

doi: 10.11720/wtyht.2020.1078

王卫星,曹淑萍,李攻科,等.津北水土环境氟地球化学特征及其环境质量评价[J].物探与化探,2020,44(1):207-214.http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1078

Wang W X, Cao S P, Li G K, et al. Geochemical characteristics and environmental quality assessment of fluorine in soil and water in northern Tianjin [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(1): 207-214. http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1078

# 津北水土环境氟地球化学特征 及其环境质量评价

王卫星,曹淑萍,李攻科,张亚娜  
(天津市地质调查研究院,天津 300191)

**摘 要:** 氟是人类必需的微量元素,缺乏或过量均会对人体健康产生不良影响。笔者对天津北部蓟州区水土环境中氟的地球化学特征及其环境质量进行研究,结果表明:表层土壤中氟含量在  $201 \times 10^{-6} \sim 8\,545 \times 10^{-6}$ , 平均为  $757 \times 10^{-6}$ , 平均含量是天津市表层土壤背景值的 1.25 倍,是全国的 1.58 倍;在土壤垂向剖面中,黏性土壤中氟含量相对高于砂性土壤;地下水氟含量在平原区平均为 1.50 mg/L,山区平均为 0.47 mg/L,平原区明显大于山区;全区超过 90% 的表层土壤氟含量表现为过剩和高水平,平原区地下水样品氟 IV 类和 V 类水所占比例达 61.54%;玉米样品氟超标比例为 26.67%,最大超标倍数大于 2 倍。总体来说,津北表层土壤和平原区地下水中氟含量显著偏高,为高氟地区,部分大宗农产品中氟含量已经出现超标现象,应该引起有关部门重视。

**关键词:** 蓟州区;氟;地球化学特征;环境质量;生态效应

**中图分类号:** P632

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8918(2020)01-0207-08

## 0 引言

氟是人类必需的微量元素,氟缺乏或过量均会对人体健康产生不良影响<sup>[1]</sup>。氟摄入不足会影响骨骼发育,导致龋齿和大骨节病;土壤中氟过量时会污染地表水和地下水,然后通过食物链传递给人体造成氟中毒,导致氟斑牙、氟骨病等地氟病<sup>[2-3]</sup>。土壤是氟环境化学体系的枢纽<sup>[4]</sup>,氟在土壤中具有多种赋存形态,不同形态受土壤 pH 值、有机质、黏粒、土壤母质等多种因素影响<sup>[5-7]</sup>。

我国很多地区已受到氟不同程度的危害。华北平原高氟地下水广泛分布,长期使用高氟地下水灌溉农田,会导致农田土壤氟含量升高,可能会引起大宗粮食作物和蔬菜中氟含量超标<sup>[8-12]</sup>。笔者对天津北部蓟州区表层土壤、土壤垂向剖面、地下水、地表水及农作物中的氟元素地球化学特征进行研究,并对其开展环境质量评价和成因初步分析,为今后该

地区相关研究和政府管理提供科学依据,也为氟地方病治理提供重要参考。

## 1 研究区概况

天津市地处华北平原东北部,研究区位于天津市最北部的蓟州区,北部为中低山区,南部为洪冲积—冲积平原地貌。

北部山区基岩地层大面积出露,被第四系覆盖的地区基岩埋深也较浅,基岩地层主要为中、上元古界长城系、蓟县系和青白口系,岩性主要为碳酸盐岩类、页岩类、砂岩类。山区内岩浆活动比较强烈,出露印支期盘山花岗岩、石白花岗岩、朱耳峪正长岩、别山正长斑岩等侵入岩体,其中以盘山花岗岩体的规模最大<sup>[13-14]</sup>。山区地下水以碳酸盐岩岩溶裂隙水为主。南部平原区主要为第四系地层覆盖,分布稳定,地下水主要为第四系孔隙水,地表水主要为州河、沟河、沟渠。北部山区农产品主要种植柿子、板

收稿日期: 2019-02-13; 修回日期: 2019-07-25

基金项目: 中国地质调查局项目(12120113002000);天津市国土资源和房屋管理局项目(国土房任[2014]32号)

作者简介: 王卫星(1982-),男,高级工程师,研究生学历,主要从事应用地球化方向的研究工作。Email:66318420@qq.com

栗、酸梨、苹果、红果等经济类果树,南部平原主要种植大宗农作物小麦和玉米。

2 样品采集与分析

2.1 表层土壤样品

根据《多目标地球化学调查规范》(DD 2005-01)、《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295-2016)开展区域表层土壤样品布置、采集和加工工作。表层土壤采用网格化与地块相结合的方法均匀布点,在地块中心位置定位采样点中心,在中心点位及附近 20 m 范围内 4 处采集 0~20 cm 深度土壤组合成 1 件样品。共采集 5 782 件土壤样品,平原区平均采样密度 7.0 个/km<sup>2</sup>,山区果园平均采样密度 10 个/km<sup>2</sup>,山区林地平均采样密度 1 个/km<sup>2</sup>。每件样品原始质量大于 1 kg,在室内自然晾干后过 10 目尼龙筛,取筛下样品 200 g 装纸袋送实验室分析元素含量。

