

## 山东省 17 市土壤地球化学背景值

庞绪贵<sup>1,2</sup>, 代杰瑞<sup>1,2</sup>, 陈磊<sup>1,2</sup>, 刘华峰<sup>1,2</sup>, 喻超<sup>1,2</sup>, 韩臻<sup>3</sup>, 任天龙<sup>1,2</sup>, 胡雪平<sup>1,2</sup>, 王红晋<sup>1,2</sup>, 王增辉<sup>1,2</sup>, 赵西强<sup>1,2</sup>, 曾宪东<sup>1,2</sup>, 任文凯<sup>1,2</sup>, 王存龙<sup>1,2</sup>

(1. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013; 2. 山东省土地质量地球化学与污染防治工程技术研究中心, 山东 济南 250014; 3. 山东省地矿工程勘察院, 山东 济南 250014)

**摘要:**近 20 年来, 利用财政资金, 通过山东省黄河下游流域生态地球化学调查等 4 个项目, 全面完成了山东省 1:25 万土地质量地球化学调查与评价。该文以表层土壤 Ag, As, Au, B 等 54 项指标地球化学调查数据为基础, 分行政区域, 统计并研究了全省 17 市表层土壤地球化学参数及其特征, 厘定了山东省 17 市土壤地球化学背景值, 并与全国、全省背景值进行对比, 分析了其差异性。

**关键词:**生态地球化学; 表层土壤; 背景值; 基础数据; 山东省; 行政区域

**中图分类号:** P595; X142

**文献标识码:** B

**doi:** 10.12128/j.issn.1672-6979.2019.01.008

**引文格式:** 庞绪贵, 代杰瑞, 陈磊, 等. 山东省 17 市土壤地球化学背景值[J]. 山东国土资源, 2019, 35(1): 46-56.

PANG Xugui, DAI Jierui, CHEN Lei, etc. Soil Geochemical Background Value of 17 Cities in Shandong Province [J]. Shandong Land and Resources, 2019, 35(1): 46-56.

土地质量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。近 20 年来, 利用财政资金通过山东省黄河下游流域生态地球化学调查等 4 个项目, 全面完成了山东省土地质量地球化学调查与评价, 使山东省 1:25 万土地质量地球化学调查工作全覆盖, 取得了一批重要的调查与评价成果<sup>[1-26]</sup>。这些成果已逐步应用于基本农田建设、土地资源保护、整治和开发利用及土壤保护治理和矿产资源勘查等领域, 保障了山东省社会经济的可持续发展。本次以其中的表层土壤 Ag, As, Au, B 等 54 项指标地球化学调查数据为基础, 分行政区域统计并研究了全省 17 市表层土壤地球化学参数及其特征, 厘定了山东省 17 市土壤地球化学背景值, 并与全国、全省背景值进行对比, 分析了其差异性。

## 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; 境域介于东经 114°47'30"~122°42'18", 北纬 34°22'54"~38°24'00"之间, 包括半岛和内陆两部分, 山东半岛突出于渤海、黄海之中, 同辽东半岛遥相对峙; 内陆部分自北而南与河北、河南、安徽、江苏 4 省接壤。地貌以山地、丘陵和平原为主, 中部山地突起, 西南、西北低洼平坦, 东部缓丘起伏, 形成以山地丘陵为骨架、平原盆地交错环列其间的地形大势。泰山雄踞中部, 为全省最高点, 黄河三角洲为陆地最低处, 一般海拔 2~10 m。水系比较发育, 干流长 10 km 以上的河流有 1 500 多条, 河流分属海河水系、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, 具有降水集中, 雨热同季, 春秋短暂, 冬夏较长等特点, 且春夏秋冬四季分明。年平均气温 11℃~14℃, 由南而北自西向东递减。无霜期一般 180~220 d。光照资源充足, 光照时数年均 2 290~2 890 h, 热量条

收稿日期: 2018-08-08; 修订日期: 2018-09-20; 编辑: 曹丽丽

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; E-mail: sdsddygb@sohu.com

件可满足农作物一年两作的需求,平均降水量 550~950 mm,降水量由东南向西北递减,降水量多集中于每年的 6—9 月份。

山东省是中国经济最发达的省份之一,2017 年,全省实现生产总值(GDP)72 678.2 亿元,经济总量稳居全国第 3 位,山东省是中国的农业大省,农业增加值长期稳居全国第一位。适宜的气候为区内农业发展提供了优越自然条件,粮食作物种植分夏、秋两季。夏粮主要是冬小麦,秋粮主要是玉米、地瓜、大豆、水稻、谷子、高粱和小杂粮。其中小麦、玉米、地瓜是山东的三大主要粮食作物。经济作物以棉花、烟叶、花生、蔬菜为主。山东为全国主要水果、蔬菜产地省份之一,烟台苹果、莱阳梨、大泽山葡萄、沾化冬枣、肥城桃、乐陵金丝小枣、枣庄石榴、明水香米、章丘大葱和寿光蔬菜等全国闻名。沿海及湖区水产较发达,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北端。地层大部属华北地层大区晋冀鲁豫地层区,发育比较齐全,地表出露以中、新生代地层为主,其次为古生代地层,元古宙地层分布局限,太古宙地层零星出露,地层分区性明显;侵入岩类发育,广泛出露,占基岩面积的 60%。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,岩石类型较为齐全,有超镁铁质-铁镁质岩、中性岩、酸性岩、偏碱性岩,另外还有碳酸岩和含金刚石的金伯利岩;大地构造横跨华北和扬子两大板块,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二个构造单元,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、齐河-广饶等断裂。矿产资源丰富,分布广泛。能源、黑色金属、有色金属、贵金属、稀有金属、稀土金属、非金属、水气矿产等矿种均有分布,区域分布特征明显,全省已发现 147 种矿产资源,查明资源储量的 85 种。

## 1.3 成土母质与土壤类型

成土母质是指母岩经风化剥蚀、搬运及堆积等过程后于地表形成的松散风化壳的表层。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,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。残坡积物母质是山东省主要的成土母质,根据母质的物源不同可分为酸性岩类、基性岩类、砂页岩类、石灰岩类等。

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、新积土等 15 个土类。按各自的发育程度、附加成土过程和土壤属性进一步分为 39 个亚类<sup>[27]</sup>。山东省土壤水平分布特征明显,在西北部黄河冲积平原至东南沿海,气候由半湿润到湿润过渡,棕壤和褐土的水平分布呈现与生物气候带相一致,鲁东丘陵区 and 鲁中南山地丘陵区东南沿海,为棕壤的集中分布区;鲁中南山地丘陵区中南部,棕壤和褐土呈明显复区分布;鲁西北黄河冲积平原区是华北平原的一部分,为黄河冲积物发育的潮土所覆盖,局部与盐土成复区;在鲁西北平原与鲁中南山地丘陵区相毗邻的南四湖滨湖洼地、北部交接洼地,以及鲁中南地区东部沂沭河谷、胶莱河谷平原分布着大面积的沙姜黑土;鲁东丘陵区分布大面积的酸性粗骨土和酸性石质土,鲁中南山地丘陵区北部以石灰性河潮土为主,南部为非石灰性河潮土。

