

山东省桓台地区土壤 F 的地球化学特征及其影响因素

侯拓¹, 冯海艳^{1*}, 杨忠芳¹, 王增辉²

HOU Tuo¹, FENG Haiyan^{1*}, YANG Zhongfang¹, WANG Zenghui²

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Shandong Geological Surveying Institute, Jinan 250013, Shandong, China

摘要:为研究土壤氟的地球化学特征及其影响因素,选取山东省桓台地区为研究区,系统采集了70件表层土壤样品,并测试分析了其中F元素、有机碳含量、pH值等共计8项指标。绘制了元素地球化学图,掌握了该区F元素含量的空间分布特征。研究表明,表层土壤F含量范围为466.30~793.40 mg/kg,平均F含量为621.31 mg/kg,显著高于山东省背景值和全国背景值,具有潜在环境生态风险。研究区总面积70%的土壤F含量较高,其中F含量过剩的土壤相对集中分布在城镇附近;研究区东南部青银高速附近和北部呈零星分布的土壤中氟为适中及边缘含量水平。土壤中F含量主要受控于土壤pH、有机碳含量和施肥。该研究结果为改善研究区环境质量,防止地方性氟中毒提供了基础数据和科学依据。

关键词:土壤;氟;地球化学;影响因素;山东桓台

中图分类号:P595;S158.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)09-1584-08

Hou T, Feng H Y, Yang Z F, Wang Z H. Geochemical characteristics and influencing factors of soil fluorine in the Huantai area of Shandong Province. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(9): 1584-1591

Abstract: In order to investigate the geochemical characteristics and influencing factors in the Huantai area of Shandong Province, a total of 70 topsoil samples were collected and a total of 8 indicators including fluorine, organic matter and pH etc. were analyzed. Based on the geochemical map of the fluorine element, the spatial distribution characteristics of the fluorine content in the study area were studied. The results show that fluorine contents of analyzed samples range from 466.30 to 793.40 mg/kg, with the average value of 621.31 mg/kg, which is significantly higher than the background value of the Shandong Province and national levels. The study area has potential environmental and ecological risks. The area of soil with high fluorine content accounts for about 70% of the total area. The soil with excess fluorine content is concentrated in the vicinity of towns. The fluorine is moderate and the marginal content is distributed in the vicinity of Qingyin Highway in the southeast of the study area and in the northern part. The fluorine contents in the soil are mainly controlled by pH, organic carbon contents and fertilization. This study can provide basic data and the scientific approach for improving environmental quality and preventing endemic fluorosis in the Huantai area.

Key words: soil; fluorine; Geochemical; influencing factors; Huantai, Shandong

F 是人体必需的微量元素,与人的健康息息相关。F 具有双阈值性,饮用水和食物中氟的缺乏,会

影响人和动物牙齿的发育,而氟过量则会造成氟中毒,产生骨硬化等症状^[1]。土壤作为 F 元素的主要

收稿日期:2020-01-16;修订日期:2020-06-01

资助项目:山东省国土资源项目《山东省中南部地区农业生态地球化学调查及全省总结》(编号:鲁国土资字[2011]1184号2-5-2014-35)

作者简介:侯拓(1995-),男,硕士,从事环境地球化学研究。E-mail:986958463@qq.com

*通信作者:冯海艳(1974-),女,副教授,从事环境和生态地球化学的教学和科研工作。E-mail:haiyan@cugb.edu.cn

载体,通过食物链影响着人类的身体健康。

自然界岩石中的含氟矿物主要有萤石(CaF_2)、氟磷灰石 $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}]$ 、云母和闪石、冰晶石(Na_3AlF_6)、氟盐(NaF)和黄玉 $[\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{F}_2]$ 及某些粘土^[2-3],在成土母岩风化发育过程中,受到气候、生物等因素的影响,使F在土壤中重新分配^[4]。此外,以气体(如 HF 、 SiF_4 、 F_2 和 H_2SiF_4)和颗粒(如 CaF_2 、 NaF 和 Na_2SiF_6)形式存在于大气中的F也会随着降雨进入土壤,使土壤中F的含量增加^[5]。土壤中F元素含量也会受到人为活动的影响。由于F在工业生产中的广泛使用,大量的含F废弃物进入环境后,其中一部分直接或间接进入土壤;施肥、灌溉、喷洒农药等农业生产活动也是导致土壤F含量升高的重要因素^[6-9]。土壤中F含量也与土壤类型和土壤理化性质有关,如pH值、有机碳含量、质地等^[10-14]。

国内外对F的研究相对集中于饮水和大气中的氟污染^[15-18],而对土壤F的研究较少。土壤F含量的高低直接关系着食物链中农作物品质和人类的饮食安全。因此,对土壤F的系统研究非常必要。山东省是中国受地方性氟中毒危害最严重的病区省份之一^[19]。本次选择山东省主要生产大宗农作物玉米和小麦的吨粮县桓台为研究区,通过采集表层土壤样品,研究土壤F的地球化学分布特征及其影响因素,为改善研究区的环境质量,防止地方性氟中毒提供基础数据和科学依据。

