

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2019.02.009

引用格式:王运,邹勇军,王鹤,等.江西信丰油山地区土壤硒及重金属元素地球化学特征[J].华东地质,2019,40(2):152-160.

江西信丰油山地区土壤硒及 重金属元素地球化学特征

王运,邹勇军,王鹤,汪成铨

(江西省煤田地质勘察研究院,南昌 330001)

摘要:为研究江西信丰油山地区绿色富硒土壤的分布特征,进一步指导当地耕种,提高农作物质量,通过在油山地区采集1 277件表层土壤样,选取典型土壤横向和纵向剖面,研究该区土壤Se及重金属元素的地球化学特征。油山地区绿色富硒土壤主要分布于西部震旦系;横向上,沿河水流动方向,土壤中的Se、As、Cr、Ni和Cu含量逐渐降低,Se与As、Cr、Ni、Cu呈显著正相关;垂向上,土壤中的Se与重金属元素在地表富集,Se仅与As呈显著正相关;土壤Se与重金属元素来源于震旦纪坝里组黑色碳质板岩,随水共同迁移,富集于母岩近区及河流汇集区。

关键词:土壤地球化学;硒;重金属元素;江西油山

中图分类号:X142;P595

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2019)02-152-09

Se被称为“长寿元素”,是人体健康必需的微量元素之一^[1]。土壤中的Se与重金属元素之间具有一定的伴生关系^[2-4]。目前,国内外均有富硒农田遭受重金属污染的报道^[1,5-6]。江西省信丰县油山地区土壤中部分重金属元素含量明显高于中国土壤背景值,存在富硒土壤被重金属污染的风险。为此,本文选取富硒面积较大的信丰县油山地区作为研究区,采集1 277件表层土壤样,并选取典型土壤横向和纵向剖面进行研究,圈定绿色富硒土壤区,以指导当地耕种,提高农作物质量。

1 研究区概况

研究区位于赣南信丰县西北部,包括油山镇南部地区和大阿镇西部地区,总面积为152 km²,地势四周高、中间低,呈盆地地形,海拔为200~400 m。全区地貌可划分为低山、丘陵和平原3种类型,丘陵分布面积最大,约占全区面积的70%,山谷间发育河流沉积物。区内无工矿企业,以农业为主,主产水稻,经济作物主要有脐橙、花生、半夏和烟叶等。

研究区土地利用类型主要有水田、旱地、果园和林地等。西部以林地为主,种植杉树、松树、竹子和山茶;中部以果园为主,种植脐橙和猕猴桃;东部以水田为主,种植水稻、半夏和烟叶。

研究区出露的地层主要有震旦纪坝里组和老虎塘组,主要为灰黑色长石石英细砂岩、黑色碳质板岩;寒武纪牛角河组,主要为灰黑色高碳质板岩(石煤层)、含碳硅质岩和灰色长石石英砂岩;泥盆纪云山组、中棚组、三门滩组和樟崇组,主要为石英质砾岩、砂砾岩、石英砂岩、长石石英砂岩、岩屑长石石英砂岩及泥岩等;石炭纪梓山组和马平组,主要为砂岩、页岩及含碳页岩等;白垩纪大风组、周田组、横坑里组和窑前组,主要为紫红色砾岩、砂岩、粉砂岩及页岩等;第四纪全新世山背组和联圩组,主要为砂砾层、细砂、粉砂黏土及亚黏土等(图1)。该区主要有NE向、NNE向和NW向断裂,其中NE向及NW向断裂最为发育。

研究区地下水分为松散岩类孔隙水、碎屑岩类裂隙孔隙水和基岩裂隙水3类,其中基岩裂隙水分

* 收稿日期:2018-05-23 修订日期:2018-09-14 责任编辑:谭桂丽

基金项目:中国地质调查局“海峡西岸经济区土地质量地球化学调查(编号:DD20160321)”项目资助。

第一作者简介:王运,1985年生,男,工程师,主要从事土地质量地球化学调查工作。

布面积最广。地下水补给、迳流与排泄遵循山区基岩裂隙水补、迳、排规律,小型山间洼地范围内即可成为较完整的水文地质单元,地表分水岭与地下分水岭大体一致,大气降水是地下水的主要补给源,