## 2 工作方法

### 2.1 样品采集与组合

土壤地球化学背景值样品采集按照《多目标区域地球化学调查规范(1:25 万)》执行,样品采集 0~20 cm 的表层土壤,样点布设采用方格网法,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了采样单元格中央。实地采集时主要选择单元样格内的主要土壤类型,表层土壤采取 4 个单点样品组合为 1 件组合样品,尽可能保持每一组合样内的 4 个单点样土壤类型一致,为增加土壤样品的代表性,采用一点多坑法采样,单点土壤样品的原始重量均大于 1 000 g。土壤地球化学背景值样品采样

密度为 1 点/ $\text{km}^2$ ,采集的表层土壤样品过 20 目筛,并按 4 个相邻网格样品组合成一件样品进行分析,土壤地球化学背景值样品组合样密度为 1 件/ $4 \text{ km}^2$ ,组合样送样重量为 200 g。山东省共分析土壤地球化学背景值样品 39 794 件<sup>[28-34]</sup>。

## 2.2 测试元素(指标)与方法及测试质量

表层土壤样品批次多,分析指标多,样品数量大,样品分析测试方法技术严格按照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)》的规定执行,土壤地球化学背景值样品分析测试 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,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ , Corg, pH 值等 54 项元素(指标)<sup>[35]</sup>。

土壤地球化学背景值样品测试在武汉综合岩矿测试中心进行,分析仪器以先进的现代化大型 ICP-MS, ICP-OES, XRF 为主体,加上其他先进的灵敏度高的专项分析仪器。采用的测试方法为等离子体发射光谱法、X 射线荧光光谱法、原子荧光光谱法、发射光谱法、石墨炉原子吸收法、泡塑吸附分离法、离子选择性电极法、催化极谱法、激光荧光测铀仪法、碘量法、化学发射光谱法、非水滴定法、重铬酸钾-硫酸消化蒸馏容量法、氧化还原法、催化比色法、离子电极法等 16 种配套分析方法。样品测试质量采用了重复样、标准样、密码样、异常点的重复检验样、外部监控样等多种监控手段进行监控,并通过了中国地质调查局区域地球化学分析质量监督检查组的验收,表层土壤地球化学样品分析质量为优秀级。

## 2.3 土壤地球化学背景值参数的计算

土壤地球化学背景值的求取,首先对取得的表层土壤分析数据按年度、批次进行整理,分离出物理点数据、重复样数据和质量监控样数据,再对每个物理点赋以高斯-克吕格坐标。在分年度、分批次整理的基础上,对所有数据进行合并,形成全区表层土壤全量 54 项元素(指标)地球化学分析数据,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( $X$ )代表背景值;服从

对数正态分布的数据,用几何平均值( $X_g$ )代表背景值。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( $X \pm 3S$ )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背景值,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( $X_{md}$ )或算术平均值( $X$ )代表背景值;当呈双峰或多峰分布时,以剔除后数据中位数值( $X_{me}$ )或平均值( $X$ )代表背景值。

pH 值参数统计与上述方法不同,应按下列步骤进行,先将土壤 pH 值换算成 $[\text{H}^+]$ 平均浓度进行统计计算,然后再换算成 pH 值,其公式为: $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$ , $[\text{H}^+]$ 平均浓度 =  $\sum 10^{-\text{pH}_i} / n$ ,  $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$ 平均浓度。

# 3 主要成果

## 3.1 背景值的概念与意义

土壤地球化学背景值<sup>[36-45]</sup>是指自然应力和人类活动共同作用影响下(土壤的第 II 环境)区域表层土壤的含量值,实际上是成土母质组成、成土过程中元素迁移重分配、人为扰动污染等各种因素长期综合作用的结果,以表层土壤地球化学调查元素含量表征。它与土壤基准值有着密切继承关系,总体受土壤基准值的控制,但由于经长期风化、淋溶作用和人类生产生活等活动的影响和改造,表层土壤地球化学元素含量特征已发生一定的演变,导致元素地球化学基准值和背景值两者之间存在一定的差异。土壤元素地球化学背景值是土壤环境质量评价、土壤肥力和营养水平分级、土地管护和合理利用、土壤改良和平衡施肥、农业种植规划、土壤生态环境保护决策的基础依据。

## 3.2 表层土壤地球化学元素分布特征

全省 17 市土壤地球化学背景值参数统计见表 1~表 6。

(1)全省 17 市表层土壤中绝大部分元素的含量分布相对深层土壤变化有所加大,但总体亦比较均匀,多数元素在 17 市中变异系数小于 0.40,反映了全省 17 市表层土壤在长期历史中均匀演化并受土壤基准值控制作用的特征。