2.2 土壤剖面样品

土壤纵剖面样品在平原区均匀布置 7 条,取样间隔为 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm、100~120 cm、120~150 cm,每条剖面取样 7 件。考虑到山区土壤覆盖层薄,很多果园地土壤层厚度只有 30~50 cm,没有采集剖面样品。每件样品原始质量大于 1 kg,在室内自然晾干后过 10 目尼龙筛,取筛下样品 200 g 装纸袋送实验室分析元素含量。

2.3 地下水与地表水样品

均匀采集地下水样品 47 件,采集时一般抽水半小时后再取样,取样前先用待取水洗涤样瓶和塞子 3~5 次,泵口处截取。地表水样品主要采集南部平原区用于农田灌溉的地表水,在该地区最大的河流

州河中,从上游到下游均匀采集 7 件地表水样品,在途径该地区南部的沟河中采集 1 件地表水样品,采集水量充沛的沟渠水样品 3 件。共采集地表水样品 11 件。所有样品在采集后 24 h 内送到化验室测试。

2.4 农作物样品

平原区采集大宗农产品小麦和玉米籽实样品,山区采集名特优水果类农产品柿子、板栗、酸梨、苹果、红果。小麦和玉米籽实样品各采集 30 件,水果类农产品各采集 15 件。

各类样品的测试方法和检测依据如表 1 所列。

3 环境质量评价方法

土壤中氟评价方法依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295-2016)中分级标准,土壤中氟划分为缺乏、边缘、适量、高、过剩 5 个等级(表 2)。地下水中氟评价方法依据《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中分类标准,地表水中氟评价方法依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中分类标准,氟均划分为Ⅰ类、Ⅱ类、Ⅲ类、Ⅳ类、Ⅴ类 5 个等级(表 2)。小麦、玉米籽实及水果类食用农产品依据《食品中污染物限量》(GB 2762-2005)中标准限值来评价。

4 不同介质氟的地球化学特征

4.1 表层土壤氟地球化学特征

对 5 782 件表层土壤氟含量测试分析结果进行统计,表层土壤中氟含量最小值为 201×10<sup>-6</sup>,最大值为 8 545×10<sup>-6</sup>,中位值为 657×10<sup>-6</sup>,标准差为 141,平均值为 757×10<sup>-6</sup>,变异系数为 18.63%。研究区氟

表 1 各类样品氟分析方法配套方案

Table 1 Complementary scheme for fluorine analysis of various samples			
样品种类	处理方法	测试方法	检测依据
土壤	0.5000 g 样品、碱熔	选择性离子电极法	DD2005-01
地下水		选择性离子电极法	DZ/T0064.54-1993
小麦、玉米籽实	扩散法	F 试剂比色法	GB/T5009-2003, DD2005-03
水果类	扩散法	F 试剂比色法	GB/T5009-2003, DD2005-03

注:检测单位为国土资源部天津矿产资源监督检测中心

表 2 土壤、地下水和地表水中氟等级划分标准

Table 2 Standards for classification of fluorine in soil, groundwater and surface water					
等级	缺乏	边缘	适量	高	过剩
土壤标准值/10 <sup>-6</sup>	≤400	>400~500	>500~550	>550~700	>700
类别	Ⅰ类	Ⅱ类	Ⅲ类	Ⅳ类	Ⅴ类
地下水限值/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤2.0	>2.0
地表水限值/(mg·L <sup>-1</sup> )	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.5	≤1.5

平均含量是天津市表层土壤背景值( $604\times10^{-6}$ )的1.25倍,是全国表层土壤背景值( $478\times10^{-6}$ )的1.58倍,因此,本区表层土壤中氟含量整体相对偏高。

使用金维 GeoIPAS 3.2(化探专业版)和 MapGIS 软件制作蓟州区表层土壤氟地球化学分布图,数据进行网格化处理后,采用累积频率计算对应的元素含量,将氟含量划分为为15个级别。氟含量由低到高采用蓝、蓝绿、黄、橘红、红5个基本色区,以颜色的自然过渡来反映元素含量的变化(图1)。从图1中可以看出,表层土壤氟地球化学高值区(深橘红、红区)集中连片出现在山区的官庄镇北—下营镇西—罗庄子镇—穿芳峪镇区域,沉积岩中白云岩、页岩氟含量相对较高,这可能与这一地区出露的蓟县系雾迷山组和杨庄组碳酸盐岩地层有关,属于地质高背景区<sup>[15-16]</sup>。