迳流途径短,在山前低洼处以泉或散渗形式排泄地表,逐步汇集成河,总体特点为“近地补给,短途迳流,洼地排泄”。地表河流密布,南部水系主要流入走马垄水库。

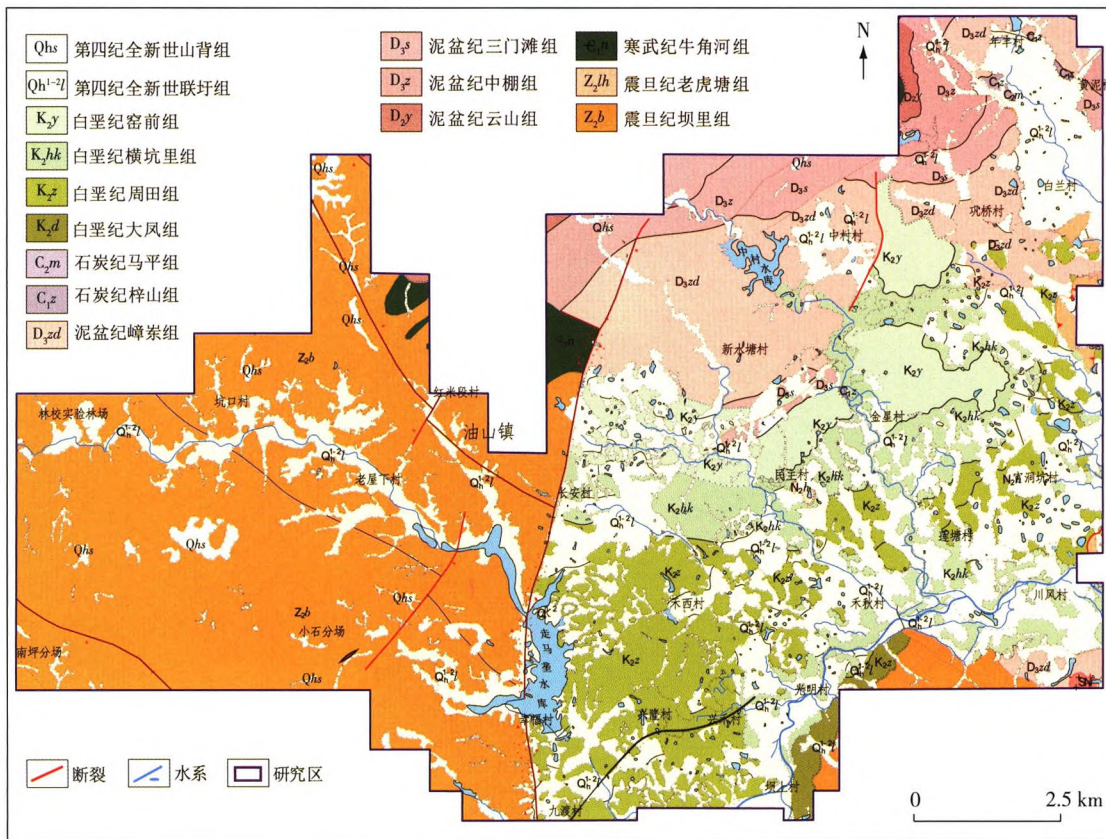


图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Simplified geologic map of the study area

2 工作方法

2.1 样品布设与采集

根据土地利用方式,结合最新的遥感影像,土壤样品布设遵循代表性原则,避开公路和村庄等人为干预影响较大的区域,以 1 km² 为单位格子,再将 1 km² 格子分成 4 个小格子进行网格化布点。基本采样密度为 4~16 个点/km²,平均采样密度为 8 个点/km²。样点主要分布在水田,采样深度为 0~20 cm。

