

基于 GIS 杭嘉湖平原土壤氟的质量评价

谢正苗^{1,2}, 李静^{1,2}, 徐建明², 吴卫红¹

(1. 杭州电子科技大学环境科学与工程系, 杭州 310018; 2. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029)

摘要: 测定分析了浙江省杭嘉湖平原 13 个县市的土壤氟含量, 以 GIS 软件平台为基础, 利用克里格插值法揭示了该地区土壤全氟及其影响因素的空间分布特征, 按照土壤全氟指数法评价杭嘉湖平原土壤氟的健康质量。结果表明: 全氟含量的空间分布是中、东部比西部的高, 与土壤母质、pH 值、有机质、阳离子交换量、土壤质地等关系密切; 整个研究区域土壤全氟含量较低, 大多在 200~300mg/kg 之间, 有 23.7% 的土壤全氟含量低于 200mg/kg; 其中又以余杭的土壤全氟含量最低, 均在 100mg/kg 以下。

关键词: GIS; 氟; 地氟病; 评价; Kriging 插值

中图分类号: X825 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)05-1026-05

Quality Evaluation of Soil Fluorine on Hangjiahu Plain Based on GIS

XIE Zheng-miao^{1,2}, LI Jing^{1,2}, XU Jian-ming², WU Wei-hong¹

(1. Department of Environmental Science and Engineering, Hangzhou University of Electronics Science and Technology, Hangzhou 310018, China; 2. College of Environmental Science and Natural Resources, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Contents of fluorine in the plough layer (0~20cm) of paddy soils from Hangjiahu Plain were investigated to evaluate quality of fluorine using total fluorine index method. Kriging method was applied to study the spatial variability of soil total fluorine in relation to their influential factors and their distribution maps were obtained based on GIS. The results showed that the range of total fluorine (TF) contents in the soils from central and eastern parts of Hangjiahu Plain was higher than that from the western part. The concentrations of TF in soil had a close relationship with parent material, pH value, organic matter, cation exchange capacity content and soil texture. The main range of TF was 200~300mg/kg, while TF contents accounting for 23.7% of the area were less than 200mg/kg in the studied area. In which TF contents in soil in Yuhang County were the lowest, less than 100mg/kg.

Key words: GIS; fluorine; local fluoride epidemic; evaluation; Kriging method

氟(Fluorine)是与人体健康密切相关的必需微量元素, 人体摄入氟元素不足或过量均会对健康产生危害。人类地方性氟中毒流行病广泛发生于亚洲, 欧洲, 美洲, 非洲和澳洲。我国除上海市外, 其余省市都有本病流行。据卫生防疫部门流行病学调查研究, 氟中毒的主要病源是水、食物及空气中氟含量高, 其中又以饮水型分布面广^[1~3]。故以往的研究偏重饮水和大气中氟污染问题的探索, 对土壤中氟含量研究报道较少。土壤氟是大多数地方水和食物中氟的主要来源。土壤环境中氟含量过低就会导致饮用水和食物中氟的缺乏, 从而进一步影响到人和大动物牙齿的生长和龋齿的发生。反之, 当土壤环境中氟过量, 土壤中的氟可影响地表水和地下水中氟的含量, 而造成水源型氟中毒, 或是影响粮食蔬菜水果等作物中氟的含量, 进而食物链传递到动物或人体后造成氟中毒^[3]。因此, 氟的土壤健康质量已经越来越受到人们的关注。

本文以地处浙江省的杭嘉湖平原 13 个县市为研究区域, 采样分析了土壤中的氟元素及其影响因素, 重点阐述了该地区土壤中氟含量的变化情况。在

GIS 软件平台下, 通过克里格插值分析了空间分布特征, 同时对土壤氟的健康质量进行了评价并讨论其形成原因, 为改善环境, 防治龋齿和氟中毒症情况, 保证人类身体健康和农业的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

杭嘉湖平原是浙江省最大的平原, 是以杭州、嘉兴、湖州为中心的水网平原, 属长江三角洲的一部分, 范围包括嘉兴市城区和郊区、嘉善县、桐乡市、海宁市、海盐县和平湖市, 湖州市城区和郊区、长兴县和德清县, 杭州市城区和郊区大部分(包括余杭区)和临安市部分。杭嘉湖平原属于亚热带湿润季风气候, 年平均气温 16~19℃, 平均降雨量为 1200~1300mm。杭嘉湖平原地处太湖流域南缘, 介于杭州

