 Au, Cl, Hg 分布极不均匀,变异系数分别为 2.88, 2.83 和 2.41;可见,在深层土壤中,难迁移和强分散元素的空间变异性最弱,与金及多金属成矿作用有关的 Ag, Au, Hg, Mo, S, Sb 和 Cl, Br, I 等卤族元素空间变异性最强烈,深层土壤元素的这一分布特征与区内金及多金属矿广泛分布和地处沿海一带相对应。

(4)为便于土壤环境等相关方面研究对基础资料的需要,统计了区内青岛、东营等 6 个市的土壤地球化学基准值,以供相关人员查阅。从统计结果可以看出,各市绝大部分元素基准值相对稳定,与全区基准值基本一致。仅 As, B, Ba, Br, C, Cd, Cl, P, S,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ , Corg 指标在各地市变化较大;As, B, Br, C, Cd, Cl, P, S,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  指标东营市含量最高, Ba 元素威海市含量最高, Corg 日照市含量最高;As, B, Cd,  $\text{MgO}$  等指标威海市含量最低, Br, Cl, S 等指标日照市含量最低, Ba, Corg 等 2 指标威海市含量最低, C, P 元素烟台市含量最低,  $\text{CaO}$  青岛市含量最低;上述基准值的变化较客观地反映了区内深层土壤各指标的地球化学变化,各行政区不同元素的土壤地球化学基准值主要受地质背景控制。

(5)深层土壤中 pH 平均值为 7.79,呈弱碱性,尚未受到土壤酸化的影响。但从各市分析其变化也有不同,东营市、潍坊市、青岛市深层土壤 pH 值分别为 8.62, 8.27 和 7.54 呈碱性,其他市深层土壤 pH 值在 6.75~7.25 之间,呈中性。

### 3.2 土壤地球化学背景值

土壤地球化学背景值是指在未受或少受人类活动影响的土壤中元素的含量。由于人类活动的长期积累和现代工农业的发展,使自然环境的化学成分和含量水平发生了明显的变化,绝对未受污染的土壤环境是不存在的,因此土壤地球化学背景值实际上是一个相对概念。山东半岛蓝色经济区表层土壤背景值是指以表层(采样深度 0~20 cm)土壤地球化学元素分析数据为基础,按统计单元剔除离群数值后所获得的土壤元素含量平均值(表 2)。

(1)与全国表层土壤丰度值<sup>[16]</sup>对比(收集到 46 项指标),区内表层土壤大部分指标背景值与全国土壤丰度值相当;Cd, CaO, Sr, Ba,  $\text{Na}_2\text{O}$  等指标明显高于全国表层土壤丰度值,除 Cd 元素受后期人类活动叠加影响外,多数指标为地质背景偏高引起;明显偏低的指标有 Mo, OrgC, Hg, Ag, I, W, Sb, Se, Bi, U, As, Th, Ge, B 等,其中 Mo 为全国土壤平均值的 33.88%, OrgC 为全国的 41.44%, Se 为全国的 55.86%,说明土壤中营养有益元素的总量是相对缺乏的,在农业生产实践中应当注意。

(2)与山东省表层土壤含量平均值对比(收集到 48 项指标),调查区内表层土壤中大部分指标接近山东省土壤平均值;Mo, Ag, W, I, Sb, Bi, Ge 等元素明显低于山东省土壤平均值,其中 Mo 元素仅为山东省土壤平均值的 50%;Se, Sr, N, OrgC, Ba, Cd, Hg,  $\text{TFe}_2\text{O}_3$ , P 等指标则明显高于山东省土壤平均值,其中重金属元素 Hg, Cd 含量分别为全省土壤平均值的 1.53, 1.41 倍,其污染程度高于全省其他地区,与区内金与多金属矿开采有一定关系。