表 1 济南、青岛和淄博土壤地球化学背景值

项目	济南( $n=1994$ )			青岛( $n=2910$ )			淄博( $n=1515$ )			土壤 A 层均值	
	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	山东省	中国
Ag	0.072	0.017	0.23	0.068	0.015	0.22	0.085	0.023	0.27	0.068	0.132
As	10.4	2.0	0.20	7.0	2.2	0.32	10.0	2.7	0.27	8.6	11.2
Au	1.73	0.46	0.27	1.41	0.44	0.31	1.74	0.47	0.27	1.53	*
B	51.4	8.9	0.17	30.0	7.5	0.25	49.7	14.6	0.29	42.7	47.8
Ba	482	34	0.07	809	199	0.25	502	57	0.11	550	469
Be	1.95	0.21	0.11	1.75	0.25	0.14	2.21	0.31	0.14	1.94	1.95
Bi	0.31	0.07	0.22	0.21	0.05	0.22	0.34	0.09	0.26	0.27	0.37
Br	4.01	1.08	0.27	3.98	1.44	0.36	5.43	2.10	0.39	3.99	5.4
C	1.68	0.47	0.28	0.82	0.25	0.30	1.74	0.67	0.38	1.28	*
Cd	0.150	0.034	0.22	0.098	0.026	0.26	0.162	0.047	0.29	0.132	0.097
Ce	68.4	6.1	0.09	61.4	15.0	0.24	68.8	8.5	0.12	66.8	68.4
Cl	108	46	0.43	87	34	0.39	87	22	0.26	100	*
Co	12.5	2.1	0.17	10.2	3.1	0.31	13.6	2.6	0.19	11.9	12.7
Cr	68.5	8.5	0.12	52.4	15.8	0.30	70.8	7.5	0.11	62.0	61
Cu	25.10	4.90	0.20	17.30	4.80	0.28	28.90	6.70	0.23	22.6	22.6
F	560	61	0.11	403	87	0.22	615	101	0.16	521	478
Ga	15.39	2.15	0.14	15.10	1.92	0.13	17.08	2.12	0.12	15.77	17.5
Ge	1.38	0.17	0.13	1.28	0.14	0.11	1.44	0.19	0.13	1.30	1.7
Hg	0.036	0.013	0.37	0.028	0.010	0.36	0.045	0.019	0.43	0.031	0.065
I	1.87	0.47	0.25	2.42	0.66	0.27	2.18	0.62	0.29	1.96	3.76
La	34.46	2.59	0.08	31.44	6.87	0.22	35.89	4.05	0.11	34.20	39.7
Li	34.93	4.78	0.14	22.13	5.27	0.24	38.41	7.24	0.19	30.28	32.5
Mn	579	77	0.13	563	154	0.27	605	108	0.18	576	583
Mo	0.59	0.10	0.17	0.53	0.15	0.29	0.71	0.18	0.25	0.58	1.7
N	0.101	0.021	0.21	0.080	0.018	0.23	0.108	0.027	0.25	0.089	*
Nb	13.9	0.9	0.07	12.6	1.7	0.13	14.3	1.4	0.10	13.5	*
Ni	30.1	4.5	0.15	22.5	7.4	0.33	32.0	5.6	0.17	27.1	26.9
P	913	172	0.19	590	164	0.28	875	239	0.27	824	*
Pb	24.1	3.4	0.14	24.2	3.7	0.15	27.9	5.5	0.20	23.6	26
Rb	93.1	8.4	0.09	89.4	13.8	0.15	103.9	17.5	0.17	94.7	111
S	230	55	0.24	177	45	0.26	242	65	0.27	211	*
Sb	0.89	0.18	0.20	0.60	0.14	0.24	0.82	0.21	0.25	0.75	1.21
Sc	11.2	1.5	0.14	7.7	1.7	0.22	11.7	2.1	0.18	10.2	11.1
Se	0.20	0.05	0.26	0.16	0.04	0.23	0.25	0.09	0.34	0.18	0.29
Sn	3.1	0.6	0.21	2.5	0.5	0.20	3.3	0.6	0.17	2.8	2.6
Sr	175	34	0.19	217	60	0.28	166	39	0.23	203	167
Th	10.7	1.6	0.15	9.0	1.8	0.19	12.0	1.9	0.16	10.7	13.75
Ti	3871	277	0.07	3330	547	0.16	3958	389	0.10	3704	3800
Tl	0.59	0.07	0.12	0.56	0.08	0.15	0.68	0.10	0.15	0.59	0.62
U	2.27	0.27	0.12	1.79	0.31	0.17	2.44	0.38	0.16	2.16	3.03
V	81.0	8.9	0.11	64.3	15.5	0.24	83.2	12.5	0.15	75.6	82.4
W	1.71	0.21	0.12	1.21	0.27	0.22	1.77	0.26	0.15	1.50	2.48
Y	23.8	2.1	0.09	20.8	2.5	0.12	24.9	2.6	0.10	22.8	22.9
Zn	68.4	9.3	0.14	48.0	11.4	0.24	76.4	12.3	0.16	63.3	74.2
Zr	245	33	0.14	304	54	0.18	242	36	0.15	255	256
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.65	1.09	0.09	12.78	1.07	0.08	13.51	1.23	0.09	12.96	12.51
CaO	4.54	1.65	0.36	1.27	0.41	0.33	3.76	2.02	0.54	3.36	2.15
MgO	1.79	0.25	0.14	0.96	0.31	0.32	1.80	0.45	0.25	1.59	1.29
K <sub>2</sub> O	2.33	0.15	0.06	2.66	0.48	0.18	2.49	0.35	0.14	2.47	2.24
Na <sub>2</sub> O	1.70	0.26	0.15	2.20	0.48	0.22	1.67	0.47	0.28	2.04	1.37
SiO <sub>2</sub>	60.56	3.41	0.06	69.48	3.29	0.05	59.99	3.96	0.07	63.29	*
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.59	0.62	0.14	3.54	0.78	0.22	5.02	0.74	0.15	4.31	4.2
OrgC	0.93	0.27	0.30	0.78	0.21	0.27	1.13	0.35	0.31	0.79	1.8
pH	8.09	0.26	0.03	6.60	1.06	0.16	7.96	0.27	0.03	7.32	6.7

注: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  $10^{-6}$ ;括号中的数值为原始样本数。