收稿日期: 2005-05-08; 修订日期: 2005-07-13

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(G1999011809); 杭州电子科技大学科研启动基金项目

作者简介: 谢正苗(1956~), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为土壤环境污染化学和环境质量评价。

湾和太湖之间,平原东西长、南北狭,由长江、钱塘江泥沙和湖冲积、淤积而成,主要土壤为潴育型水稻土下不同土属、各种旱耕熟化土壤。地势低平,除有零星孤丘点缀外,一般海拔仅 3~7m,北部稍低,南部杭州湾沿岸略高。平原内水网交错密布^[4,5]。

1.2 土壤样品的采集及分析

本次取样采用 GPS 定位,采样点遍布杭嘉湖平原 13 个县市,样点布局严格按土壤调查的有关布点原则和土壤采样的规范要求进行,同时考虑了土地利用方式和土壤类型,并且远离砖瓦厂等氟污染源,一共采集 459 个土壤样品。利用 GIS 技术将土壤主坡面点位图数字化,并根据相应土壤表层 0~20cm 的数据资料,绘成地统计分析的土壤样点分布图(图 1)。由于杭嘉湖平原西部安吉、临安、德清等县低山丘陵分布较多,故采样点分布相对稀疏。



图 1 土壤采样点分布图

Fig. 1 Distribution pattern of collected soil samples

测定项目包括土壤 pH、有机质、阳离子交换量、土壤颗粒组成、全氟和水溶态氟。pH 用 1/5 土水比例电位法测定^[6];有机质(OM)用重铬酸钾外加热法测定^[6];阳离子交换量(CEC)用 0.5mol/L 中性 NH_4Ac 法测定^[6];土壤颗粒组成采用国际制的吸管法测定^[6];全氟(TF)采用 NaOH 碱熔法-氟离子选择电极法测定^[7];水溶态氟(W-F)采用亚沸水浸提,然后用氟离子电极法测定^[8]。

1.3 土壤专题图的产生

克里格插值法是对区域变量进行无偏最佳估值的一种可靠方法^[9]。采用 GIS 软件平台 ArcGIS8.1 中普通克里格法,在约束条件下可根据采样点的含量分布对土壤属性进行最优、无偏估值,产生土壤质量空间分布图。根据一定的土壤质量等级标准^[10],划分质量等级单元,并将其矢量化后,统计面积。

2 评价方法及标准

氟的土壤健康质量现状评价方法是采用目前国

内普遍采用的方法之一单因子指数法^[11]。计算方法如下:以土壤氟的实测值与评价标准比较,计算氟的土壤健康质量指数。

$$P_i = \frac{c_i}{S_i}$$

式中, P_i 为氟的土壤健康质量指数; c_i 为土壤中氟的实测值; S_i 为土壤中氟的评价标准,来源于大量土壤地理医学和人类流行病学数据等科学依据。 S_i 可以有低限和高限。当土壤中氟的含量低于低限时,人类因缺氟可能发生龋齿病;当土壤中氟的含量高于高限时,人类因氟过量中毒可能发生地氟病如氟斑牙和骨痛病,认为此时土壤环境受到了氟的污染。李静等^[12]以检索收集的我国文献报道的各氟病区(包括燃煤型和饮水型病区)土壤含氟量的平均值及影响土壤含氟量因素的基本特征为基本材料,发现在碱性条件下,氟病区土壤水溶性氟和浅层地下水氟含量高时,该地区的地氟病病因是以水源型氟中毒为主;在酸性条件下,土壤全氟含量高,加上高氟燃煤产生的气氟和尘氟对室内空气和食物造成氟污染,该地区的地氟病病因以食物、燃煤型氟中毒为主。由此探讨了氟的土壤健康质量指标,初步确定了氟的土壤健康质量指标的低限和高限,尤其是我国土壤中水溶性氟的评价指标:

(1) 在酸性条件下以土壤的全氟含量来判断

评价标准:采用我国地氟病发生区土壤全氟的平均值 800mg/kg ^[12] 确定土壤起始值和污染等级。中国土壤氟背景值的平均值为 478mg/kg ($50 \sim 3467\text{mg/kg}$ 范围)^[13],世界土壤氟背景值的平均值 200mg/kg ^[13]。