1 研究区概况

山东省桓台县地处鲁中山区和鲁北平原的结合地带,属淄博市辖县,位于山东省中部偏北,淄博市北部。该县地处黄河中下游鲁北平原南缘,地势南高北低,由西南向东北缓倾,中南部为山前倾斜洪冲积平原,北部为黄泛平原。地表覆盖300 m以上的古近纪—新近纪和第四纪松散岩层。该地区气候为温带大陆性季风型气候,四季分明,春季干旱多风;夏季有雨热同季的特点,雨水较多,气温炎热;秋季凉爽少雨;冬季寒冷干旱,多西北风。全年降水量在600 mm左右,除夏季外其他季节降水较少,多出现季节性干旱。研究区地理坐标为北纬 $36^{\circ}51'50''\sim 37^{\circ}06'00''$ 、东经 $117^{\circ}50'00''\sim 118^{\circ}10'40''$,土壤类型以褐土为主,其次为砂姜黑土,分布面积最小的土壤类型为潮土,主要作物为玉米和小麦。

2 实验材料与方法

2.1 样品采集和处理

本次研究表层土壤样品采集密度为2件/ 4 km^2 ;采集深度为0~20 cm,共采集70件样品。每个土壤样品采样时以GPS定位点为中心,向四周辐射50~100 m为分样采集点,3点等分组合成1件混合土样。3点的采样部位、深度及质量均保持一致。土壤样品采集优先选择分布面积最广的农业用地土壤,避开了明显点状污染的地段,以及新近搬运的堆积土、垃圾土、局部低洼地、高岗地、田埂等处,确保样品具有代表性。野外样品采集严格按照《多目标地球化学调查规范(1:250 000)》(DD2005—01)^[20]。采样点分布如图1所示。

土壤样品置于室内通风处自然风干,并注意防止酸、碱等气体及灰尘污染。在风干过程中,适时翻动,并将大土块捏碎以加速干燥,同时剔除土壤以外的杂物;风干后的土壤样品,按照以下要求进行初加工:将风干后的样品平铺在制样板上,将植物残体、石块等侵入体和新生体剔除干净,采用静电吸附的方法清除细小已断的植物须根;土壤用木棍碾压,压碎的土样全部通过2 mm的孔径筛。

2.2 分析方法和数据处理方法

土壤样品测定F、有机碳含量、pH值等8项指标。测定过程在自然资源部武汉矿产资源监督检测中心完成。分析检测严格执行《区域生态地球化学评价规范》(DZ/T 0289—2015)^[21]和《生态地球化学评价样品分析技术要求》(DD2005—3)^[22]。采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)、全谱直读光谱法(ICP-OES)、X射线荧光光谱法(XRF)、原子荧光光谱法(AFS)、离子选择性电极法(ISE)、沉降法(VOL)、液相沉降法测定相关元素指标。测试过程中均采用国家一级标准物质的测试结果进行准确度($\Delta\lg C$)检验,实验室插入的重复样测试结果进行精密度(RD%)检验。准确度采用 $\Delta\lg C = |\lg C_i - \lg C_s|$ 检验,其中 C_i 为某标准样的某次测试结果, C_s 为该标准样的标准值;精密度采用 $RD = |C_1 - C_2| / [(C_1 + C_2) / 2] \times 100$, C_1 和 C_2 分别为基本分析样和重复样的测试结果。各指标的分析方法、单位、检出限、准确度 $\Delta\lg C$ 和精确度RD见表1。上述各指标的准确度和精密度均符合要求。