2.2 测试分析

土壤样品分析测试在陕西省地质矿产实验研究所完成。主要测试分析 Se 含量,重金属元素 Cd、As、Hg、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量,有机质含量和 pH 值,测试方法参见文献[7-8],检出限见表 1,

方法检出限、准确度和精密度均达到或优于规范要求。

表 1 土壤样品分析方法检出限

Table 1 Detection limit of soil sample analysis methods

指标	分析方法	检出限	测定范围	单位
Se 含量	AFS	0.01	0.008~100	10 ⁻⁶
As 含量	AFS	1	0.2~500	10 ⁻⁶
Cd 含量	ICP-MS	0.03	0.02~4.0	10 ⁻⁶
Cr 含量	XRF	5	3~3 500	10 ⁻⁶
Cu 含量	XRF	1	1~2 000	10 ⁻⁶
Hg 含量	AFS	0.000 5	0.000 5~10	10 ⁻⁹
Ni 含量	XRF	2	1~2 000	10 ⁻⁶
Pb 含量	ICP-AES	2	2~2 000	10 ⁻⁶
Zn 含量	XRF	4	1~3 000	10 ⁻⁶
有机质含量	VOL	0.1	0.05~10	10 ⁻²
pH 值	ISE	0.10	1.00~14.00	无量纲

3 土壤地球化学特征

3.1 土壤中各元素地球化学特征

油山地区 1 277 件表层土壤样品的元素地球化学参数统计,利用中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所开发的 Gechem studi1.5.7 软件和 SPSS 22.0 软件处理完成。

与全国土壤背景值^[9]相比(表 2),油山地区土

壤中的有机质、Cd、Cr 背景值略高,而 Se、As、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 的背景值和 pH 值略低。与赣州市土壤地球化学背景值^[10]相比,油山地区土壤中的有机质、Cr、Cu、Ni 背景值略高,而 Se、As、Cd、Hg、Zn 背景值和 pH 值略低。通过对比,发现该区土壤重金属元素含量无明显偏高,土壤质量较好。土壤中各元素变异系数较大,表明元素分布不均匀,可能由于地质背景、土地利用类型不同引起。

表 2 土壤中各元素地球化学特征参数统计

Table 2 Statistics of geochemical characteristic parameters of elements in soil

指标	平均值	最小值	最大值	中位数	标准差	变异系数	剔除后 平均值	剔除后 变异系数	分布类型	95%置信区间		全国土壤 背景值 ^[9]	赣州市土壤 背景值 ^[10]
										下限	上限		
有机质含量	3.64	0.09	14.53	3.49	1.739	0.48	3.52	0.42	对数正态	2.06	2.17	3.10	1.18
Se 含量	0.29	0.08	1.41	0.24	0.15	0.52	0.26	0.38	偏态	0.28	0.29	0.29	0.28
As 含量	9.88	1.35	566.58	5.84	22.87	2.31	6.27	0.51	偏态	8.63	11.14	11.20	8.32
Cd 含量	0.12	0.02	2.60	0.10	0.10	0.86	0.11	0.38	偏态	0.11	0.12	0.10	0.16
Cr 含量	65.27	25.40	142.00	61.60	18.09	0.28	65.01	0.27	对数正态	64.26	66.25	61.00	46.15
Cu 含量	22.24	2.61	137.00	20.40	11.02	0.50	20.91	0.36	对数正态	21.62	22.84	22.60	20.70
Hg 含量	68.58	8.22	1 068.00	58.50	56.37	0.82	61.92	0.46	对数正态	65.45	71.64	65.00	75.00
Ni 含量	18.67	3.94	74.90	16.70	8.82	0.47	18.23	0.44	对数正态	18.18	19.14	26.90	17.20
Pb 含量	24.93	6.89	169.00	22.90	10.90	0.44	23.65	0.30	偏态	24.32	25.51	26.00	—
Zn 含量	51.55	18.80	343.00	47.30	21.93	0.43	48.54	0.27	偏态	50.34	52.74	74.20	68.10
pH 值	4.93	3.94	8.57	5.09	0.627	0.99	5.00	0.81	偏态	5.15	5.22	6.70	5.18