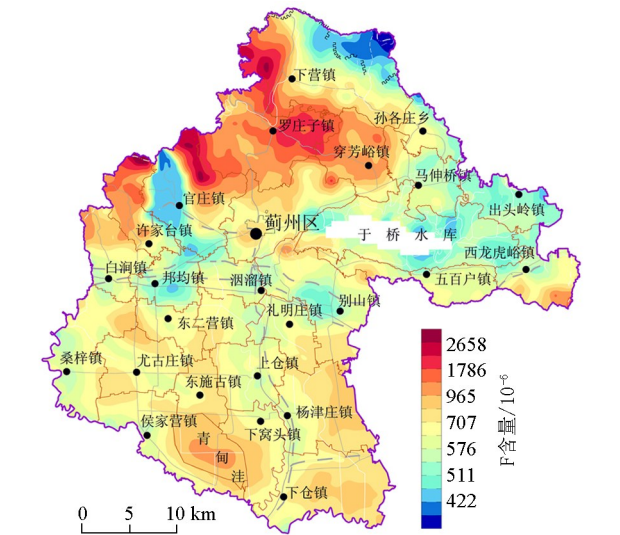


图1 蓟州区表层土壤氟地球化学分布  
Fig.1 Fluorine geochemical map of surface soil

### 4.2 剖面土壤氟地球化学特征

为研究不同深度土壤中氟的分布规律,在土层深厚均匀的平原区耕地中布置7条土壤剖面,采集0~150 cm 范围内不同深度深度土壤样品,测试了土壤中氟的含量。前人研究表明,土壤中氟的分布与土壤黏粒含量和 pH 值有关,土壤黏重氟含量相对偏高,砂性土壤氟含量相对偏低,氟含量在土壤垂向剖面的变化趋势与黏土层的分布有关,土壤氟含量随黏土成分的增加而升高<sup>[16-21]</sup>。

从表3、图2中可以看出,①J01 土壤剖面中,上部黏土中氟含量相对于中一下部粉砂质黏土—粉砂土中氟含量偏高;②J02 土壤剖面中,底部黏土中氟含量相对于中上部粉砂质黏土中氟含量偏高;③J03 土壤剖面中,下部粉质黏土中氟含量相对于上部粉

砂质黏土中氟含量偏高;④J04 土壤剖面中,中—上部黏土中氟含量相对于底部粉砂质黏土中氟含量偏低;⑤J05 土壤剖面中,上部、下部黏土中氟含量相对于中部粉砂质黏土中氟含量偏高;⑥J06土壤剖

表3 蓟州区土壤剖面特征简述  
Table 3 Brief description of soil profile characteristics

编号	采样深度/cm	岩性
J01-1	0~20	棕色黏土
J01-2	20~40	棕色黏土
J01-3	40~60	棕色黏土
J01-4	60~80	棕黄色粉砂质黏土
J01-5	80~100	灰黄色粉砂质黏土
J01-6	100~120	灰褐色粉砂土
J01-7	120~150	灰褐色、黄褐色粉砂土
J02-1	0~20	灰褐色黏土
J02-2	20~40	灰褐色粉质黏土
J02-3	40~60	灰褐色粉砂质黏土
J02-4	60~80	黄褐色粉砂质黏土
J02-5	80~100	黄褐色粉砂质黏土
J02-6	100~120	灰褐色粉砂质黏土
J02-7	120~150	灰褐色、灰黑色黏土
J03-1	0~20	黄褐色粉砂质黏土
J03-2	20~40	黄褐色粉砂质黏土
J03-3	40~60	黄褐色粉砂质黏土
J03-4	60~80	黄褐色粉质黏土
J03-5	80~100	黄褐色粉质黏土
J03-6	100~120	黄褐色粉质黏土
J03-7	120~150	黄褐色粉质黏土
J04-1	0~20	灰褐色黏土
J04-2	20~40	灰褐色黏土
J04-3	40~60	深灰褐色黏土
J04-4	60~80	黄褐色黏土
J04-5	80~100	黄褐色黏土
J04-6	100~120	黄褐色粉砂质黏土
J04-7	120~150	黄褐色粉砂质黏土
J05-1	0~20	褐色黏土
J05-2	20~40	褐色黏土
J05-3	40~60	黄褐色粉砂质黏土
J05-4	60~80	黄褐色粉砂质黏土
J05-5	80~100	黄褐色黏土
J05-6	100~120	黄褐色黏土
J05-7	120~150	黄褐色黏土
J06-1	0~20	褐色黏土
J06-2	20~40	褐色黏土
J06-3	40~60	黄褐色粉砂质黏土
J06-4	60~80	黄褐色粉砂质黏土
J06-5	80~100	黄褐色粉砂质黏土
J06-6	100~120	黄褐色粉砂质黏土
J06-7	120~150	黄褐色粉砂质黏土
J07-1	0~20	褐色黏土
J07-2	20~40	褐色黏土
J07-3	40~60	褐色黏土
J07-4	60~80	褐色黏土
J07-5	80~100	黄褐色黏土
J07-6	100~120	黄褐色黏土
J07-7	120~150	黄褐色黏土