数据处理使用SPSS 13.0软件进行统计分析,相

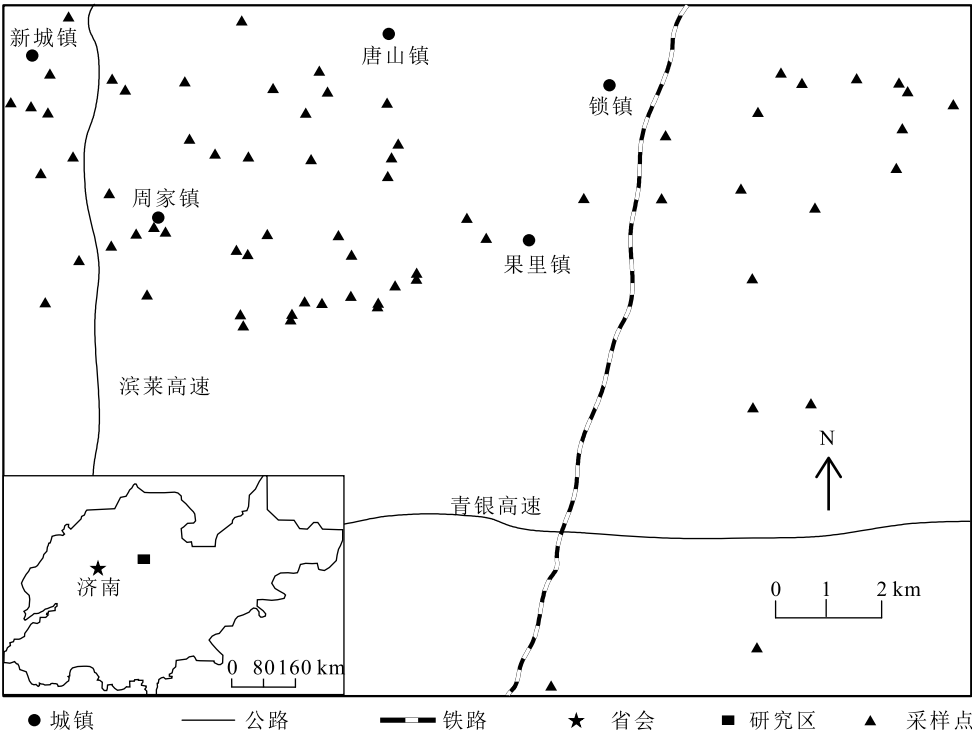


图1 山东省桓台地区土壤样品采样点位分布

Fig. 1 The distribution of soil sampling sites in the Hantai area, Shandong Province

关分析采用 Pearson 相关分析。地球化学图使用 ArcGIS 10.2 软件制作。

3 结果与讨论

3.1 表层土壤理化性质和 F 含量特征

研究区表层土壤理化性质统计特征见表 2。研

表 1 样品中各指标的分析方法和检出限

Table 1 Analysis method and detection limits for various indicators in samples

指标	分析方法	检出限	准确度 $\Delta\lg C$	精确度 RD/%
F	ISE	30 mg/kg	0.01	0.78
Se	AFS	0.01 mg/kg	0.01	4.51
CaO	ICP-OES	0.0002%	0.01	5.20
pH	ISE	0.01(无量纲)	0.04	1.64
有机碳	VOL	0.0002%	0.01	2.27
Cd	ICP-MS	0.02 mg/kg	0.01	3.85
P	XRF	5 mg/kg	0.01	0.58
粒度	液相沉降法	0.001%	0.01	3.21

究区表层土壤均呈弱碱性至碱性(7.59~8.47)。表层土壤 F 含量的变化范围为 466.30~793.40 mg/kg,平均含量为 621.31 mg/kg,显著高于山东省(534 mg/kg)^[23]和全国土壤 F 含量的背景值(478 mg/kg)^[24]。

根据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295—2016)中氟元素的等级标准,研究区 81.4%表层土壤样品中 F 含量属于高和过剩。具体含量等级详见表 3。表明研究区土壤 F 含量偏高,具有潜在环境生态风险。

表 2 土壤理化性质统计特征

Table 2 Statistics of physical and chemical properties of soils

指标	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数
F/(mg·kg ⁻¹)	466.30	793.40	621.31	70.15	0.11
Se/(mg·kg ⁻¹)	0.08	0.56	0.29	0.07	0.24
CaO/ %	1.88	10.48	4.36	1.74	0.40
pH	7.59	8.47	—	—	—
有机碳/ %	0.25	2.38	1.46	0.35	0.24
Cd/(mg·kg ⁻¹)	0.10	0.29	0.18	0.04	0.22
P/(mg·kg ⁻¹)	433.50	2824.27	1374.54	427.31	0.31

为进一步了解桓台地区土壤 F 含量水平,本次收集了中国有代表性的表层土壤全 F 含量进行比较(表 4)。桓台地区土壤 F 含量相比国内其他地区变化幅度较大,在一定程度上反映了后期人类活动对土壤 F 含量的贡献;研究区土壤 F 含量最小值相比其他地区较高,可能是桓台地区的成土母质中 F 含量较高所致。

3.2 表层土壤 F 含量的空间分布特征

通过 ArcGIS 10.2 中反距离权重法绘制研究区表层土壤 F 元素的地球化学图,可以直观地反映其空间分布特征。研究区表层土壤 F 含量的空间分布特征如图 2。研究区大部分土壤 F 含量较高(大于 500 mg/kg),其面积约占研究区总面积的 70%,其中 F 含量过剩的土壤相对集中分布在城镇附近;研究区东南部青银高速附近和研究区的北部呈零星分布的土壤中 F 为适中及边缘含量水平。

3.3 表层土壤中 F 含量的影响因素

表层土壤中 F 含量一方面受到自然因素和人为因素的控制,另一方面受到土壤本身理化因素的影响。本文从成土母质、人为源和土壤理化性质 3 个方面讨论表层土壤中 F 含量的影响因素。