注:有机质含量单位为%,Hg 含量单位为 10⁻⁹,其余元素含量单位为 10⁻⁶,pH 值为无量纲,一代表未检测;pH 值换算成 H⁺ 浓度进行计算平均值;元素剔除异常值后的平均值即为该元素背景值。

3.2 不同地质单元土壤元素地球化学特征

不同的地质背景决定了土壤中元素的富集与贫化^[11]。对不同地层的 1 277 件土壤样品进行研究(表 3),发现地层由老到新,土壤中 As、Hg、Se、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量逐渐减少,pH 值逐渐升高,Cd

含量变化不大,有机质在白垩系土壤中含最低。震旦系土壤中 As、Hg、Se、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量分别是全新统联圩组土壤的 3.44 倍、1.14 倍、1.68 倍、1.38 倍、1.73 倍、1.73 倍、1.23 倍和 1.28 倍,故震旦系土壤 Se 及重金属相对富集。

表 3 不同地层的土壤中各元素平均含量

Table 3 Average contents of elements in soils with different strata

地层	样品数/个	Se 含量/ 10 ⁻⁶	有机质 含量/%	pH 值	Cd 含量/ 10 ⁻⁶	As 含量/ 10 ⁻⁶	Hg 含量/ 10 ⁻⁹	Cr 含量/ 10 ⁻⁶	Ni 含量/ 10 ⁻⁶	Cu 含量/ 10 ⁻⁶	Zn 含量/ 10 ⁻⁶	Pb 含量/ 10 ⁻⁶
震旦系	171	0.42	4.03	4.75	0.11	24.54	80.14	85.75	29.02	35.04	60.14	30.93
寒武系	5	0.37	4.02	4.68	0.09	42.00	67.02	61.40	16.80	26.24	58.30	42.00
中—上泥盆统	78	0.35	3.50	4.77	0.10	8.58	63.02	56.28	14.40	13.14	45.96	18.73
白垩系	147	0.26	2.42	4.86	0.10	7.63	47.00	57.96	16.25	18.82	49.51	23.53
全新统山背组	76	0.29	4.47	4.95	0.12	8.45	69.20	74.06	22.81	26.05	53.19	25.73
全新统联圩组	783	0.25	3.69	5.02	0.12	7.14	70.39	62.04	16.75	20.22	49.08	24.12

3.3 不同土地利用类型土壤元素地球化学特征

由表 4 可知,水田中的有机质、Cd 和 Hg 含量最高,而 Se、As、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量及 pH 值最低;旱地的 pH 值最高;果园有机质含量最低;林

地 Se、As、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量最高,Cd 含量最低。总体看,水田、旱地、果园和林地土壤中的 Se、As、Cr、Ni、Cu、Zn 和 Pb 含量逐渐增高,Cd 和 Hg 含量逐渐降低。

表 4 不同土地利用类型土壤中元素的平均含量

Table 4 Average contents of elements in soils with different land use types

土地利用类型	样品数/个	Se 含量/ 10 ⁻⁶	有机质 含量/%	pH 值	Cd 含量/ 10 ⁻⁶	As 含量/ 10 ⁻⁶	Hg 含量/ 10 ⁻⁹	Cr 含量/ 10 ⁻⁶	Ni 含量/ 10 ⁻⁶	Cu 含量/ 10 ⁻⁶	Zn 含量/ 10 ⁻⁶	Pb 含量/ 10 ⁻⁶
水田	577	0.22	4.23	4.75	0.13	6.3	79	59.8	15.8	19.3	48.3	24.1
旱地	102	0.25	3.41	5.00	0.12	7.4	66	66.1	19.6	21.5	52.8	25.1
果园	304	0.32	2.81	4.78	0.12	10.5	53	69.0	20.3	23.8	50.9	24.6
林地	279	0.39	3.34	4.94	0.10	17.3	65	71.5	22.1	25.9	54.4	26.6