表 2 枣庄、东营和烟台土壤地球化学背景值

项目	枣庄( $n=1166$ )			东营( $n=1873$ )			烟台( $n=3537$ )			土壤 A 层均值	
	背景值 (X)	离差 (S)	变异系数 (C)	背景值 (X)	离差 (S)	变异系数 (C)	背景值 (X)	离差 (S)	变异系数 (C)	山东省	中国
Ag	0.074	0.014	0.19	0.064	0.015	0.23	0.074	0.021	0.29	0.068	0.132
As	8.9	2.7	0.31	10.3	2.3	0.22	6.4	2.2	0.34	8.6	11.2
Au	1.49	0.41	0.28	1.60	0.38	0.24	1.91	0.84	0.44	1.53	*
B	52.3	12.4	0.24	51.8	7.1	0.14	28.6	10.8	0.38	42.7	47.8
Ba	562	84	0.15	479	35	0.07	829	265	0.32	550	469
Be	2.18	0.29	0.13	1.87	0.19	0.10	1.85	0.37	0.20	1.94	1.95
Bi	0.33	0.08	0.24	0.26	0.06	0.23	0.23	0.08	0.34	0.27	0.37
Br	3.42	0.93	0.27	19.57	15.58	0.80	3.54	1.12	0.32	3.99	5.4
C	1.16	0.38	0.32	1.68	0.36	0.21	0.77	0.22	0.29	1.28	*
Cd	0.147	0.036	0.25	0.126	0.030	0.24	0.117	0.041	0.35	0.132	0.097
Ce	75.5	11.1	0.15	66.7	6.1	0.09	62.9	19.4	0.31	66.8	68.4
Cl	87	28	0.32	4773	5301	1.11	101	36	0.36	100	*
Co	14.6	3.1	0.21	11.4	1.9	0.17	11.4	4.6	0.41	11.9	12.7
Cr	66.7	14.7	0.22	65.5	5.7	0.09	57.0	21.6	0.38	62.0	61
Cu	27.30	5.20	0.19	21.00	4.30	0.21	26.00	13.40	0.52	22.6	22.6
F	566	110	0.19	547	77	0.14	477	139	0.29	521	478
Ga	17.10	1.89	0.11	14.14	1.65	0.12	17.29	2.58	0.15	15.77	17.5
Ge	1.39	0.16	0.12	1.23	0.10	0.08	1.26	0.16	0.13	1.30	1.7
Hg	0.035	0.011	0.31	0.022	0.009	0.40	0.034	0.016	0.47	0.031	0.065
I	2.13	0.76	0.36	1.41	0.44	0.31	2.10	0.69	0.33	1.96	3.76
La	37.77	5.02	0.13	33.53	2.40	0.07	32.96	10.10	0.31	34.20	39.7
Li	36.20	8.15	0.23	32.73	6.03	0.18	24.05	6.78	0.28	30.28	32.5
Mn	718	152	0.21	537	87	0.16	504	142	0.28	576	583
Mo	0.58	0.13	0.22	0.61	0.11	0.19	0.58	0.17	0.29	0.58	1.7
N	0.113	0.026	0.23	0.062	0.027	0.43	0.082	0.023	0.27	0.089	*
Nb	14.6	1.4	0.09	13.3	0.7	0.05	12.3	2.1	0.17	13.5	*
Ni	30.7	7.6	0.25	27.5	4.7	0.17	24.6	9.6	0.39	27.1	26.9
P	810	211	0.26	742	141	0.19	655	232	0.35	824	*
Pb	26.5	4.3	0.16	19.4	3.5	0.18	27.2	6.3	0.23	23.6	26
Rb	100.3	14.3	0.14	90.8	8.7	0.10	93.8	17.0	0.18	94.7	111
S	223	52	0.24	392	213	0.54	175	47	0.27	211	*
Sb	0.72	0.20	0.27	0.92	0.17	0.18	0.56	0.15	0.27	0.75	1.21
Sc	11.6	2.2	0.19	10.4	1.5	0.14	8.7	3.1	0.36	10.2	11.1
Se	0.20	0.04	0.21	0.15	0.04	0.27	0.16	0.04	0.25	0.18	0.29
Sn	3.4	0.7	0.21	2.7	0.5	0.19	2.5	0.7	0.28	2.8	2.6
Sr	178	83	0.46	205	15	0.07	275	102	0.37	203	167
Th	12.4	1.9	0.16	9.7	2.3	0.24	9.5	3.0	0.32	10.7	13.75
Ti	4230	470	0.11	3644	186	0.05	3415	740	0.22	3704	3800
Tl	0.58	0.07	0.13	0.57	0.07	0.12	0.60	0.11	0.19	0.59	0.62
U	2.37	0.32	0.14	2.35	0.28	0.12	1.75	0.48	0.28	2.16	3.03
V	88.4	14.1	0.16	72.1	8.5	0.12	67.3	22.5	0.33	75.6	82.4
W	1.82	0.34	0.19	1.63	0.15	0.09	1.26	0.44	0.35	1.50	2.48
Y	24.7	3.6	0.14	23.6	1.4	0.06	19.6	3.7	0.19	22.8	22.9
Zn	66.9	12.0	0.18	62.2	10.7	0.17	60.4	17.9	0.30	63.3	74.2
Zr	271	39	0.14	221	40	0.18	253	46	0.18	255	256
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.94	1.18	0.08	11.77	0.83	0.07	14.11	1.21	0.09	12.96	12.51
CaO	1.69	0.52	0.31	5.95	0.78	0.13	1.46	0.57	0.39	3.36	2.15
MgO	1.31	0.29	0.22	2.12	0.35	0.17	1.17	0.50	0.43	1.59	1.29
K <sub>2</sub> O	2.34	0.35	0.15	2.28	0.15	0.07	2.77	0.49	0.18	2.47	2.24
Na <sub>2</sub> O	1.54	0.63	0.41	2.14	0.55	0.26	2.43	0.60	0.25	2.04	1.37
SiO <sub>2</sub>	62.16	3.73	0.06	60.02	3.21	0.05	66.86	3.66	0.05	63.29	*
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.02	0.99	0.20	4.23	0.67	0.16	4.02	1.32	0.33	4.31	4.2
OrgC	1.07	0.32	0.30	0.57	0.25	0.44	0.74	0.23	0.31	0.79	1.8
pH	7.01	0.78	0.11	8.26	0.24	0.03	6.45	1.01	0.16	7.32	6.7

注: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  $10^{-6}$ ;括号中的数值为原始样本数。

表 3 潍坊、济宁和泰安土壤地球化学背景值

项目	潍坊( $n=3985$ )			济宁( $n=2581$ )			泰安( $n=1927$ )			土壤 A 层均值	
	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	山东省	中国
Ag	0.071	0.015	0.21	0.071	0.017	0.24	0.067	0.015	0.23	0.068	0.132
As	7.8	1.9	0.24	10.4	4.6	0.44	7.4	2.6	0.35	8.6	11.2
Au	1.40	0.37	0.27	1.68	0.62	0.37	1.54	0.42	0.27	1.53	*
B	41.3	10.2	0.25	47.1	13.1	0.28	40.1	14.7	0.37	42.7	47.8
Ba	571	89	0.16	556	68	0.12	566	91	0.16	550	469
Be	1.86	0.29	0.15	2.02	0.27	0.13	1.97	0.29	0.15	1.94	1.95
Bi	0.23	0.06	0.26	0.32	0.11	0.34	0.27	0.07	0.25	0.27	0.37
Br	4.96	1.85	0.37	3.87	1.26	0.33	3.08	0.76	0.25	3.99	5.4
C	0.98	0.29	0.30	1.56	0.88	0.57	0.98	0.36	0.37	1.28	*
Cd	0.114	0.031	0.27	0.158	0.056	0.36	0.131	0.031	0.24	0.132	0.097
Ce	63.8	9.9	0.16	69.7	9.3	0.13	65.4	12.5	0.19	66.8	68.4
Cl	85	25	0.30	112	52	0.47	80	24	0.31	100	*
Co	11.5	2.9	0.25	14.0	3.2	0.23	12.2	2.9	0.24	11.9	12.7
Cr	65.3	12.9	0.20	66.0	13.7	0.21	58.8	15.3	0.26	62.0	61
Cu	21.20	6.40	0.30	28.80	8.70	0.30	22.90	5.60	0.25	22.6	22.6
F	469	101	0.21	596	135	0.23	500	110	0.22	521	478
Ga	14.85	2.36	0.16	16.69	2.24	0.13	17.06	1.93	0.11	15.77	17.5
Ge	1.33	0.14	0.11	1.29	0.12	0.09	1.32	0.16	0.12	1.30	1.7
Hg	0.032	0.013	0.39	0.036	0.014	0.37	0.030	0.013	0.43	0.031	0.065
I	2.05	0.49	0.24	1.91	0.74	0.39	1.55	0.42	0.27	1.96	3.76
La	33.02	4.66	0.14	36.26	5.28	0.15	33.12	6.04	0.18	34.20	39.7
Li	28.80	6.69	0.23	36.42	10.06	0.28	30.06	7.02	0.23	30.28	32.5
Mn	566	120	0.21	673	146	0.22	557	109	0.20	576	583
Mo	0.51	0.13	0.25	0.59	0.19	0.33	0.59	0.15	0.26	0.58	1.7
N	0.088	0.026	0.29	0.101	0.029	0.29	0.093	0.023	0.25	0.089	*
Nb	13.5	1.6	0.12	13.6	1.4	0.10	13.3	2.2	0.17	13.5	*
Ni	26.9	7.5	0.28	30.8	7.8	0.25	27.1	7.1	0.26	27.1	26.9
P	740	218	0.29	896	227	0.25	747	197	0.26	824	*
Pb	22.9	3.7	0.16	23.3	3.8	0.16	22.6	4.0	0.18	23.6	26
Rb	92.1	11.2	0.12	100.4	13.6	0.14	98.1	14.4	0.15	94.7	111
S	201	46	0.23	231	90	0.39	205	50	0.24	211	*
Sb	0.64	0.14	0.21	0.86	0.34	0.39	0.65	0.20	0.31	0.75	1.21
Sc	9.7	2.3	0.23	11.8	2.6	0.22	10.4	2.2	0.21	10.2	11.1
Se	0.16	0.04	0.25	0.19	0.05	0.24	0.18	0.04	0.20	0.18	0.29
Sn	2.7	0.6	0.21	3.2	0.7	0.23	2.9	0.7	0.23	2.8	2.6
Sr	187	36	0.20	217	45	0.21	224	72	0.32	203	167
Th	10.4	1.9	0.19	12.0	2.2	0.18	11.1	2.4	0.22	10.7	13.75
Ti	3745	537	0.14	3777	382	0.10	3606	520	0.14	3704	3800
Tl	0.57	0.08	0.14	0.60	0.10	0.17	0.61	0.09	0.15	0.59	0.62
U	2.02	0.33	0.16	2.31	0.39	0.17	2.16	0.43	0.20	2.16	3.03
V	73.6	14.7	0.20	84.6	14.6	0.17	74.8	14.6	0.20	75.6	82.4
W	1.36	0.28	0.20	1.64	0.35	0.22	1.44	0.39	0.27	1.50	2.48
Y	23.0	2.4	0.11	22.9	2.7	0.12	22.1	3.5	0.16	22.8	22.9
Zn	58.5	14.8	0.25	72.2	16.6	0.23	63.6	13.5	0.21	63.3	74.2
Zr	291	45	0.15	229	61	0.27	257	44	0.17	255	256
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.50	1.32	0.11	13.51	1.08	0.08	13.59	0.87	0.06	12.96	12.51
CaO	2.21	1.09	0.49	4.27	2.70	0.63	2.09	0.69	0.33	3.36	2.15
MgO	1.41	0.43	0.30	1.87	0.61	0.33	1.37	0.39	0.28	1.59	1.29
K <sub>2</sub> O	2.37	0.20	0.08	2.41	0.22	0.09	2.41	0.27	0.11	2.47	2.24
Na <sub>2</sub> O	1.92	0.38	0.20	1.77	0.63	0.36	2.25	0.66	0.30	2.04	1.37
SiO <sub>2</sub>	65.26	4.62	0.07	59.97	6.80	0.11	64.02	3.99	0.06	63.29	*
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.17	0.94	0.23	4.93	1.04	0.21	4.38	0.87	0.20	4.31	4.2
OrgC	0.80	0.26	0.32	0.86	0.28	0.32	0.86	0.26	0.30	0.79	1.8
pH	7.43	0.88	0.12	7.65	0.66	0.09	7.07	0.85	0.12	7.32	6.7