3.3.1 成土母质

成土母质受地质体本底含量的控制^[8-9]。不同母质形成的土壤,F 含量差异很大。即使同一种母质发育的土壤,由于成土过程的不同也会对土壤 F 含量产生影响^[3]。为研究 F 的来源,本次研究采集土壤剖面 1 个,剖面中土壤样品 10 件。F 元素在不同深度下对应的含量变化如图 3 所示。由图 3 可以看出,F 元素从深层到表层含量变化不大,体现了明显的继承性。

3.3.2 人为源

表层土壤 F 含量除受自然来源影响外,还受到

表 3 土壤氟丰缺划分界限值及对应样品数和比例
Table 3 Soil fluorine division limit values and corresponding sample number and proportion

含量分级	表土总 F/(mg·kg ⁻¹)	样品数	所占比例/%
缺乏	≤400	0	0
边缘	>400~500	3	4.3
适量	>500~550	10	14.3
高	>550~700	48	68.5
过剩	>700	9	12.9

工业和农业的人为影响。工业生产活动(如钢铁、制铝、磷肥、玻璃、陶瓷、化工等含氟工业,磷矿的开采及加工,燃煤过程)排放出大量的含氟气体或尘粒等,通过降水、入渗、淋溶等过程直接或间接地把氟带入土壤。现代农业活动,如含氟磷肥、含氟农药及含氟灌溉水等也会使土壤中的 F 含量增加^[33-36]。通量指单位时间内,通过单位面积的物质质量。大气沉降、灌溉水、化肥 3 种人为输入源中 F 元素输入通量的计算方法如下。

(1) 大气沉降

大气沉降通量是通过分析集尘装置内沉降物的 F 元素含量,结合集尘装置的面积,计算获得研究区单位面积的 F 沉降量。计算公式如下:

$$Q=C \cdot W/S \tag{1}$$

式中,Q 为大气沉降 F 元素通量(μg/(m²·a)); C 为大气沉降中 F 元素的含量(mg/kg); W 为大气沉降质量(g); S 为集尘装置面积(m²)。该数据由山东省地质调查研究院提供,采集周期为一年。

(2) 灌溉水

桓台地区灌溉水用量数据来自山东省地质调查研究院,灌溉水体积为 1.2341×10¹¹ m³,实际灌溉面积为 4.6498×10¹¹ m²。灌溉水氟通量计算公式如下:

$$Q=1000C \cdot V \tag{2}$$

式中,Q 为灌溉水中 F 元素通量(μg/(m²·a)); C 为灌溉水 F 元素含量(μg/L); V 为灌溉水用量(m³/(m²·a))。

表 4 中国部分地区土壤 F 含量对照
Table 4 Fluorine content in soil of some districts in China

地区	全 F 含量/(mg·kg ⁻¹)	来源
韩江三角洲南部	125~983	[3]
冀中南平原	170~1005	[8]
湖北省恩施地区沐抚乡	579~889	[25]
山西运城	405~766	[26]
山西山阴、应县	379~684	[27]
成都平原	293~566	[28]
青海民和县	650~890	[29]
陕西渭南	234~527	[30]
四川开县	>1000	[31]
赤峰市	242~531	[32]
桓台地区	466.30~793.40	本文