4 土壤剖面地球化学特征

水田是油山地区主要的土地利用类型,水田土壤各元素含量与水稻品质有关。以水稻田土壤为例,研究土壤剖面 Se 及重金属元素分布及含量特征。

4.1 横向剖面元素地球化学特征

选取震旦纪坝里组和土壤清洁的山间盆地为研究对象,沿小河自上游至下游,从水稻田中依次采集土壤样品 16 件(图 2)并进行测试分析(表 5),研究 Se 和重金属元素的分布及迁移规律。

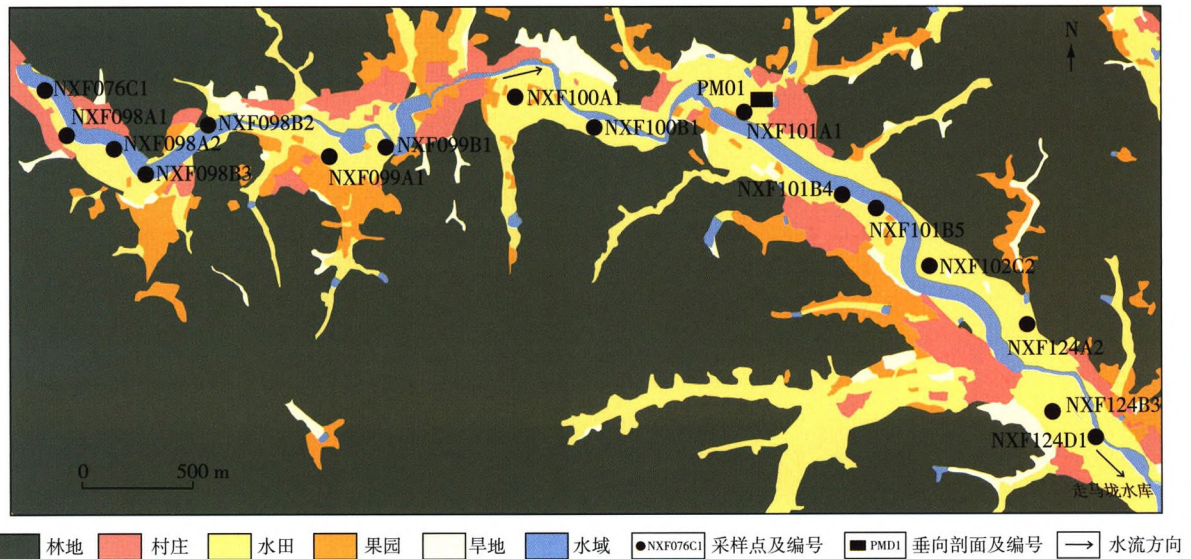


图 2 土壤横向及垂向剖面采样点位置图

Fig. 2 Map showing sampling points locations along cross sections and vertical profiles in soils

表 5 土壤横向剖面样品各元素的地球化学测试结果

Table 5 Geochemical test results of various elements in soils from cross sections

样品号	Cd 含量/ 10 ⁻⁶	As 含量/ 10 ⁻⁶	Hg 含量/ 10 ⁻⁹	Se 含量/ 10 ⁻⁶	Cr 含量/ 10 ⁻⁶	Ni 含量/ 10 ⁻⁶	Cu 含量/ 10 ⁻⁶	Zn 含量/ 10 ⁻⁶	Pb 含量/ 10 ⁻⁶	有机质含量/ %	pH 值
NXF076C1	0.11	11.00	124.00	0.26	74.4	25.7	25.8	73.0	35.4	2.03	5.95
NXF098A1	0.09	5.43	121.40	0.27	90.1	29.9	30.7	63.7	39.6	2.60	6.11
NXF098A2	0.20	3.19	103.20	0.21	78.4	25.6	22.9	68.4	31.9	4.21	5.25
NXF098B3	0.10	3.64	90.20	0.20	70.9	24.6	20.6	62.3	29.0	2.23	5.60
NXF098B2	0.12	4.40	59.90	0.18	71.3	23.7	22.4	66.7	29.9	1.92	5.29
NXF099A1	0.11	7.83	67.90	0.27	81.2	23.1	24.0	57.6	24.0	1.99	6.77
NXF099B1	0.15	6.63	67.90	0.24	76.8	26.1	23.7	69.7	29.7	2.07	5.94
NXF100A1	0.18	14.10	92.90	0.27	82.0	28.8	26.3	69.1	32.2	2.54	5.99
NXF100B1	0.12	3.98	65.40	0.21	78.2	26.9	23.8	70.9	33.4	3.02	5.21