(3)区内表层土壤中大部分元素含量分布均匀,变异系数多小于 0.50,特别是 Be, Ga, Ge, Nb, Rb, Ti, Tl, Y,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ , pH 等指标变异系数小于 0.25;而 Ag, Au, Br, Cd, Cl, Hg, S 等元素分布不均匀,变异系数大于 0.75,特别是 Au, Cl, Hg, S4 元素分布极不均匀,变异系数分别为 3.14, 3.16, 4.73 和 3.88;可见,表层土壤与深层土壤元素分布具有相似性,说明表层土壤在风化过程中有一定的继承性,难迁移和强分散元素的空间变异性最弱,只是与金成矿作用有关的 Au, Hg, S 等元素和卤族元素 Cl 空间变异性更强烈。

(4)为便于土壤环境等相关方面研究对基础资料的需要,统计了区内的青岛、东营等市的土壤地球

表2 山东半岛蓝色经济区土壤地球化学背景值统计

指标	青岛	东营	烟台	潍坊	日照	威海	全区	全省	全国
Ag	0.068	0.063	0.074	0.071	0.063	0.059	0.067	0.117	0.132
As	7.0	10.3	6.4	7.7	5.4	4.5	7.7	9.3	11.2
Au	1.41	1.60	1.91	1.40	1.12	1.37	1.50	*	*
B	30.0	51.8	28.6	41.3	25.4	16.7	37.1	38.6	47.8
Ba	809	479	829	570	1001	1077	704	502	469
Be	1.75	1.87	1.85	1.86	2.02	1.97	1.89	2.22	1.95
Bi	0.21	0.26	0.23	0.23	0.21	0.20	0.24	0.3	0.37
Br	3.98	19.6	3.53	4.96	2.69	3.46	4.59	5.29	5.4
C	0.82	1.68	0.77	0.98	0.73	0.68	1.09	*	*
Cd	0.098	0.126	0.117	0.114	0.113	0.092	0.118	0.084	0.097
Ce	61.4	66.7	63.0	63.7	83.7	70.0	65.7	69	68.4
Cl	87	4772	101	84	72	107	94	*	*
Co	10.2	11.4	11.4	11.5	12.1	9.6	11.2	13.6	12.7
Cr	52.5	65.5	57.0	65.2	57.1	46.4	59.8	66	61
Cu	17.3	21.0	26.0	21.2	19.2	17.1	20.7	22.4	22.6
F	403	547	477	468	461	426	484	506	478
Ga	15.1	14.1	17.3	14.8	17.2	16.9	15.7	13.4	17.5
Ge	1.28	1.23	1.26	1.33	1.33	1.24	1.28	1.6	1.7
Hg	0.028	0.022	0.034	0.032	0.026	0.023	0.029	0.019	0.065
I	2.42	1.42	2.10	2.05	1.80	2.75	2.03	3.04	3.76
La	31.4	33.5	33.0	33.0	44.2	37.4	33.6	33.8	39.7
Li	22.1	32.7	24.1	28.8	22.6	17.0	26.9	26.5	32.5
Mn	562	537	504	566	608	529	559	550	583
Mo	0.53	0.61	0.58	0.51	0.64	0.66	0.58	1.16	1.7
N	0.080	0.062	0.082	0.088	0.079	0.069	0.081	0.059	*
Nb	12.6	13.3	12.3	13.5	14.9	14.4	13.3	*	*
Ni	22.5	27.5	24.6	26.8	24.3	18.5	25.3	25.8	26.9
P	591	743	655	741	696	623	736	280	*
Pb	24.2	19.4	27.2	22.9	26.8	27.1	24.0	25.8	26
Rb	89.3	90.8	93.8	92.0	97.0	94.8	93.1	102	111
S	177	453	175	200	163	147	193	*	*
Sb	0.60	0.92	0.56	0.64	0.52	0.43	0.68	0.9	1.21
Sc	7.7	10.4	8.7	9.7	9.1	7.7	9.3	9.4	11.1
Se	0.16	0.15	0.16	0.16	0.17	0.17	0.16	0.13	0.29
Sn	2.5	2.7	2.5	2.7	2.4	2.2	2.6	2.6	2.6
Sr	217	205	275	187	262	292	216	170	167
Th	9.0	9.7	9.5	10.4	10.7	9.2	10.0	10.95	13.75
Ti	3330	3644	3416	3743	3840	3335	3588	3500	3800
Tl	0.56	0.57	0.60	0.57	0.58	0.59	0.58	0.545	0.62
U	1.79	2.35	1.75	2.02	1.90	1.83	2.01	2.2	3.03
V	64.3	72.1	67.3	73.5	74.7	60.7	70.8	80.1	82.4
W	1.21	1.63	1.26	1.36	1.11	1.18	1.36	2.38	2.48
Y	20.8	23.6	19.6	23.0	24.7	20.2	22.3	20.3	22.9
Zn	48.0	62.2	60.4	58.4	64.7	51.6	59.6	50	74.2
Zr	304	221	253	291	323	282	270	236	256
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.8	11.8	14.1	12.5	13.7	14.1	13.0	12.5	12.5
CaO	1.27	5.95	1.46	2.22	1.35	1.44	2.77	2.34	2.15
MgO	0.96	2.12	1.17	1.41	1.19	0.94	1.45	1.33	1.29
K <sub>2</sub> O	2.66	2.28	2.77	2.37	2.96	3.02	2.59	2.3	2.24
Na <sub>2</sub> O	2.20	2.14	2.43	1.92	2.65	2.68	2.21	2.08	1.37
SiO <sub>2</sub>	69.5	60.0	66.9	65.3	65.6	67.8	65.0	*	*
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	63.54	4.23	4.02	4.16	4.16	3.47	4.07	2.34	4.2
OrgC	0.78	0.57	0.75	0.80	0.73	0.65	0.75	0.54	1.8
pH	6.60	8.26	6.45	7.43	6.22	6.03	7.08	7.7	6.7