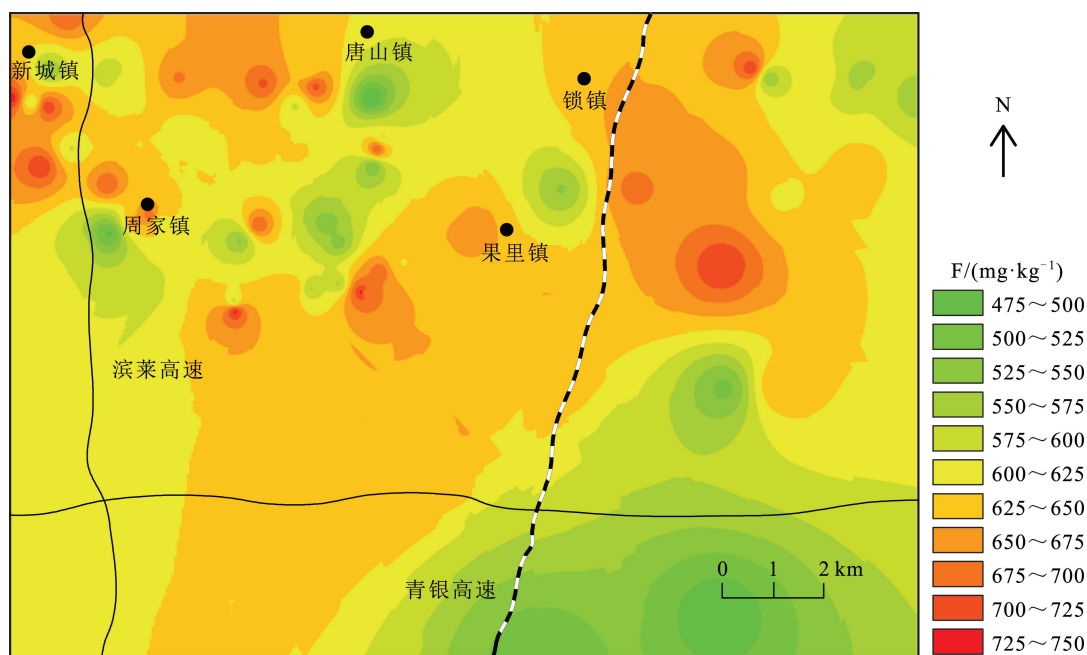


图2 桓台地区表层土壤F元素的地球化学图

Fig. 2 Geochemical map of fluorine in surface soil in the Huantai area

(3) 化肥

本次研究采集当地 90% 以上的化肥种类,在工区内选择 1~2 个销售点集中采样,获得代表性肥料样品。由于各种化肥的成分复杂,不能简单地将各种化肥等同对待,需要加权计算 F 元素的输入通量。本次根据不同种类化肥年使用量,分别计算了各种化肥的 F 元素输入通量然后加和。化肥中 F 元素输入通量计算公式如下:

$$G = \sum_{i=1}^n C_i \cdot M_i \quad (3)$$

式中, G 为化肥的 F 元素输入通量($\text{g}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$), C_i 为第 i 种化肥中 F 元素含量(mg/kg), M_i 为第 i 种化肥平均每公顷使用量(kg)。

桓台地区土壤不同来源 F 元素的输入通量的结果显示(图 4),化肥为主要输入途径,占总输入通量的 89.7%,远高于大气沉降和灌溉水。

由此可见,桓台地区土壤中 F 含量除表现出明显的继承性外,还受到农业施肥的影响。

3.3.3 土壤理化性质

土壤中 F 含量除受到成土作用过程的控制外,还受到土壤本身理化性质的制约^[10-14]。

(1) pH 值

土壤 pH 值很大程度上决定土壤氟的活动性。

F^- (离子半径:0.136 nm) 与 OH^- (离子半径:0.140 nm) 大小相近,具有相似的地球化学性质,土壤胶体和溶液中 OH^- 和 F^- 之间极易发生离子交换^[37]。在碱性条件下,水解产物多为离子态氟,游离的 OH^- 离子与 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等离子生成沉淀,减少了 F^- 产生沉淀的机会,因此大大增加了土壤中氟的活性^[29]。研究区表层 F 含量与 pH 值之间呈负相关关系(图 5),F 与 pH 值在 0.05 水平(双侧)下显著相关,说明表层土壤中 F 含量与 pH 值关系密切。

(2) 有机碳

土壤总 F 含量与土壤有机碳含量一般呈正相关关系^[38-41]。土壤有机碳中腐殖酸的复杂功能团连接着许多 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 、 Ca^{2+} 等阳离子,这些离子提供了氟吸附位。有机碳含量低的土壤,缺乏团粒结构,易渗漏,因此水溶态氟迁移作用强烈,使氟易进入深层土壤和地下水,因此有机碳含量越高,表层土壤 F 含量也越高^[12]。研究区表层 F 含量随有机碳含量增加有升高的趋势(图 6),F 与有机碳含量在 0.01 水平(双侧)下显著相关,说明表层土壤中 F 含量与有机碳含量关系非常密切。

(3) 质地

表层土壤 F 含量与质地有关。一般来说,F 含

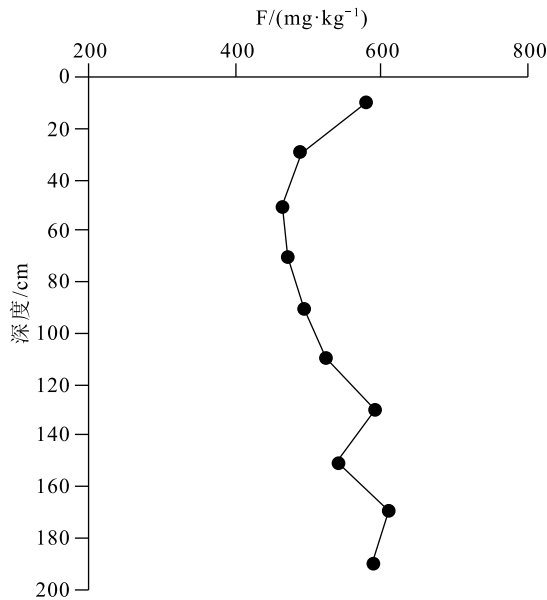


图 3 桓台地区土壤剖面氟含量垂向变化特征

Fig. 3 The distribution of total fluorine in soil section in the Huantai area

量在砂性土壤中较低,在粘性土壤中较高。土壤颗粒大小与 F 含量成反比,即颗粒越粗,F 含量越低;反之,F 含量越高^[12]。研究区 F 含量与砂粒含量之间呈负相关趋势,但并未达到显著性水平,这可能与研究区土壤质地变异程度较小有关。