续表5

样品号	Cd 含量/ 10 ⁻⁸	As 含量/ 10 ⁻⁶	Hg 含量/ 10 ⁻⁹	Se 含量/ 10 ⁻⁶	Cr 含量/ 10 ⁻⁶	Ni 含量/ 10 ⁻⁶	Cu 含量/ 10 ⁻⁶	Zn 含量/ 10 ⁻⁶	Pb 含量/ 10 ⁻⁶	有机质含量/ %	pH 值
NXF101A1	0.19	4.12	209.00	0.20	85.2	26.3	26.1	71.2	39.2	3.36	5.65
NXF101B4	0.18	5.55	0.11	0.24	82.9	28.3	25.7	76.1	35.1	3.00	5.39
NXF101B5	0.15	4.90	133.00	0.21	84.7	27.3	27.3	77.7	34.3	2.97	5.87
NXF102C2	0.10	6.98	69.70	0.15	75.3	24.0	23.4	66.4	30.7	2.01	5.81
NXF124A2	0.12	3.64	89.30	0.22	84.5	28.2	28.4	64.5	39.7	2.61	5.74
NXF124B3	0.16	5.30	144.00	0.27	85.8	28.0	29.0	64.5	46.2	3.11	5.54
NXF124D1	0.21	10.72	87.60	0.33	90.6	37.6	34.6	92.5	39.7	1.95	5.24

沿河水流动方向(图 2),Se、As、Cr、Ni 和 Cu 含量逐渐降低。当河流一侧有山谷冲积与河流沉积汇集时,Se、As、Cr、Ni 和 Cu 含量略升高(样品号为 NXF098A1、NXF099A1、NXF100A1、NXF101B4 和 NXF124A2);当河流两侧均有山谷冲积与河流沉积汇集时,Se、As、Cr、Ni 和 Cu 含量显著升高(样品号为 NXF124D1)。有机质含量、pH 值、Hg、Cd、Zn 和 Pb 含量则无明显变化规律。显然,山谷冲积对河流沉

积形成土壤的 Se、As、Cr、Ni、Cu 含量具有叠加效应。

对土壤横向剖面各元素进行相关性分析,结果见表 6 和图 3。可知,Se 与 As、Cr、Ni、Cu 呈显著正相关,与 Cd、Zn、Pb 呈低正相关,与 Hg 无相关性。重金属元素之间呈正相关,其中 Cd 与 Ni、Zn 呈显著正相关,Cr 与 Ni、Cu、Pb 呈显著正相关。有机质与 Cd 呈显著正相关,与 Hg、Pb、Cr、Se 呈正相关,与 As、pH 值呈负相关。

表 6 土壤横向剖面 Se、重金属元素、有机质和 pH 值相关性分析

Table 6 Correlation analysis of Se, heavy metal elements, organic matter and pH value in the soil cross sections