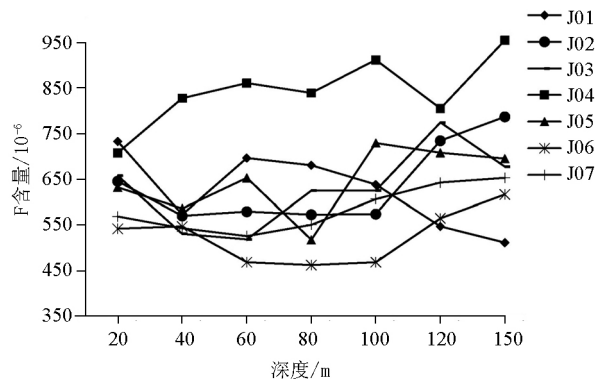


图 2 衢州区土壤剖面氟分布特征

Fig.2 Distribution characteristics of fluorine in soil profile in Jizhou district

面上部为黏土,中一下部为粉砂质黏土,氟含量特征曲线表现为中部低两边高的特征;⑦J07 土壤剖面从上到下均为黏土,氟含量特征曲线整体表现为中

部低两边高的特征。总体来说,在土壤垂向剖面中氟含量高低与土壤质地有关,黏性土壤中氟含量相对高,砂性土壤中氟含量相对低。

4.3 地下水与地表水氟含量特征

平原区地下水含水层主要为第四系松散地层,从表 4 可以看出,氟含量范围在 0.32~4.89 mg/L 之间,平均值为 1.50 mg/L,中位值为 1.13 mg/L,最高值出现在东施古镇。山区地下水含水层主要为花岗岩或碳酸盐岩等基岩地层,氟含量范围在<0.20(低于检出限)~2.55 mg/L 之间,平均值为 0.47 mg/L,中位值为 0.32 mg/L,最高值出现在许家台镇。从数据分布整体来看,平原区地下水氟含量大于山区。

地表水主要来自南部平原用于农田灌溉的河水或渠水,从表 5 可以看出,地表水氟含量范围在 0.24~1.00 mg/L 之间,平均值为 0.59 mg/L,中位值为 0.60 mg/L,南部平原区用于农田灌溉的地表水中氟含量整体不高。

表 4 衢州平原区及山区地下水氟分布特征与环境质量评价

Table 4 Distribution characteristics and environmental quality assessment of groundwater fluoride in plain and mountain areas of Jizhou

样品 编号	地理 位置	井深 /m	氟含量 /(mg·L <sup>-1</sup> )	评价 类别	样品 编号	地理 位置	井深 /m	氟含量 /(mg·L <sup>-1</sup> )	评价 类别
平原区					山区				
JP1	马仲桥镇	100	0.86	V	JS1	下营镇	100	0.32	V
JP2	出头岭镇	160	1		JS2	下营镇	15	<0.20	
JP3	出头岭镇	30	0.32		JS3	下营镇	30	0.5	
JP4	西龙虎峪镇	110	0.56		JS4	罗庄子镇	208	0.5	
JP5	殷溜镇	70	0.92		JS5	穿芳峪镇	330	0.45	
JP6	殷溜镇	70	2.02	V	JS6	孙各庄乡	30	0.96	
JP7	五百户镇	60	0.32		JS7	孙各庄乡	15	0.25	
JP8	别山镇	120	0.51		JS8	官庄镇	70	0.32	
JP9	尤古庄镇	60	2.45		JS9	罗庄子镇	200	0.29	
JP10	东二营乡	60	3.1		JS10	穿芳峪镇	130	0.7	
JP11	东赵各庄乡	100	1.6	IV	JS11	许家台镇	44	0.27	
JP12	礼明庄镇	60	2.1	V	JS12	官庄镇	14	<0.20	
JP13	别山镇	50	0.7	IV	JS13	官庄镇	70	0.26	
JP14	杨津庄镇	60	1.68		JS14	渔阳镇	130	<0.20	
JP15	候家营镇	120	2.65		JS15	白涧镇	100	0.25	
JP16	东施古镇	70	4.89	V	JS16	许家台镇	20	0.26	
JP17	杨津庄镇	100	2.49	V	JS17	白涧镇	90	0.25	
JP18	杨津庄	60	1.81	IV	JS18	许家台镇	100	2.55	
JP19	下窝头镇	100	1.87	IV	JS19	白涧镇	70	0.42	
JP20	候家营镇	80	1.31	IV	JS20	邦均镇	80	0.39	
JP21	杨津庄镇	100	1.13	IV	JS21	下营镇	30	0.55	
JP22	杨津庄镇	50	1.08	IV					
JP23	杨津庄镇	50	1.08	IV					
JP24	下仓镇	70	0.79	IV					
JP25	下仓镇	60	1.13						
JP26	下仓镇	90	0.7						
最小值		0.32	最大值	4.89	最小值		<0.20	最大值	2.55
平均值		1.5	中位值	1.13	平均值		0.47	中位值	0.32