(4) 其他元素(指标)

在风化成土的过程中,由于元素的地球化学性质不同,元素的迁移富集能力也不同。对 F 与其他元素(指标)进行 Pearson 相关性分析,结果显示 Cd、P、Se 和 CaO 与 F 显著相关(表 5)。

研究区土壤 F 含量与 Se、P、Cd 含量呈显著正相关关系,与 CaO 呈负相关关系。前人的研究结果

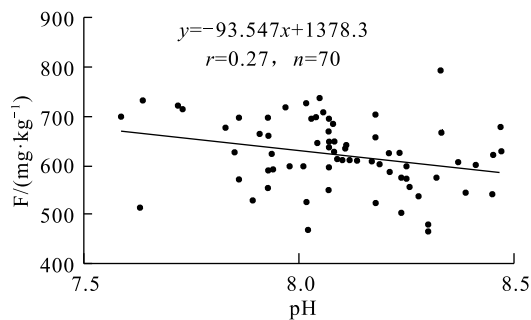


图 5 土壤 pH 与 F 含量相关关系

Fig. 5 Correlation between soil pH and F contents

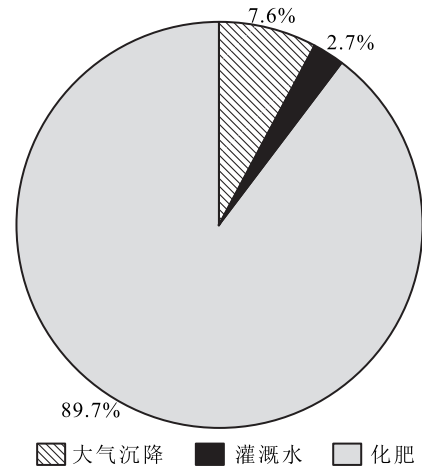


图 4 桓台地区 F 元素输入通量相对贡献率

Fig. 4 Relative contribution rate of fluorine element input flux in the Huantai area

也表明,土壤总氟受总磷、总镉、有机碳等因素的影响,与其呈正相关关系^[42]。桓台是吨粮县,农业生产中使用大量磷肥,中国中小磷肥厂生产的磷肥含氟质量分数为 10~16 g/kg^[4]。因此,表层土壤中氟和磷的正相关关系也反映出它们受到农业施肥的影响。

为深入探讨与土壤 F 含量呈显著相关性的元素(指标)之间的关系,对 F、Se、CaO 和有机碳进行了偏相关分析(表 6)。将有机碳作为控制变量后,发现 F 和 Se、CaO 并未达到显著相关。这表明 F 与 Se、CaO 和有机碳呈现出显著相关性的原因是,F、Se 和 CaO 三者的含量都与有机碳密切相关,所以引起了 F 与 Se、CaO 之间呈显著伪正相关关系。

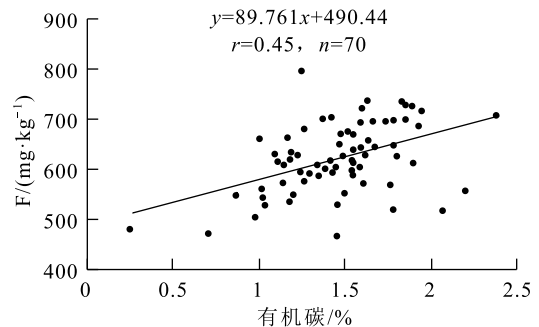


图 6 土壤有机碳含量与 F 含量相关关系

Fig. 6 Correlation between soil organic carbon contents and F contents

表 5 土壤氟含量与其他元素(指标)的相关性分析($n=70$)Table 5 Correlation between soil fluorine contents and other elements(indicators) ($n=70$)

元素(指标)	Se	Cd	P	CaO
F	0.38**	0.47**	0.67**	-0.33**

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)下显著相关

表 6 土壤 F、Se、CaO 和有机碳的偏相关分析($n=70$)Table 6 Partial correlation analysis of soil F, Se, CaO and organic carbon($n=70$)

控制变量	变量	F	Se	CaO
	F	1		
有机碳	Se	0.01	1	
	CaO	-0.18	0.18	1

4 结 论

(1) 山东省桓台地区表层土壤 F 含量范围为 466.30~793.40 mg/kg, 平均为 621.31 mg/kg, 显著高于山东省背景值和全国背景值, 且研究区 81.4% 的表层土壤样品中 F 含量属于高和过剩, 表明研究区土壤 F 含量偏高, 具有潜在环境生态风险。