土壤缺氟,导致人体龋齿: $c_i < 200\text{mg/kg}$, $P_i < 0.25$

正常土壤: $200 \leq c_i < 800\text{mg/kg}$, $0.25 \leq P_i < 1$

污染土壤,导致人体地氟病: $c_i \geq 800\text{mg/kg}$, $P_i \geq 1$

(2) 在碱性条件下以土壤的水溶性氟含量来判断

评价标准:采用我国地氟病发生区土壤水溶性氟的平均值为 2.5mg/kg ^[12]。世界未污染土壤表层水溶性氟含量的正常含量为 0.50mg/kg ^[13]。

土壤缺氟,导致人体龋齿: $c_i < 0.50\text{mg/kg}$, $P_i < 0.2$

正常土壤: $0.50 \leq c_i < 2.5\text{mg/kg}$, $0.2 \leq P_i < 1$

污染土壤,导致人体地氟病: $c_i \geq 2.5\text{mg/kg}$, $P_i \geq 1$

3 结果与讨论

3.1 土壤基本理化性质的统计分析

研究区土壤表层样品基本理化性质测定结果的描述性统计分析(见表 1)和空间分布(见图 2).

表 1 杭嘉湖平原土壤的基本理化性质

Table 1 Basic properties of the soil samples on Hangjiahu Plain

项目	pH (H ₂ O)	有机质 /%	阳离子 交换量 /cmol•kg ⁻¹	颗粒组成/%		
				< 0.002mm	0.002 ~ 0.05mm	0.05 ~ 2mm
平均值	5.8	3.4	14.8	14.2	69.0	16.7
标准偏差	0.7	9.1	3.9	2.8	7.0	7.6
最小值	4.1	1.1	5.3	4.9	36.4	5.1
最大值	8.3	6.1	24.8	23.5	80.2	51.4
CV/%	12.0	26.7	26.3	19.9	10.1	45.2

表 1 数据显示,研究区土壤样品的 pH 介于 4.1 ~ 8.3 之间,平均值为 5.8,其中 pH< 6.0 的土壤有 9 691km²,占全区的 76.9%,pH 为 6.0~ 7.0 的土

壤有2 588km²,占全区的 20.5%,pH> 7.0 的土壤有 316km²,占全区的 2.5%,表明研究区土壤以酸性土壤为主,见图 2(a);有机质含量介于 1.1% ~ 6.1%,平均值为 3.4%,从分布上看,有机质的低含量主要分布在研究区中部及西北部,见图 2(b);阳离子交换量(CEC)是衡量土壤吸附性能的一个重要参数^[6,10].该研究区土壤 CEC 介于 5.3 ~ 24.8 cmol/kg 之间,平均值为 14.8cmol/kg,其中,CEC< 10cmol/kg 的土壤有2 798km²,占全区的 22.2%,均分布在研究区的西北部,CEC> 15cmol/kg 的土壤有4 201km²,占全区的 33.4%,均分布在研究区的东北部,见图 2(c);根据颗粒组成的百分比可知该地区的土壤质地以粉壤为主^[6],其中以北部土壤质地最细,粘性最大,见图 2(d).变异系数反映了总体样本中各采样点的平均变异程度,该区域沙粒含量(0.05~ 2mm)变异系数最大,达到 45.2%;而粉粒含量(0.002~ 0.05mm)最小,为 10.1%.