	Cd	As	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	有机质	pH	Se
Cd	1										
As	0.182	1									
Hg	0.151	-0.067	1								
Cr	0.417	0.128	0.319	1							
Ni	0.509*	0.357	0.056	0.741**	1						
Cu	0.334	0.330	0.268	0.883**	0.884**	1					
Zn	0.623**	0.327	-0.015	0.369	0.746**	0.553*	1				
Pb	0.302	-0.067	0.489	0.665**	0.603*	0.739**	0.320	1			
有机质	0.497*	-0.470	0.333	0.268	-0.005	-0.029	-0.002	0.333	1		
pH 值	-0.435	0.342	0.107	0.089	-0.305	-0.025	-0.484	-0.341	-0.378	1	
Se	0.334	0.589*	0.032	0.615*	0.709**	0.718**	0.374	0.345	-0.160	0.206	1

注:**表示 0.01 水平显著性相关,*表示 0.05 水平显著性相关,样品数为 16 个。

4.2 垂向剖面元素地球化学特征

为研究各元素在水稻田土壤中的垂向分布特征,选择上述横向剖面中位置的水稻田,施工 1 条垂向剖面,剖面深度为 180 cm,共分 7 层(表 7),土壤垂向剖面地球化学数据见表 8。

通过分层采样并进行实验测试,发现 Cd、Cu、Zn、有机质含量及 pH 值在耕作层(A 层)含量最高。随剖面深度增加,Cd、Cu、Zn、有机质含量及 pH 值呈非线性减少,至潜育层(G 层),Cd、Cu、Zn、有机质

含量及 pH 值最少,表明这些元素在地表具有明显的富集趋势,不易向深部迁移。Hg、Cr、Ni 和 Pb 含量在犁底层(Ap 层)最高,可能因长期犁地引起。Se、As 含量在渗育层(P 层)最高。由于长期浸水,潜育层(G 层)产生机械淋溶,土壤中 Cd、Hg、Cr、Ni、Cu、Zn、Pb 和有机质流失,这些元素在土壤剖面中含量最低。土壤垂向剖面各元素分带明显,以潜育层(Gw 层)为界,潜育层之上(0~65 cm)各元素含量较高,潜育层之下各元素含量较低,表明这些元素在地表富集趋势明显(图 4)。