注: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  $10^{-6}$ ;括号中的数值为原始样本数。

表 4 威海、日照和莱芜土壤地球化学背景值

项目	威海( $n=1526$ )			日照( $n=1349$ )			莱芜( $n=549$ )			土壤 A 层均值	
	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	背景值 ( $X$ )	离差 ( $S$ )	变异系数 ( $C$ )	山东省	中国
Ag	0.059	0.017	0.28	0.063	0.016	0.25	0.075	0.019	0.25	0.068	0.132
As	4.5	1.3	0.28	5.4	1.6	0.29	8.6	2.9	0.34	8.6	11.2
Au	1.37	0.48	0.35	1.12	0.27	0.24	1.71	0.46	0.27	1.53	*
B	16.7	5.5	0.33	25.4	9.4	0.37	43.1	17.7	0.41	42.7	47.8
Ba	1077	302	0.28	999	319	0.32	511	68	0.13	550	469
Be	1.97	0.40	0.20	2.02	0.29	0.15	2.33	0.34	0.15	1.94	1.95
Bi	0.20	0.07	0.37	0.21	0.05	0.26	0.32	0.09	0.27	0.27	0.37
Br	3.46	1.05	0.30	2.69	0.68	0.25	3.11	0.92	0.30	3.99	5.4
C	0.67	0.18	0.27	0.73	0.21	0.28	1.03	0.39	0.38	1.28	*
Cd	0.092	0.029	0.32	0.114	0.035	0.31	0.148	0.039	0.27	0.132	0.097
Ce	70.1	20.4	0.29	83.6	22.5	0.27	72.9	12.8	0.18	66.8	68.4
Cl	107	33	0.31	72	19	0.26	80	19	0.24	100	*
Co	9.6	3.3	0.34	12.1	3.5	0.29	13.4	3.2	0.24	11.9	12.7
Cr	46.4	17.0	0.37	57.1	21.1	0.37	67.6	16.5	0.24	62.0	61
Cu	17.20	6.90	0.40	19.20	6.20	0.32	26.50	7.20	0.27	22.6	22.6
F	426	110	0.26	461	113	0.25	612	151	0.25	521	478
Ga	16.93	1.80	0.11	17.23	2.01	0.12	18.35	1.70	0.09	15.77	17.5
Ge	1.23	0.14	0.11	1.33	0.15	0.11	1.40	0.18	0.13	1.30	1.7
Hg	0.023	0.008	0.36	0.026	0.009	0.36	0.029	0.012	0.41	0.031	0.065
I	2.75	0.99	0.36	1.79	0.42	0.24	1.82	0.59	0.33	1.96	3.76
La	37.42	12.37	0.33	44.08	11.89	0.27	38.55	6.29	0.16	34.20	39.7
Li	17.02	3.72	0.22	22.59	6.42	0.28	33.88	6.68	0.20	30.28	32.5
Mn	529	139	0.26	608	133	0.22	594	140	0.24	576	583
Mo	0.66	0.21	0.32	0.64	0.18	0.28	0.67	0.16	0.24	0.58	1.7
N	0.069	0.019	0.27	0.079	0.020	0.25	0.095	0.022	0.23	0.089	*
Nb	14.4	2.5	0.18	14.8	2.3	0.15	14.6	1.8	0.13	13.5	*
Ni	18.5	7.5	0.40	24.3	9.1	0.37	32.7	7.6	0.23	27.1	26.9
P	623	220	0.35	695	221	0.32	739	205	0.28	824	*
Pb	27.1	6.9	0.26	26.8	4.7	0.17	26.0	3.7	0.14	23.6	26
Rb	94.8	19.6	0.21	97.4	13.5	0.14	116.1	23.5	0.20	94.7	111
S	147	37	0.25	163	39	0.24	207	45	0.22	211	*
Sb	0.43	0.09	0.21	0.52	0.12	0.22	0.72	0.17	0.24	0.75	1.21
Sc	7.7	2.5	0.32	9.1	2.4	0.27	11.2	2.7	0.24	10.2	11.1
Se	0.17	0.04	0.24	0.16	0.03	0.19	0.21	0.05	0.23	0.18	0.29
Sn	2.2	0.5	0.22	2.4	0.4	0.19	3.3	0.6	0.19	2.8	2.6
Sr	292	97	0.33	261	95	0.36	166	46	0.28	203	167
Th	9.2	3.1	0.33	10.7	2.7	0.25	16.3	5.6	0.35	10.7	13.75
Ti	3337	535	0.16	3838	619	0.16	3824	536	0.14	3704	3800
Tl	0.59	0.14	0.24	0.58	0.10	0.17	0.76	0.15	0.20	0.59	0.62
U	1.83	0.58	0.31	1.90	0.39	0.21	2.71	0.62	0.23	2.16	3.03
V	60.7	18.5	0.31	74.7	18.5	0.25	78.4	14.2	0.18	75.6	82.4
W	1.18	0.45	0.38	1.11	0.31	0.28	1.68	0.35	0.21	1.50	2.48
Y	20.2	4.0	0.20	24.7	4.1	0.17	24.9	3.6	0.14	22.8	22.9
Zn	51.7	15.0	0.29	64.6	16.4	0.25	71.2	11.4	0.16	63.3	74.2
Zr	282	58	0.21	322	58	0.18	258	35	0.14	255	256
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.09	1.17	0.08	13.67	0.99	0.07	14.19	0.63	0.04	12.96	12.51
CaO	1.44	0.57	0.40	1.35	0.47	0.35	1.92	0.83	0.43	3.36	2.15
MgO	0.94	0.43	0.45	1.19	0.44	0.37	1.53	0.41	0.27	1.59	1.29
K <sub>2</sub> O	3.02	0.44	0.15	2.96	0.38	0.13	2.59	0.38	0.14	2.47	2.24
Na <sub>2</sub> O	2.68	0.46	0.17	2.65	0.45	0.17	2.13	0.70	0.33	2.04	1.37
SiO <sub>2</sub>	67.78	3.13	0.05	65.57	3.57	0.05	62.52	3.68	0.06	63.29	*
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.47	0.94	0.27	4.16	0.95	0.23	4.86	0.80	0.16	4.31	4.2
OrgC	0.65	0.20	0.31	0.73	0.20	0.28	0.90	0.27	0.29	0.79	1.8
pH	6.03	0.94	0.16	6.22	0.93	0.15	6.85	0.95	0.14	7.32	6.7