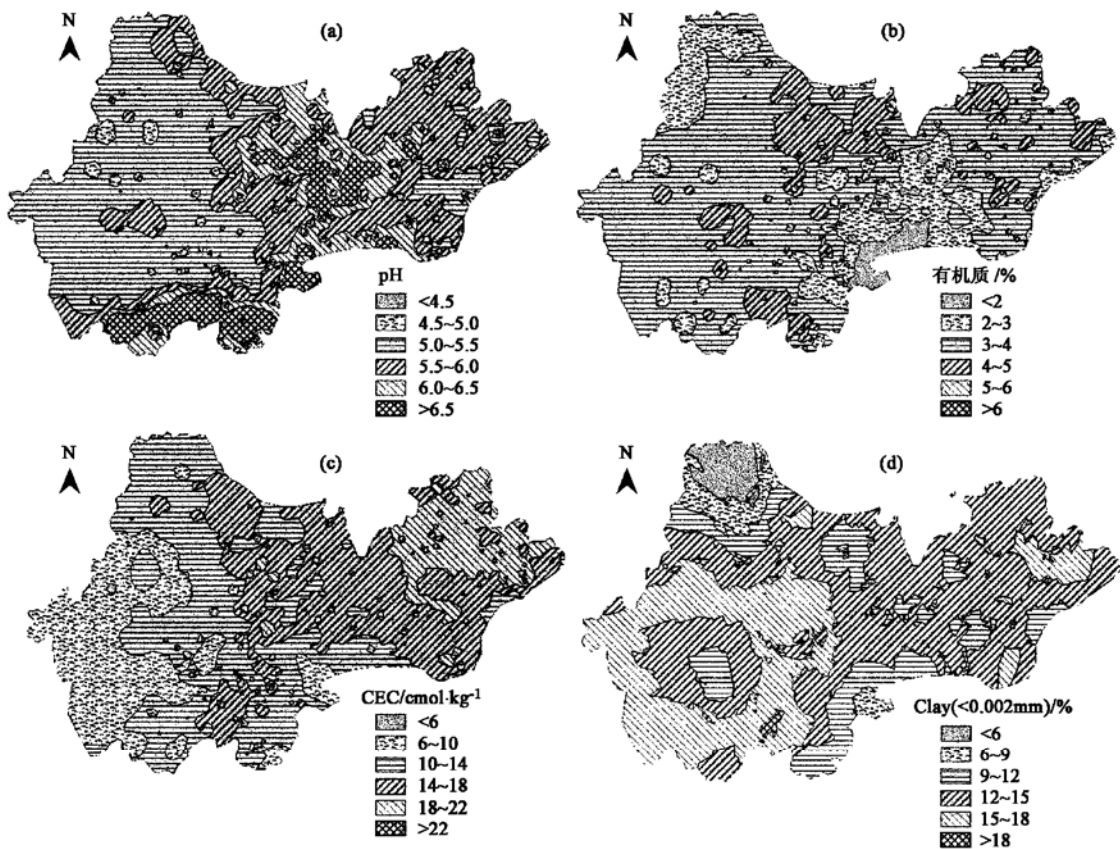


图 2 杭嘉湖平原土壤基本理化性质的空间分布图

Fig. 2 Spatial variation of basic properties of the soil samples produced by ordinary Kriging

3.2 土壤中氟含量的健康质量评价

从以上研究分析及杭嘉湖平原土壤 pH 值空间

分布图,见图 2(a).从中可以得出,该地区土壤以酸性为主,只有局部地区土壤呈碱性,故该研究区氟的

土壤健康质量评价标准采用在酸性条件下土壤的全氟含量来判断^[12], 评价标准为 800mg/kg. 杭嘉湖平原表层土壤全氟空间分布及评价结果如图 3 和图 4 所示.