表 5 蓟州区地表水氟分布特征与环境质量评价  
Table 5 Distribution characteristics and environmental quality assessment of surface water fluoride

样品编号	地理位置	水源	氟含量/(mg·L <sup>-1</sup> )
JB1	漈溜镇	州河河水	0.24
JB2	下仓镇	州河河水	0.34
JB3	上仓镇	州河河水	0.35
JB4	上仓镇	州河河水	0.41
JB5	杨津庄镇	州河河水	0.60
JB6	下仓镇	州河河水	0.65
JB7	下仓镇	州河河水	0.86
JB8	桑梓镇	沟河河水	0.70
JB9	侯家营镇	渠水	0.60
JB10	下窝头镇	渠水	0.73
JB11	下仓镇	渠水	1.00
最小值		0.24	最大值 1.00
平均值		0.59	中位值 0.60

5 氟环境质量评价

使用金维 GeoIPAS 3.2(化探专业版)和 MapGIS 软件制作蓟州区表层土壤氟环境质量等级分布图,评价单元为第二次土地调查地块图斑,依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295-2016)中分级标准进行环境质量评价。从图 3 可以看出,蓟州区表层土壤中氟含量水平在绝大部分地区处于过剩和高的等级,超过全区土壤面积的 90%,其中氟过剩等级(图中红色区)集中连片出现在山区的官庄镇北—下营镇西—罗庄子镇—穿芳峪镇地质高背景区域,以及上仓—杨津庄—下仓镇东部区域、青甸洼区域;边缘等级仅集中分布在官庄镇的盘山花岗岩体地区。

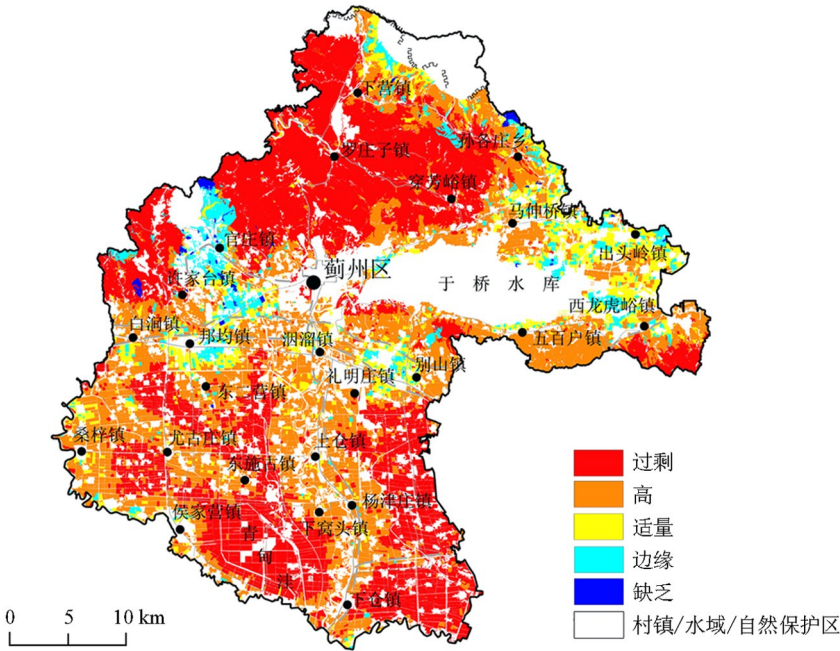


图 3 蓟州区表层土壤氟环境质量等级分布  
Fig.3 Assessment chart of surface soil fluoride environmental quality

依据《地下水质量标准》(GB/T14848-2017)中分类标准,蓟州平原区 26 个地下水样品中有 16 个样品氟指标评价为Ⅳ类和Ⅴ类水质,占比达 61.54%;蓟州山区 21 个地下水样品中仅有 1 个样品氟指标评价为Ⅴ类水质。从地下水中氟的整体质量评价来看,山区水质要好于平原区。

依据《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中分类标准,研究区南部平原区用于农田灌溉的地表水样品氟指标评价全部未超过Ⅳ类水质。