注:表层土壤含量统计样品数为:全区18524件、青岛市2910件、东营市1876件、烟台市3536件、潍坊市3979件、日照市1338件、威海市1527件。Au含量为 $10^{-9}$ , Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C, CaO, K<sub>2</sub>O, MgO, N, Na<sub>2</sub>O, OrgC, SiO<sub>2</sub>, TF<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量为 $10^{-2}$ , pH无量纲,其余为 $10^{-6}$ 。

化学背景值,以供相关人员查阅。从统计结果可以看出,各市绝大部分元素背景值相对稳定,与全区背景值基本一致。仅As, Au, B, Ba, Br, C, Cl, I, Li, S, Sb, MgO, CaO等指标在各市含量变化较大; As, B, Br, C, Cl, Li, S, Sb, MgO, CaO等指标东营市含量最高, Ba, I等元素威海市含量最高, Au元素烟台市含量最高; As, B, C, Li, S, Sb, MgO等指标威海市含量最低, Au, Br, Cl等指标日照市含量最低, Ba, I等元素威海市含量最低, CaO青岛市含量最低; 上述背景值的变化较客观地反映了区内表层土壤各指标的地球化学变化, 各市不同元素的土壤地球化学背景值主要受地质背景和后期人类活动等因素控制, 如烟台市金背景值高与金矿分布及采冶等有关。

(5)深层土壤中pH值平均值为7.79,而表层土壤中pH值平均值为7.08,最低为4.29,受后期人类活动叠加影响,表层土壤pH值有明显的降低趋势。对比各市表层土壤pH背景值可见,日照、威海、烟台等市pH背景值在6.03~6.45,呈弱酸性,青岛市6.60,潍坊市7.43,呈中性,东营市8.26,呈弱碱性。