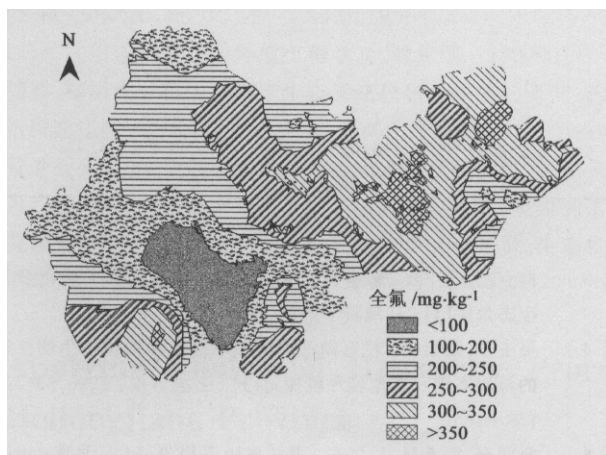


图 3 杭嘉湖平原土壤全氟含量空间分布图

Fig. 3 Spatial variation of soil TF contents produced by ordinary Kriging

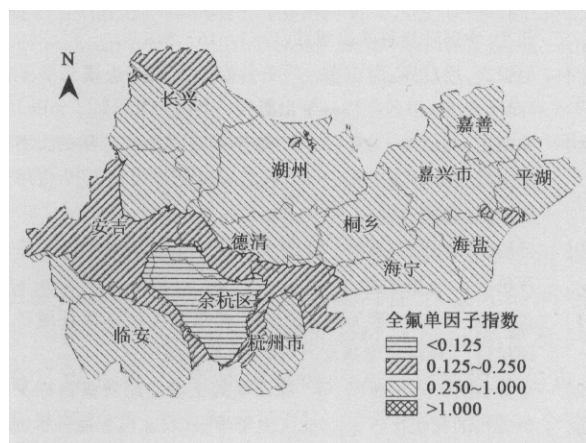


图 4 杭嘉湖平原土壤全氟指数分布图

Fig. 4 Spatial variation of TF index produced by ordinary Kriging

从图 3 和图 4 可以看出, 全氟含量范围主要集中在 200~300mg/kg 之间, 低于我国土壤氟背景值的平均值 478mg/kg, 分布表现为东部>中部>西部, 土壤全氟单因子指数 P_i 主要集中在 0.25~0.5 之间. 其中: ① $P_i < 0.25$, 土壤缺氟, 导致人体龋齿的面积为 2978km², 占总区域的 23.7%. 主要分布在杭嘉湖平原西南部的安吉、德清、杭州等地区, 土壤全氟含量在 100~200mg/kg 之间; 其中以余杭的土壤全氟指数最低, 土壤全氟含量大多在 100mg/kg 以下, 远低于世界土壤氟背景值的平均值 200mg/kg^[13]. ② $0.25 \leq P_i < 1$, 正常土壤的面积为

9617km², 占总区域的 76.3%. 其中以杭嘉湖平原东部的嘉兴、嘉善、平湖等地区为主, 还包括西南部临安部分地区, 土壤全氟含量大于 300mg/kg. ③ $P_i \geq 1$ 的情况不存在, 即该地区的土壤不会导致人体氟中毒而引起地氟病.

3.3 成因分析

3.3.1 杭嘉湖平原土壤母质

杭嘉湖平原土壤类型以水稻土为主, 因而杭嘉湖平原表层土壤全氟含量整体偏低^[14, 15], 其中土壤全氟含量有较大差异与各地区不同成土母质形成的土壤有很大关系^[14~16]. 影响土壤全氟含量的决定性因素是土壤母质, 因为土壤中的氟最初来自成土母质母岩, 不同成土母质形成的土壤, 其含氟量有较大差异^[1, 18, 14]. 研究表明, 不同母质发育的土壤, 氟含量很不相同, 海相沉积物(包括页岩、石灰岩等)、湖相沉积物等母质中含氟量较高, 风积物含氟量较低, 其上土壤含氟量亦低^[14, 17], 其中花岗岩>石灰岩>冲积物>洪积物>黄土状物质>黄土^[1]. 杭嘉湖平原自更新世以来, 多次受海侵海退, 因而该地区成土母质成因类型多样, 河相、海相、河湖相等交错分布^[5]. 在杭嘉湖平原西南部的安吉、德清、杭州等地区的土壤母质主要以黄壤和红壤性坡残积物、泻湖湖沼相淤积物、河流冲积物为主; 其中余杭的土壤母质主要以红壤性的坡积物或经短距离搬运的再积物为主; 东部的嘉兴、嘉善、平湖等地区, 还包括临安部分地区, 土壤母质主要以河相、海相、湖沼相沉积物为主^[4, 5].

3.3.2 土壤中全氟及其影响因素的相关分析

在风化成土过程中, 由于地球化学性质各异, 因此氟元素的迁移富集能力也各不相同^[16]. 为了探求土壤中氟的化学行为, 对杭嘉湖平原土壤中全氟含量与土壤有关因子进行了相关分析(表 2). 结果表明土壤中全氟的含量与土壤中土壤性质显著相关, 其中与 pH、有机质和粘粒含量(<0.002mm)之间都存在显著正相关, 与沙粒含量(0.05~2mm)存在显著负相关($p < 0.01$).

3.3.3 土壤中全氟含量同其影响因素的逐步回归分析

为进一步解释杭嘉湖平原土壤中全氟含量分布的原因, 以全氟(TF)为因变量, 选择土壤 pH、有机质含量、阳离子交换量和质地 4 个性状 6 个因子为自变量, 用 Forward stepwise 法进行逐步回归分析, 6 个因子 x_1 为 pH, x_2 为有机质, x_3 为阳离子交换量, x_4 为粘粒含量(<0.002mm), x_5 为粉粒含量