6 氟的来源分析

土壤中氟来源主要有两个途径,一是自然因素,即地质作用形成的成土母质;二是人为因素,即人类工农业活动所产生的含氟物质<sup>[22-25]</sup>。蓟州地区北部为基岩山区,其蓟县系杨庄组地层富含氟元素,北部山区高氟岩石地层经长期风化、剥蚀、迁移、沉积作用,在南部平原地势低洼地区富集。另外,农业生产中使用的化肥和灌溉水也是该地区农田土壤中高

氟的主要人为输入途径<sup>[1]</sup>。

特定的自然地理环境是高氟地下水形成的主要原因,通常区域内岩石地层与土壤中氟含量高,水中的氟含量也就高<sup>[26]</sup>。本区域表层土壤中氟含量均值是全国的 1.58 倍,表层土壤中氟含量整体相对偏高。土壤的理化特性,尤其是 pH 值,对氟离子在水土环境中的迁移影响很大,前人研究表明,在碱性介质环境中,土壤中水溶性氟在雨水或灌溉水的淋溶下,易迁移渗到浅层地下水中形成高氟地下水<sup>[27]</sup>。本区域表层土壤中碱性土壤占比约 38%,主要集中在南部平原的东西两侧片区<sup>[28]</sup>。因此,从地下水氟指标评价结果来看,本区域平原区地下水多为

Ⅳ类和Ⅴ类高氟地下水。

7 氟的生态环境效应

蓟州区农作物种植比较稳定,平原区主要种植大宗农作物小麦玉米,山区农作物主要为板栗、苹果、红果、柿子、酸梨等各类果树。从表 6 可以看出,依据《食品中污染物限量》(GB 2762-2005),小麦、板栗、苹果、红果、柿子、酸梨中氟含量均低于标准限值,但是玉米有 8 件样品超标,超标比例为 26.67%,最大超标倍数大于 2 倍。平原区表层土壤氟评价几乎全为高和过剩等级,农田灌溉水氟Ⅳ类和Ⅴ类水

表 6 蓟州区农作物氟含量特征与评价

Table 6 Characteristics and evaluation of fluorine content in crops

农作物	样品数	含量范围/10 <sup>-6</sup>	平均值/10 <sup>-6</sup>	标准限值/10 <sup>-6</sup>	超标数量
小麦	30	0.30~0.80	0.56	1.0	0
玉米	30	0.38~3.41	1.21	1.5	8
板栗	15	0.09~0.24	0.16	0.5	0
苹果	15	0.04~0.24	0.15	0.5	0
红果	15	0.03~0.12	0.08	0.5	0
柿子	15	0.02~0.06	0.04	0.5	0
酸梨	15	0.02~0.04	0.03	0.5	0

质在平原区分散分布,所占比例达到 61.54%,但是在该地区种植的玉米中有的氟超标有的不超标,该问题有待今后进一步深入调查研究。

8 结论

对天津北部蓟州区土壤、地下水、农作物中氟的地球化学特征进行研究,并进行环境质量评价,结果表明:

表层土壤中氟含量最小值为 201×10<sup>-6</sup>,最大值为 8 545×10<sup>-6</sup>,平均值为 757×10<sup>-6</sup>,氟平均含量是天津市表层土壤背景值的 1.25 倍,是全国的 1.58 倍,说明本区表层土壤中氟含量整体相对偏高;土壤垂向剖面氟含量高低与土壤质地有关,黏性土壤氟含量相对高于砂性土壤;平原区地下水氟含量范围在 0.32~4.89 mg/L,平均值为 1.50 mg/L,山区地下水氟含量范围在<0.20(低于检出限)~2.55 mg/L,平均值为 0.47 mg/L,整体来看,平原区地下水氟含量大于山区。

表层土壤氟环境质量评价显示,氟过剩和高等级土壤在全区占比超过 90%,其中过剩等级集中连片出现在山区的官庄镇北—下营镇西—罗庄子镇—穿芳峪镇的地质高背景区域,以及上仓—杨津庄—下仓镇东部区域、青甸洼区域;平原区地下水氟Ⅳ类

和Ⅴ类水所占比例达到 61.54%,山区仅有 1 个样品为Ⅴ类水质,地表水氟全部未超过Ⅳ类水质。

小麦、板栗、苹果、红果、柿子、酸梨中氟含量均低于标准限值,但是玉米样品氟超标比例为 26.67%,最大超标倍数大于 2 倍,应该引起有关部门注意。

参考文献 (References):

[1] 廖自基.微量元素的环境化学及生物效应[M].北京:中国环境科学出版社,1992.

Liao Z J. Environmental chemistry and biological effects of trace elements [M].Beijing: China Environmental Science Press,1992.