(2) 山东省桓台地区大部分土壤 F 含量较高(大于 500 mg/kg), 其面积约占研究区总面积的 70%, 其中 F 含量过剩的土壤相对集中分布在城镇附近; 研究区东南部青银高速附近和研究区的北部呈零星分布的土壤中, F 为适中及边缘含量水平。

(3) 土壤中 F 元素成土母质的研究结果表明, 研究区从深层到表层土壤 F 含量变化不大, 体现了明显的继承性。

(4) 土壤中 F 元素人为源的研究结果表明, 研究区土壤 F 含量受到大气沉降、灌溉水和农业施肥的影响, 其中农业施肥的影响最显著。

(5) 表层土壤理化性质的研究结果可知, 研究区表层土壤 F 含量与 pH 值呈负相关关系; 与有机碳含量呈显著正相关关系; 与 Se、P、Cd 含量呈显著正相关关系, 与 CaO 呈负相关关系, 表明山东省桓台地区表层土壤中 F 含量主要受控于 pH、有机碳含量和施肥。

致谢:感谢项目组所有成员野外工作的付出和山东省地质调查院提供数据支持。

参考文献

[1] 薛粟尹, 李萍, 王胜利, 等. 干旱区工矿型绿洲城郊农田土壤氟的形

- 态分布特征及其影响因素研究——以白银绿洲为例[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(12): 2407-2414.
- [2] Cronin S J, Manoharan V, Hedley M J, et al. Fluoride: A review of its fate, bioavailability, and risks of fluorosis in grazed-pasture systems in New Zealand [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2000, 43(3): 295-321.
- [3] 马瑾, 周永章, 奚磊, 等. 广东韩江三角洲南部农业土壤 F 含量状况及分析[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 375-378.
- [4] 杨金燕, 苟敏. 中国土壤氟污染研究现状[J]. 生态环境学报, 2017, 26(3): 506-513.
- [5] Feng Y W, Ogura N, Feng Z W, et al. The Concentrations and sources of fluoride in atmospheric depositions in Beijing, China[J]. Water Air and Soil Pollution, 2003, 145(1): 95-107.
- [6] 焦有, 宝德俊, 尹川芬. 氟的土壤地球化学[J]. 土壤通报, 2000, 31(6): 251-254.
- [7] 李明琴, 刘远明, 廖丽萍. 贵州地氟病与碘缺乏病区环境中氟和碘的研究[J]. 环境科学研究, 2001, 14(6): 44-46.
- [8] 谷海峰, 栾文楼, 杜俊, 等. 冀中南平原土壤氟地球化学特征及其控制因素[J]. 物探与化探, 2011, 35(3): 388-392.
- [9] 李随民, 栾文楼, 韩腾飞, 等. 冀中南平原区土壤氟元素来源分析[J]. 中国地质, 2012, 39(3): 794-803.
- [10] 曹李靖. 土壤对氟离子的吸附和释放实验研究[J]. 安全与环境工程, 2000, 19(1): 246-250.
- [11] 张红梅, 速宝玉. 不同质地土对氟在土中运移规律的影响研究[J]. 工程勘察, 2005, 6(5): 15-17.
- [12] 李静, 谢正苗, 徐建明. 我国氟的土壤环境质量指标与人体健康关系的研究概况[J]. 土壤通报, 2006, 37(1): 194-199.
- [13] 谢正苗, 李静, 徐建明, 等. 基于 GIS 杭嘉湖平原土壤氟的质量评价[J]. 环境科学, 2006, 27(5): 1026-1030.
- [14] 易春瑶, 汪丙国, 靳孟贵. 水-土-植物系统中氟迁移转化规律的研究进展[J]. 安全与环境工程, 2013, 20(6): 59-64.
- [15] 王喜宽, 朱锁, 刘东, 等. 内蒙古河套地区多目标区域地球化学调查成果及其意义[J]. 现代地质, 2008, 22(6): 1064-1070.
- [16] 李世君, 王新娟, 周俊, 等. 北京大兴区第四系高氟地下水分布规律研究[J]. 现代地质, 2012, 26(2): 407-414.
- [17] 万继涛, 郝奇琛, 巩贵仁, 等. 鲁西南地区高氟水分布规律与成因分析[J]. 现代地质, 2013, 27(2): 448-453.
- [18] 冯海波, 董少刚, 史晓珑, 等. 内蒙古托克托县潜水与承压水中氟化物的空间分布特征及形成机理[J]. 现代地质, 2016, 30(3): 672-679.
- [19] 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: 49-50.
- [20] 中国地质调查局. 多目标地球化学调查规范(1:250 000) DD2005—01[S]. 2005.
- [21] 中华人民共和国国土资源部. 区域生态地球化学评价规范 DZ/T 0289—2015[S]. 2015.
- [22] 中国地质调查局. 生态地球化学评价样品分析技术要求 DD2005—03[S]. 2005.
- [23] 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.
- [24] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 271-274.