表 2 土壤中的氟含量及其影响因素的相关性分析¹⁾

Table 2 Correlation coefficients among pH, organic matter, clay and F contents

项目	pH (H ₂ O)	有机质 / %	阳离子交换量 / cmol•kg ⁻¹	颗粒组成/ %			全氟 / mg•kg ⁻¹
				< 0.002mm	0.002~ 0.05mm	0.05~ 2mm	
pH(H ₂ O)	1						
OM	0.019	1					
CEC	0.113 [*]	0.388 ^{**}	1				
< 0.002mm	- 0.140 ^{**}	0.359 ^{**}	0.359	1			
0.002~ 0.05mm	0.142 ^{**}	- 0.142 ^{**}	0.241	0.023	1		
0.05~ 2mm	- 0.079	- 0.003	- 0.355	- 0.396 ^{**}	- 0.927 ^{**}	1	
TF	0.193 ^{**}	0.186 ^{**}	0.580	0.274 ^{**}	0.054	- 0.160 ^{**}	1

1)^{*}表示 $p < 0.05$; ^{**}表示 $p < 0.01$

(0.002~ 0.05mm), x_6 为沙粒含量(0.05~ 2mm), 得到线性回归方程 $y_{TF} = 26.584 + 19.253x_1 - 6.473x_2 + 8.372x_3 + 3.989x_4$. 根据回归方程可知, 土壤 pH、有机质、阳离子交换量和质地都对土壤中的 TF 含量有影响, 但 pH 的作用分别大于土壤有机质、阳离子交换量和质地.

杭嘉湖平原土壤表层的全氟评价结果反映了土壤全氟含量在很大程度上取决于成土母质的组成和 pH 值, 与已有的研究结果是一致的^[14~ 19]. 另外虽然施肥、灌水等人类活动也会增加土壤氟的含量, 但由于它们来源不多, 故影响较少^[15, 16].

4 结论

(1) 杭嘉湖平原土壤表层的全氟含量东部> 中部> 西部, 主要集中在 200~ 300mg/kg 之间, 低于我国土壤氟背景值的平均值 478mg/kg. 与该区域的土壤类型、土壤母质、pH 值、有机质、阳离子交换量、土壤质地等因素存在一定的关系, 其中土壤全氟含量在很大程度上取决于成土母质的组成和 pH 值.

(2) 杭嘉湖平原土壤中全氟含量较低, 又以余杭的土壤全氟含量最低, 均在 100mg/kg 以下. 其中全氟含量低于 200mg/kg 的土壤为 2 978km², 占总区域的 23.7%. 因此该区域可能会有因为土壤中氟含量不足产生龋齿等地方病的可能性. 建议当地群众多用含氟牙膏, 多喝茶, 或采用其它措施以预防龋齿等地氟病的发生.

参考文献:

[1] 张乃明. 山西土壤氟含量分布及影响因素研究[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 284~ 287.
[2] 陈国阶, 余大富. 环境中的氟[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 64~ 83.

[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.
[4] 吴玉卫, 蔡祖仁. 杭嘉湖平原土壤中孢粉和微体古生物反映的母质类型及古地理环境探讨[J]. 土壤学报, 1996, 33(2): 158~ 165.
[5] 章明奎, 魏孝孚, 厉仁安. 浙江省土系概论[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
[6] 南京农业大学主编. 土壤农化分析[M]. (第二版). 北京: 中国农业出版社, 1998. 29, 96.
[7] 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1983. 316~ 318.
[8] 何振立, 周启星, 谢正苗. 污染及有益元素的土壤化学平衡[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998. 315.
[9] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 等. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究——以河北省遵化市为例[J]. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557~ 563.
[10] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32(4): 362~ 369.
[11] 黄国锋, 吴启堂, 容天雨, 等. 无公害蔬菜生产基地环境质量评价[J]. 环境科学研究, 1999, 12(4): 53~ 56.
[12] 李静, 谢正苗, 徐建明, 等. 我国氟的土壤健康质量指标及评价方法的初步探讨[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005, 31(5): 593~ 597.
[13] 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.
[14] 龚子同, 黄标. 土壤中硒、氟、碘元素的空间分异与人类健康[J]. 土壤学进展, 1994, 22(5): 1~ 12.
[15] 焦有, 宝德俊. 氟的土壤地球化学[J]. 土壤通报, 2000, 31(6): 251~ 254.
[16] 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.
[17] 李日邦, 王丽珍. 土壤中氟的淋溶研究[J]. 地理学报, 1992, 47(4): 376~ 381.
[18] 何世春. 氟的富集规律[J]. 华东地质学院学报, 1990, 13(1): 88~ 97.
[19] 李永华, 王五一, 杨林生, 等. 大巴山区土壤中的硒和氟[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 61~ 67.