[2] 李端生. 环境氟与人体健康[J].吉林地质,2002,21(3): 99-105.

Li D S. Environmental fluorine and human health [J].Jilin Geology,2002,21(3): 99-105.

[3] 谢正苗,吴卫红,徐建明.环境中氟化物的迁移和转化及其生态效应[J].环境科学进展,1999,7(2): 40-53.

Xie Z M,Wu W H,Xu J M.Transfer and transformation of fluoride in environment and its ecological effects [J].Progress in Environmental Science,1999,7(2): 40-53.

[4] 焦有,魏克循.河南省重氟区土壤和地下水氟状况及土壤氟吸收特性的研究[J].水土保持研究,1994,1(5): 88-89.

Jiao Y,Wei K X.Study on fluorine status and fluorine absorption characteristics of soil and groundwater in heavy fluoride areas of Henan province [J].Study on Soil and Water Conservation,1994,1(5): 88-89.

- [5] 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.
- Wu W H, Xie Z M, Xu J M, et al. Speciation characteristics of fluorine in different soils and its influencing factors [J]. Environmental Science, 2002, 23(2): 104–108.
- [6] 于群英, 慈恩, 杨林章. 皖北地区土壤中不同形态氟含量及其影响因素[J]. 应用生态学报, 2007, 18(6): 1333–1340.
- Yu Q Y, Ci En, Yang L Z. Fluorine content of different forms and its influencing factors in soil of northern Anhui province [J]. Journal of Applied Ecology, 2007, 18(6): 1333–1340.
- [7] 李孝良, 陈效民, 孙莉, 等. 安徽省几种不同母质发育的稻田土壤氟含量及其影响因素[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(1): 73–77.
- Li X L, Chen X M, Sun L, et al. Fluorine content and its influencing factors in paddy soils with different maternal material development in Anhui province [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2009, 32(1): 73–77.
- [8] 李家熙, 吴功建, 黄怀曾, 等. 区域地球化学与农业和健康[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2000, 53–67.
- Li J X, Wu G J, Huang H Z, et al. Regional geochemistry and agriculture and health [M]. Beijing: People's Health Publishing House, 2000, 53–67.
- [9] 汤鸣皋, 沈照理, 钟佐傑. 河北平原第四系水土中氟的地球化学研究[J]. 地球科学, 1995, 20(4): 450–454.
- Tang M G, Shen Z L, Zhong Z C. Geochemistry studies on fluorine in quaternary soil and water in Hebei plain [J]. Earth Science, 1995, 20(4): 450–454.
- [10] 朱其顺, 许光泉. 中国地下水氟污染的现状与研究进展[J]. 环境科学与管理, 2009, 34(1): 42–44, 51.
- Zhu Q S, Xu G Q. Current situation and research progress of groundwater fluoride pollution in China [J]. Environmental Science and Management, 2009, 34(1): 42–44, 51.
- [11] 戴向前, 刘昌明, 李丽娟. 我国农村饮水安全问题探讨与对策[J]. 地理学报, 2007, 62(9): 907–916.
- Dai X Q, Liu C M, Li L J. Discussion and countermeasure of drinking water safety in rural areas of China [J]. Journal of Geography, 2007, 62(9): 907–916.
- [12] 易春瑶, 汪丙国, 靳孟贵. 华北平原典型区土壤氟的形态及其分布特征[J]. 环境科学, 2013, 34(8): 3195–3204.
- Yi C Y, Wang B G, Jin M G. Formation and distribution characteristics of fluorine in soil in typical areas of north China plain [J]. Environmental Science, 2013, 34(8): 3195–3204.
- [13] 陈一笠. 试论天津蓟县盘山岩体的侵入时代[J]. 天津地质学会志, 1991, 9(1): 22–26.
- Chen Y L. A discussion on the intrusion age of Panshan rock body in Jixian, Tianjin [J]. Journal of Tianjin Geological Society, 1991, 9(1): 22–26.
- [14] 陈一笠. 津北阴之气盘山岩体侵入时的大地构造环境[J]. 天津地质学会志, 1993, 11(2): 20–25.
- Chen Y L. Tectonic environment during the emplacement of Yingzhiqi Panshan rock body in northern Tianjin [J]. Journal of Tianjin Geological Society, 1993, 11(2): 20–25.
- [15] 曹淑萍. 天津市水土环境地球化学调查报告[R]. 天津市地质调查研究院, 2009, 176–178.
- Cao S P. Geochemical investigation report of soil and water environment in Tianjin [R]. Tianjin Geological Survey Research Institute, 2009, 176–178.
- [16] 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.
- Gu H F, Luan W L, Du J, et al. Geochemical characteristics and controlling factors of fluoride in soil of central south Hebei plain [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 35(3): 388–392.
- [17] 莫春雷, 宁立波, 卢天梅. 土壤中氟的垂向分布特征及其与岩性的关系[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(10): 49–52.
- Mo C L, Ning L B, Lu T M. Vertical distribution characteristics of fluorine in soil and its relation with lithology [J]. Environmental Science and Technology, 2013, 36(10): 49–52.
- [18] Zheng B S, Wu D S, Wang B B, et al. Clay with high fluorine and endemic fluorosis caused by indoor combustion of coal in south-western China [J]. Chinese Journal Geochemistry, 2006, 25(S1): 79–80.
- [19] 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.
- Jiao Y, Bao D J, Yin C F. Soil geochemistry of fluorine [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2000, 31(6): 251–254.
- [20] 孟伟, 潘自平, 何邵麟, 等. 西南氟病区典型高氟土壤的地球化学特征及氟富集原因[J]. 地球与环境, 2012, 40(2): 144–147.
- Meng W, Pan Z P, He S L, et al. Geochemical characteristics of typical high fluoride soils in fluoride disease of southwest China and the causes of fluoride concentration [J]. Earth and Environment, 2012, 40(2): 144–147.
- [21] 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.
- Li S M, Luan W L, Han T F, et al. Source analysis of fluorine elements in soil of central and south Hebei plain [J]. Geology in China, 2012, 39(3): 794–803.
- [22] 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.
- Environmental Monitoring of China. Background values of soil elements in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [23] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤图集[M]. 北京: 地图出版社, 1986: 25–26.
- Nanjing Institute of Soil Research, Chinese Academy of Sciences. Soil atlas of China [M]. Beijing: Map Publishing House, 1986: 25–26.
- [24] 杨木壮, 赖启宏, 周顺桂. 珠江三角洲海侵过程与土壤氟元素的富集效应[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28(5): 17–18.
- Yang M Z, Lai Q H, Zhou S G. Marine transgression in the Pearl River Delta and the enrichment effect of soil fluorine [J]. Marine Geology and Quaternary geology, 2008, 28(5): 17–18.
- [25] 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.