注: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  $10^{-6}$ ;括号中的数值为原始样本数。

表 5 临沂、德州和聊城土壤地球化学背景值

项目	临沂( $n=4373$ )			德州( $n=2644$ )			聊城( $n=2238$ )			土壤 A 层均值	
	背景值 (X)	离差 (S)	变异系数 (C)	背景值 (X)	离差 (S)	变异系数 (C)	背景值 (X)	离差 (S)	变异系数 (C)	山东省	中国
Ag	0.068	0.019	0.28	0.064	0.014	0.21	0.064	0.014	0.21	0.068	0.132
As	6.5	2.7	0.42	10.9	1.7	0.15	10.6	1.6	0.15	8.6	11.2
Au	1.19	0.39	0.33	1.70	0.40	0.24	1.64	0.39	0.24	1.53	*
B	39.0	20.4	0.52	52.7	6.5	0.12	50.0	5.9	0.12	42.7	47.8
Ba	654	175	0.27	476	24	0.05	477	33	0.07	550	469
Be	2.08	0.39	0.19	1.92	0.16	0.08	1.86	0.15	0.08	1.94	1.95
Bi	0.26	0.10	0.37	0.28	0.04	0.15	0.27	0.04	0.14	0.27	0.37
Br	2.92	0.87	0.30	4.90	1.10	0.22	4.50	0.99	0.22	3.99	5.4
C	0.88	0.33	0.37	1.76	0.23	0.13	1.71	0.21	0.12	1.28	*
Cd	0.125	0.037	0.30	0.149	0.029	0.19	0.146	0.025	0.17	0.132	0.097
Ce	72.4	17.1	0.24	66.9	4.5	0.07	66.4	5.4	0.08	66.8	68.4
Cl	75	23	0.30	230	117	0.51	170	86	0.51	100	*
Co	13.3	3.9	0.29	11.3	1.4	0.13	10.8	1.3	0.12	11.9	12.7
Cr	61.1	18.7	0.31	65.1	6.3	0.10	63.0	5.6	0.09	62.0	61
Cu	23.70	8.00	0.34	22.10	3.10	0.14	21.30	3.00	0.14	22.6	22.6
F	530	165	0.31	559	55	0.10	552	57	0.10	521	478
Ga	17.41	2.29	0.13	14.26	1.59	0.11	13.58	1.45	0.11	15.77	17.5
Ge	1.31	0.19	0.15	1.29	0.14	0.11	1.27	0.10	0.08	1.30	1.7
Hg	0.028	0.010	0.36	0.035	0.010	0.30	0.037	0.012	0.32	0.031	0.065
I	1.69	0.58	0.34	2.10	0.61	0.29	1.94	0.63	0.33	1.96	3.76
La	36.93	8.50	0.23	33.66	2.10	0.06	33.52	1.94	0.06	34.20	39.7
Li	29.61	9.87	0.33	33.07	3.85	0.12	32.32	4.30	0.13	30.28	32.5
Mn	629	178	0.28	562	64	0.11	540	57	0.10	576	583
Mo	0.59	0.16	0.27	0.58	0.10	0.17	0.57	0.09	0.15	0.58	1.7
N	0.093	0.028	0.30	0.095	0.018	0.19	0.092	0.016	0.18	0.089	*
Nb	14.1	2.5	0.18	13.8	0.7	0.05	13.6	0.7	0.05	13.5	*
Ni	27.3	8.7	0.32	27.6	3.3	0.12	26.5	3.1	0.12	27.1	26.9
P	721	209	0.29	1027	140	0.14	1101	179	0.16	824	*
Pb	26.1	5.6	0.21	22.7	2.6	0.12	21.6	2.4	0.11	23.6	26
Rb	106.5	20.2	0.19	91.7	6.0	0.07	89.6	5.6	0.06	94.7	111
S	182	49	0.27	255	68	0.27	234	62	0.26	211	*
Sb	0.59	0.18	0.31	0.96	0.15	0.15	0.93	0.13	0.14	0.75	1.21
Sc	10.4	2.9	0.28	10.4	1.0	0.10	10.1	1.1	0.10	10.2	11.1
Se	0.17	0.04	0.22	0.19	0.03	0.15	0.19	0.03	0.17	0.18	0.29
Sn	2.7	0.7	0.27	3.1	0.6	0.20	3.4	0.7	0.22	2.8	2.6
Sr	222	94	0.42	199	10	0.05	196	10	0.05	203	167
Th	11.9	3.1	0.26	10.5	1.5	0.14	10.3	1.4	0.14	10.7	13.75
Ti	3889	733	0.19	3747	119	0.03	3781	149	0.04	3704	3800
Tl	0.63	0.12	0.20	0.58	0.07	0.12	0.58	0.08	0.13	0.59	0.62
U	2.19	0.53	0.24	2.31	0.23	0.10	2.32	0.24	0.11	2.16	3.03
V	79.1	19.3	0.24	78.5	6.7	0.09	76.8	6.8	0.09	75.6	82.4
W	1.46	0.50	0.34	1.65	0.13	0.08	1.63	0.12	0.07	1.50	2.48
Y	22.6	4.8	0.21	23.3	1.1	0.05	23.4	1.1	0.05	22.8	22.9
Zn	64.5	16.2	0.25	65.6	7.6	0.12	63.3	7.4	0.12	63.3	74.2
Zr	269	56	0.21	236	24	0.10	241	27	0.11	255	256
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.71	1.21	0.09	11.98	0.57	0.05	11.73	0.58	0.05	12.96	12.51
CaO	1.68	0.72	0.43	5.35	0.53	0.10	5.24	0.45	0.09	3.36	2.15
MgO	1.28	0.45	0.35	1.97	0.20	0.10	1.92	0.19	0.10	1.59	1.29
K <sub>2</sub> O	2.71	0.47	0.18	2.36	0.11	0.05	2.29	0.09	0.04	2.47	2.24
Na <sub>2</sub> O	2.15	0.78	0.36	1.85	0.19	0.10	1.91	0.17	0.09	2.04	1.37
SiO <sub>2</sub>	64.00	4.29	0.07	61.60	2.30	0.04	61.93	1.94	0.03	63.29	*
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.56	1.17	0.26	4.26	0.44	0.10	4.10	0.40	0.10	4.31	4.2
OrgC	0.83	0.29	0.35	0.81	0.16	0.20	0.76	0.14	0.19	0.79	1.8
pH	6.43	0.95	0.15	8.23	0.21	0.03	8.12	0.25	0.03	7.32	6.7