## 4 结论

通过对山东半岛蓝色经济区土壤中元素地球化学基准值和背景值统计,认为区内表层、深层土壤中除与金及多金属成矿作用有关的Ag, Au, Hg, Mo, S, Sb等元素和Cl, Br, I等卤族元素空间变异性大外,大部分元素分布均匀,且表层土壤与深层土壤元素分布具有相似性。对青岛、东营、烟台、潍坊、日照、威海等市的土壤地球化学基准值和背景值及其变化规律进行研究,发现6市绝大部分元素基准值和背景值相对稳定,与半岛蓝色经济区基本一致,仅部分指标基准值和背景值变化较大;各市土壤地球化学基准值主要受地质背景控制,而土壤地球化学背景值主要受地质背景和后期人类活动等多层因素控制。深层土壤中pH值平均值为7.79,而表层土壤中pH值平均值为7.08,最低为4.29,受后期人类活动叠加影响,表层土壤pH值有明显的降低趋势。

## 参考文献:

- [1] 山东省国土资源厅. 山东省国土资源图集[M]. 济南:山东省地图出版社, 2007.

- [2] 孔庆友,邹国强,方宝明,等.山东省矿产资源储量报告编制指南[M].济南:山东省地图出版社,2010:274-280.
- [3] 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.
- [4] 庞绪贵,姜相洪,季顺乐,等.鲁西北覆盖区生态地球化学调查方法与技术探讨[J].山东地质,2003,19(2):21-25.
- [5] 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.
- [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.
- [7] 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.
- [8] 王存龙,庞绪贵,胡圣虹,等.山东省烟台地区土壤重金属的生态效应——以砷为例[J].中国地质,2011,38(6):1620-1630.
- [9] 杨孝智,陈扬,徐殿斗,等.北京地铁站灰尘中重金属污染特征及健康风险评价[J].中国环境科学,2011,31(6):944-950.
- [10] 林啸,刘敏,侯立军,等.上海城市土壤和地表灰尘重金属污染现状及评价[J].中国环境科学,2007,27(5):613-618.
- [11] 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.
- [12] 胡星明,王丽平,毕建洪.城市大气重金属污染分析[J].安徽农业科学,2008,36(1):302-303.
- [13] 孔令昊,杨丽原,庞绪贵,等.焦家金矿土壤中汞的形态分布特征研究[J].中国农村水利水电,2013,(2):33-37.
- [14] 庞绪贵,姜相洪,李建华,等.济南-济阳地区土壤地球化学特征[J].物探与化探,2004,28(3):253-256.
- [15] 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.
- [16] 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.

## Geochemical Reference Value and Background Value of Soil in Blue Economic Zone of Shandong Peninsula

PANG Xugui<sup>1</sup>, CHEN Yu<sup>2</sup>, LIU Handong<sup>1</sup>, DAI Jierui<sup>1</sup>, DONG Jian<sup>1</sup>, CHEN Lei<sup>1</sup>, LI Xiaopeng<sup>1</sup>

(1. Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jinan 250013, China; 2. Shandong Surveying and Mapping Institute of Land and Resources, Shandong Jinan 250102, China)

**Abstract:** On the basis of collecting one surficial sample in each 1km<sup>2</sup> and combining them into one sample in each 4km<sup>2</sup>, collecting one deep sample in each 4km<sup>2</sup> and combining them into one analyzing sample in each 16km<sup>2</sup>, geochemical survey of soil in the blue economic zone of Shandong peninsula has been carried out. In this survey, 54 elements and ratios are determined, such as Ag, As, Au, B, Ba, Be, Bi, Br, C and so on. Geochemical reference value and background value of these indicators have been studied. Majority elements evenly distributes in surface or deep soil except Ag, Au, Hg, Mo, S, Sb and other elements which associated with gold and polymetallic mineralization and the halogen element such as Cl, Br, I. The distribution of elements in surface soil or deep soil has the similarity. The geochemical reference value and background value of soil in six cities, such as Qingdao, Dongying, Yantai, Weifang, Rizhao and Weihai have been counted. It is found that the value of most elements in six cities has relative stability, which consistent with the blue economic zone of Shandong peninsula except the reference value and background value of partial indicators changes in the larger. All the geochemical reference values of soil were mainly controlled by geological background, and the geochemical background value of soil was mainly affected by multi factors, such as geological background, human activities and so on.

**Key words:** Soil; geochemistry; environmental quality; reference value; background value; blue economic zone of Shandong peninsula