Yang Z F, Zhu L, Chen Y L. Modern environmental geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999: 182 – 185.

[26] 杨英, 尹国勋, 朱利霞. 焦作市浅层地下水氟污染及成因分析 [J]. 环境科学与管理, 2009, 34(10): 68 – 72.

Yang Y, Yin G X, Zhu L X. Fluorine pollution of shallow groundwater and its cause analysis in Jiaozuo city [J]. Environmental Science and Management, 2009, 34(10): 68 – 72.

[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.

Wang J H. Study on the formation environment of high arsenic and high fluorine water in Shanyin and Yingxian areas [J]. Neimenggu Preventive Medicine, 1997, 22(4): 145 – 147.

[28] 王卫星. 天津市蓟州区农用地质量地球化学调查评价报告 [R]. 天津市地质调查研究院, 2016: 85 – 86.

Wang W X. Geochemical investigation and evaluation of agricultural land quality in Jizhou district, Tianjin [R]. Tianjin Geological Survey Research Institute, 2016: 85 – 86.

Geochemical characteristics and environmental quality assessment of fluorine in soil and water in northern Tianjin

WANG Wei-Xing, CAO Shu-Ping, LI Gong-Ke, ZHANG Ya-Na  
(Tianjin Institute of Geological Survey, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** Fluorine is a necessary trace element for human beings, and lack or excess of fluorine will exert adverse effects on human health. In this paper, the geochemical characteristics and environmental quality of fluorine in soil, groundwater and crops in Jizhou district of northern Tianjin were studied. The results are as follows: The fluorine content in surface soil ranges from  $201\times10^{-6}$  to  $8545\times10^{-6}$ , with an average of  $757\times10^{-6}$ . The average content is 1.25 times the background value of surface soil in Tianjin and 1.58 times that in China. In the vertical profile of soil, the fluorine content is higher in cohesive soil than that in sandy soil. The average fluoride content of groundwater in plain area is 1.50 mg/L and that in mountainous area is 0.47 mg/L. The fluoride content in plain area is obviously higher than that in mountainous area. Over 90% of the surface soil fluoride content in the region is excessive and high, and the proportion of groundwater samples of fluoride IV and V in plain area reaches 61.54%. The proportion of fluorine exceeding the standard in maize samples is 26.67%, with the maximum exceeding multiple over two times. Generally speaking, the fluorine content in surface soil and groundwater in the plain area of northern Tianjin is significantly higher than that in the high fluoride area. The fluorine content in some agricultural products has exceeded the standard, to which more attention should be paid by the relevant departments.

**Key words:** Jizhou District; fluorine; geochemistry; environmental quality; ecological effect

(本文编辑: 蒋实)