注: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  $10^{-6}$ ;括号中的数值为原始样本数。

表 6 滨州和菏泽土壤地球化学背景值

项目	滨州( $n=2271$ )			菏泽( $n=3128$ )			土壤 A 层均值	
	背景值( $X$ )	离差( $S$ )	变异系数( $C$ )	背景值( $X$ )	离差( $S$ )	变异系数( $C$ )	山东省	中国
Ag	0.067	0.016	0.23	0.063	0.012	0.19	0.068	0.132
As	11.2	2.4	0.21	10.7	2.0	0.18	8.6	11.2
Au	1.73	0.46	0.27	1.61	0.45	0.28	1.53	*
B	54.0	8.2	0.15	52.6	6.7	0.13	42.7	47.8
Ba	487	31	0.06	495	29	0.06	550	469
Be	1.95	0.19	0.10	1.87	0.16	0.08	1.94	1.95
Bi	0.30	0.06	0.21	0.28	0.05	0.17	0.27	0.37
Br	7.77	2.79	0.36	3.86	1.01	0.26	3.99	5.4
C	1.76	0.34	0.19	1.83	0.25	0.14	1.28	*
Cd	0.147	0.037	0.25	0.153	0.026	0.17	0.132	0.097
Ce	68.0	5.5	0.08	63.4	5.4	0.08	66.8	68.4
Cl	195	124	0.64	143	59	0.41	100	*
Co	12.2	2.0	0.16	11.8	1.9	0.16	11.9	12.7
Cr	68.4	6.2	0.09	62.2	6.1	0.10	62.0	61
Cu	23.80	4.70	0.20	22.70	4.40	0.19	22.6	22.6
F	585	72	0.12	559	69	0.12	521	478
Ga	15.00	1.75	0.12	14.13	1.23	0.09	15.77	17.5
Ge	1.27	0.13	0.10	1.31	0.11	0.08	1.30	1.7
Hg	0.030	0.012	0.39	0.031	0.010	0.31	0.031	0.065
I	1.83	0.50	0.27	2.07	0.66	0.32	1.96	3.76
La	34.26	2.64	0.08	34.15	2.14	0.06	34.20	39.7
Li	35.16	5.94	0.17	33.41	4.96	0.15	30.28	32.5
Mn	597	93	0.16	572	77	0.14	576	583
Mo	0.60	0.12	0.20	0.59	0.13	0.21	0.58	1.7
N	0.087	0.027	0.31	0.086	0.015	0.18	0.089	*
Nb	13.5	0.7	0.05	13.2	1.0	0.07	13.5	*
Ni	29.5	4.7	0.16	28.3	4.0	0.14	27.1	26.9
P	985	222	0.23	1012	160	0.16	824	*
Pb	22.1	3.3	0.15	20.2	2.2	0.11	23.6	26
Rb	95.0	8.6	0.09	91.3	6.8	0.07	94.7	111
S	252	68	0.27	219	52	0.24	211	*
Sb	0.96	0.18	0.19	0.97	0.15	0.16	0.75	1.21
Sc	11.2	1.6	0.14	10.7	1.2	0.12	10.2	11.1
Se	0.18	0.04	0.23	0.18	0.03	0.16	0.18	0.29
Sn	3.0	0.6	0.20	3.0	0.6	0.19	2.8	2.6
Sr	200	12	0.06	208	11	0.05	203	167
Th	10.8	1.8	0.16	10.9	0.9	0.08	10.7	13.75
Ti	3728	187	0.05	3621	199	0.06	3704	3800
Tl	0.60	0.07	0.12	0.58	0.08	0.14	0.59	0.62
U	2.36	0.27	0.12	2.37	0.25	0.11	2.16	3.03
V	77.3	9.2	0.12	77.0	7.8	0.10	75.6	82.4
W	1.68	0.15	0.09	1.62	0.17	0.10	1.50	2.48
Y	24.1	1.4	0.06	23.1	1.1	0.05	22.8	22.9
Zn	69.1	10.9	0.16	63.7	8.6	0.13	63.3	74.2
Zr	219	33	0.15	220	32	0.14	255	256
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.27	0.88	0.07	12.09	0.73	0.06	12.96	12.51
CaO	5.72	0.82	0.14	5.83	0.73	0.13	3.36	2.15
MgO	2.16	0.38	0.18	2.08	0.27	0.13	1.59	1.29
K <sub>2</sub> O	2.37	0.15	0.07	2.31	0.11	0.05	2.47	2.24
Na <sub>2</sub> O	1.77	0.26	0.15	1.84	0.22	0.12	2.04	1.37
SiO <sub>2</sub>	59.50	3.47	0.06	60.12	3.01	0.05	63.29	*
TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.58	0.66	0.14	4.24	0.51	0.12	4.31	4.2
OrgC	0.78	0.26	0.33	0.73	0.13	0.18	0.79	1.8
pH	8.28	0.22	0.03	8.19	0.25	0.03	7.32	6.7

注: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  $10^{-6}$ ;括号中的数值为原始样本数。