- [25] 魏顺兰, 黄淮勋. 燃煤污染型氟中毒流行病学特征[J]. 湖北预防医学杂志, 1993, 4(3): 20-22.
- [26] 曹小虎. 浅谈运城盆地高氟地下水的分布及成因[J]. 水资源保护, 2005, 21(6): 63-65.
- [27] 王敬华. 山阴与应县地区高砷高氟水的形成环境研究[J]. 内蒙古预防医学, 1997, 22(4): 145-147.
- [28] 余大富, 胡延吉. 土壤氟背景与人体氟效应[J]. 重庆环境科学, 1990, 12(3): 22-25.
- [29] 何承熙, 马世通, 李有福. 民和县地方性氟中毒流行病学初步研究[J]. 地方病通报, 1995, 10(4): 58-59.
- [30] 王燕萍. 陕西渭南地区土壤中的氟[J]. 土壤通报, 1998, 29(1): 42-43.
- [31] 王素芬, 宁大同, 张平. 不同地理环境土壤中氟元素迁移致病的途径及防治对策[J]. 农业环境保护, 1991, 10(6): 218-231.
- [32] 高洪信, 戴国均, 于泽太, 等. 土氟与地方性氟中毒关系的研究[J]. 中国地方病学杂志, 1990, 9(1): 36-39.
- [33] 杨忠芳, 朱立, 陈岳龙. 现代环境地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1999: 182-185.
- [34] 中国环境监测总站. 环境水质监测质量保证手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1984: 381-383.
- [35] 刘红樱, 赖启宏, 陈国光, 等. 珠江三角洲地区土壤 F 分布及其与地氟病关系初探[J]. 中国地质, 2010, 37(3): 657-664.
- [36] 柯海玲, 朱桦, 董瑾娟, 等. 陕西大荔县地方性氟中毒与地质环境的关系及防治对策[J]. 中国地质, 2010, 37(3): 677-685.
- [37] 郑桂森, 李良景, 吕金波. 北京地热开采中的尾水氟处理方法[J]. 地质通报, 2019, 38(1): 397-403.
- [38] 刘征原, 郝瑞彬. 氟的环境地球化学特征及生物效应[J]. 唐山师范学院学报, 2007, 29(2): 34-36.
- [39] Loganathan P, Gray C W, Hedley M J, et al. Total and soluble fluorine concentrations in relation to properties of soils in New Zealand[J]. European Journal of Soil Science, 2010, 57(3): 411-421.
- [40] 吴卫红, 谢正苗, 徐建明, 等. 不同土壤中氟赋存形态特征及其影响因素[J]. 环境科学, 2002, 23(2): 104-108.
- [41] Omuetti J A I, Jones R L. Fluoride adsorption by Illinois soils[J]. Journal of Soil Science, 1977, 28(4): 564-572.
- [42] 王凌霞, 付庆灵, 胡红青, 等. 湖北茶园茶叶 F 含量及其土壤氟分组[J]. 环境化学, 2011, 30(3): 662-667.

《地质通报》第 40 卷第 10 期要目预告

城市地下空间资源综合利用评价工作构想	葛伟亚等
特大型城市地下空间资源承载力评价方法探索——以上海市为例	刘婷等
降雨诱发浅层黄土滑坡变形破坏机制	孙萍萍等
郑州市海绵城市建设的地质适宜性评价	王翠玲等
银川市地下空间资源综合质量评价	闫金凯等
山前冲积平原型城市地下空间开发利用地质适宜性评价	李鹏岳等
基于统计学习方法的安庆市自然资源自动化监测——以山体为例	倪欢等
河南新密典型富硒区土壤硒元素地球化学特征及空间分布规律	毛香菊等
锦州城区土壤环境质量及潜在生态危害评价	代雅建等
辽阳城市土壤重金属含量特征及潜在风险评价	汪春鹏等
辽宁锦州市地质遗迹资源禀赋及保护性利用研究	赵岩等
基于遥感影像变化检测的城区暗浜自动识别方法研究——以安庆市为例	牛晓楠等
基于航空热红外高光谱 TASI 数据的城市热岛强度研究	孙秀波等
基于浅表层地温及原位热物性参数地温场预测——以安庆为例	张庆等
音频大地电磁测深法在锦州海水入侵调查中的应用	郇恒飞等
城市浅层地下古河道表征——以广东省潼湖盆地第四纪地下古河道为例	王涛等
湘南地区锡石结晶控制因素: 来自 CL 图像、微量元素和年代学证据	马收先等
黑龙江多宝山地区中侏罗世火山岩的发现及对蒙古-鄂霍茨克洋闭合影响范围的限定	郝士龙等
兴凯湖平原土壤硒地球化学特征及富硒土地开发潜力	杨泽等