(2)全省 17 市元素背景值变幅较大的元素主要为 Au, As, B, Br, C, Cl, Cu, Hg, N, Ni, S, Co, Sr, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, Corg, 其变异系数大于或等于 0.40, 东营市 Cl 元素变异系数为 1.11, Br 元素的变异系数为 0.80, 济宁市 C 元素的变异系数为 0.57; 一般来说, 元素背景含量的变化主要受成土母质及后期人为等多因素的影响。东营市 Cl, Br 元素含量变化大, 这与东营市所处的地理位置密切相关, 具有明显的地域特征。

(3)重金属元素在不同的地区变化较大, 总体表现为淄博、济南、枣庄、济宁等城市背景值偏高, 而其他市背景值相对偏低, 特别是威海、烟台、青岛、日照等沿海城市。Hg 元素除在淄博较高外, 一般变化不大; As 元素的地区性差异较为明显, 济南、淄博、东营、济宁、滨州、德州、菏泽 As 的背景值较高, 相当于威海、日照、临沂的 1.6~2.5 倍; 各市 Pb 元素的背景值变化不大, 仅淄博和烟台略高; Cu, Cr, Ni 在各市土壤中的背景值特点是, 青岛和威海最低, Cu, Cr 淄博最高, Ni 淄博略高, 其他市背景无显著变化; Cd 的背景值在淄博、济宁、菏泽和济南相对较高, 威海、青岛最低, 其他市变化不大; Zn 的背景值在青岛最低, 淄博最高, 济宁、莱芜和滨州相对较高。

(4)农业营养和有益元素中, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 除在莱芜、SiO<sub>2</sub> 除在青岛、Mo 除在淄博较高外, 其余各市的背景值变化不大; 平原区各市土壤中 P, B, CaO, MgO 的背景值较高, 而胶东半岛各市背景值较低, 其中威海 B 背景值 ( $16.7 \times 10^{-6}$ ) 仅是其他市的 31%~44%; K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O 在胶东半岛各市背景值较高, N, Se, OrgC 在枣庄和淄博的背景值较高, 东营背景值最低。

(5)卤族元素 Cl, Br 在东营背景值最高, Cl 背景值是其他市的 20.75~66.29 倍, Br 背景值是其他市的 2.52~7.27 倍, F 除在淄博、莱芜、济宁和滨州较高外, 其他各市背景值变化不大; I 背景值大致呈现出山东半岛沿海各地区 > 鲁西北平原 > 鲁中南 > 鲁北沿海地区的特点。土壤 pH 在威海、日照、临沂、烟台等 4 市土壤中整体显弱酸性, 其中威海土壤 pH 最低为 6.03, 在青岛、莱芜、枣庄、泰安、潍坊整体显中性, 在其余市显弱碱性, 滨州土壤 pH 最高为 8.28。

## 4 结语

通过对山东省表层土壤地球化学元素含量进行

统计分析, 确定了山东省 54 项指标土壤地球化学背景值, 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: 33-48.
- [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: 25-57.
- [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: 29-67.
- [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元研究[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): 1076-1084.
- [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]. 中国地质, 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, 2011, 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] 庞绪贵, 代杰瑞, 胡雪平, 等. 山东省土壤地球化学背景值[J]. 山东国土资源, 2018, 34(1): 39-43.
- [17] 庞绪贵, 宋娟娟, 代杰瑞, 等. 日照市土壤地球化学元素分布规律及成因探讨[J]. 山东国土资源, 2018, 34(4): 43-49.
- [18] 代杰瑞, 庞绪贵, 宋建华, 等. 山东省淄博市和近郊土壤元素地球化学特征及生态风险研究[J]. 中国地质, 2018, 45(3): 617-627.

- [19] 张帆.威海市土壤元素地球化学分布及其意义[J].山东国土资源,2018,34(8):46-50.
- [20] 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.
- [21] 代杰瑞,庞绪贵,董健,等.山东省土壤有机碳库及其时空变化特征[J].现代地质,2017,31(2):386-393.
- [22] 代杰瑞,庞绪贵,曾宪东,等.山东省土壤有机碳密度的空间分布特征及其影响因素[J].环境科学研究,2015,28(9):1449-1458.
- [23] 赵西强,庞绪贵,王增辉,等.利用原子荧光光谱-电感耦合等离子体质谱法研究济南市大气干湿沉降重金属含量及年沉降通量特征[J].岩矿测试,2015,34(2):245-251.
- [24] 曹霏霏,杨丽原,庞绪贵,等.山东南四湖沉积物中汞的污染现状及迁移研究[J].环境科学,2015,36(5):1615-1621.
- [25] 代杰瑞,祝德成,庞绪贵,等.济南市土壤元素地球化学特征及环境质量[J].中国地质,2015,42(1):308-316.
- [26] 王存龙,曾宪东,刘华峰,等.烟台市土壤环境质量现状及重金属元素分布迁移规律[J].中国地质,2015,42(1):317-330.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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.
- [41] 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.
- [42] 代杰瑞,崔元俊,庞绪贵,等.山东省生态地球化学调查与评价综述[J].山东国土资源,2011,27(5):1-7.
- [43] 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.
- [44] 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.
- [45] 庞绪贵,高宗军,王敏,等.山东半岛特色农产品产地地质地球化学环境研究[M].北京:地质出版社,2018:26-29.

## Soil Geochemical Background Value of 17 Cities in Shandong Province

PANG Xugui<sup>1,2</sup>, DAI Jierui<sup>1,2</sup>, CHEN Lei<sup>1,2</sup>, LIU Huafeng<sup>1,2</sup>, YU Chao<sup>1,2</sup>, HAN Liu<sup>3</sup>, REN Tianlong<sup>1,2</sup>, HU Xueping<sup>1,2</sup>, WANG Hongjin<sup>1,2</sup>, WANG Zenghui<sup>1,2</sup>, ZHAO Xiqiang<sup>1,2</sup>, ZENG Xiandong<sup>1,2</sup>, REN Wenkai<sup>1,2</sup> WANG Cunlong<sup>1,2</sup>

(1. Shandong Geological Surveying Institute, Shandong Jǐnan 250013, China; 2. Shandong Engineering Research Center for Geochemistry and Pollution Prevention and Control of Land Quality, Shandong Jinan 250014, China; 3. Shandong Geo-engineering Exploration Institute, Shandong Jǐnan 250014, China)

**Abstract:** In the past 20 years, through four projects, such as eco-geochemical survey in the lower reaches of the Yellow River basin in Shandong Province, land quality geochemical survey and evaluation with the scale of the 1:250000 in Shandong province have been completed with financial funds. Based on geochemical survey data of 54 indexes, such as Ag, As, Au and B in surface soil, geochemical parameters and characteristics of surface soil in 17 cities of Shandong province have been studied by administrative region statistics. The geochemical background values of 17 cities of Shandong province have been determined. Comparing with those of the whole country and province, their differences have been analyzed.

**Key words:** Ecological geochemistry; topsoil; background value; basic data; administrative region; Shandong province