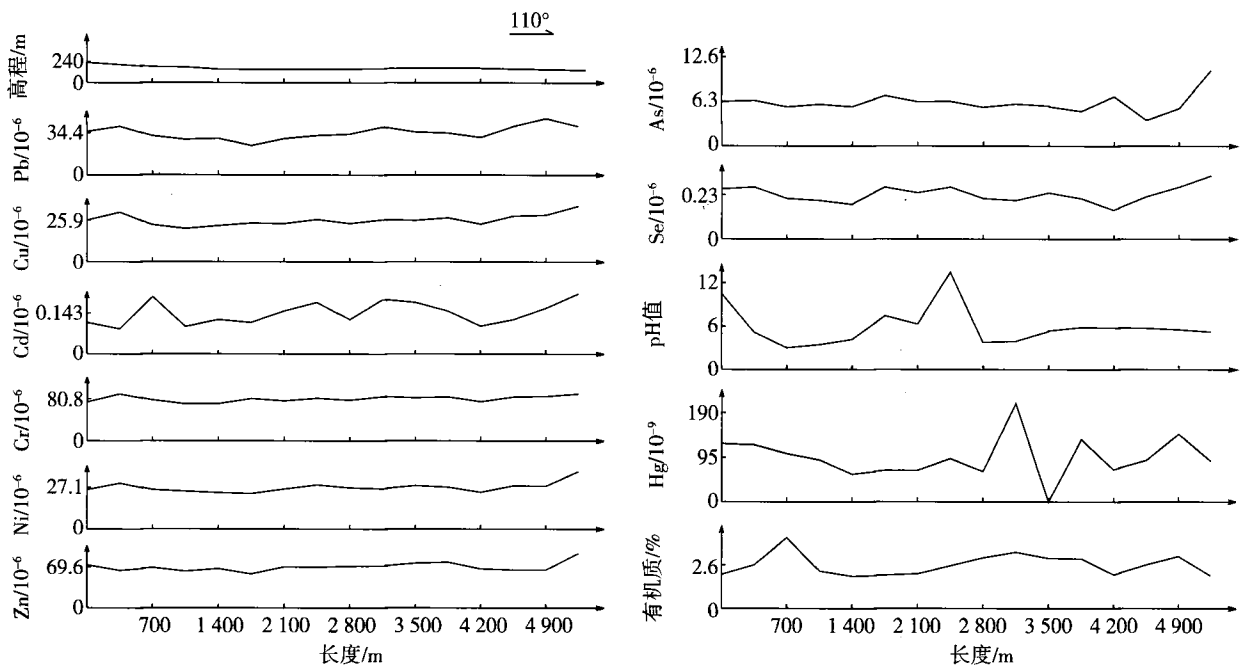


图 3 土壤横向剖面地球化学图

Fig. 3 Schematic geochemical diagrams of the soil cross sections

表 7 土壤垂向剖面野外描述

Table 7 Field description of the soil vertical profile

分层	深度/cm	野外描述	样品编号
耕作层(A层)	0~20	灰色黏土,粒状、团粒状结构,局部夹少量碎石,根系发育	PM01-01
犁底层(Ap层)	20~30	灰黄色粉质黏土,层状结构,根系显著减少,土层较压实、孔隙度小	PM01-02
渗育层(P层)	30~65	黄色砂质黏土,团块状结构,不见根系	PM01-03
潜育层(W层)	65~95	浅褐色黏质粉土,棱柱状结构,夹少量砾石,砾石大小为2~5 cm,磨圆较好,岩性为变质板岩	PM01-04
脱潜层(Gw层)	95~120	青灰色黏质砂土,分散状结构,夹少量砾石,砂土从上至下变粗。砾石大小为2~5 cm,磨圆较好,岩性为变质板岩	PM01-05
潜育层(G层)	120~140	灰白色黏质砂土,分散状结构,夹少量砾石,砂土从上至下变粗。砾石大小为2~5 cm,磨圆较好,岩性为变质板岩	PM01-06
母质层(C层)	140~180	灰黄色砂、砾及碎石,其中砾石大小为2~5 cm,磨圆较好,岩性为变质板岩,碎石大小为3~10 cm,磨圆差,岩性为变质板岩	PM01-07

表 8 土壤垂向剖面各分层元素地球化学测试结果

Table 8 Geochemical analysis results of the soil vertical profile

分层	样品号	Se 含量/ 10 ⁻⁶	Cd 含量/ 10 ⁻⁶	As 含量/ 10 ⁻⁶	Hg 含量/ 10 ⁻⁹	Cr 含量/ 10 ⁻⁶	Ni 含量/ 10 ⁻⁶	Cu 含量/ 10 ⁻⁶	Zn 含量/ 10 ⁻⁶	Pb 含量/ 10 ⁻⁶	有机质含 量/%
耕作层(A层)	PM01-1	0.21	0.22	4.68	80	77.38	25.41	30.32	66.77	30.97	2.80
犁底层(Ap层)	PM01-2	0.24	0.10	5.32	170	86.00	28.43	27.45	57.84	31.12	1.62
渗育层(P层)	PM01-3	0.28	0.10	13.67	40	66.97	23.65	21.46	46.86	19.54	0.64
潜育层(W层)	PM01-4	0.23	0.12	8.09	20	68.91	23.99	21.19	47.11	14.74	0.40
脱潜层(Gw层)	PM01-5	0.06	0.07	1.55	20	62.59	19.48	16.65	38.23	12.46	0.33
潜育层(G层)	PM01-6	0.09	0.06	1.66	10	53.23	13.15	11.44	27.68	8.39	0.15
母质层(C层)	PM01-7	0.10	0.10	3.40	9	76.91	24.13	19.16	45.14	13.98	0.21

土壤垂向剖面各元素之间的相关性见表 9。可知,Se 与 As 呈显著正相关,与 Cd、Hg、Cr、Ni、Cu、

Zn、Pb、有机质呈正相关,与 pH 值呈负相关,而与 Hg 无相关性;重金属元素之间具有正相关性,其中

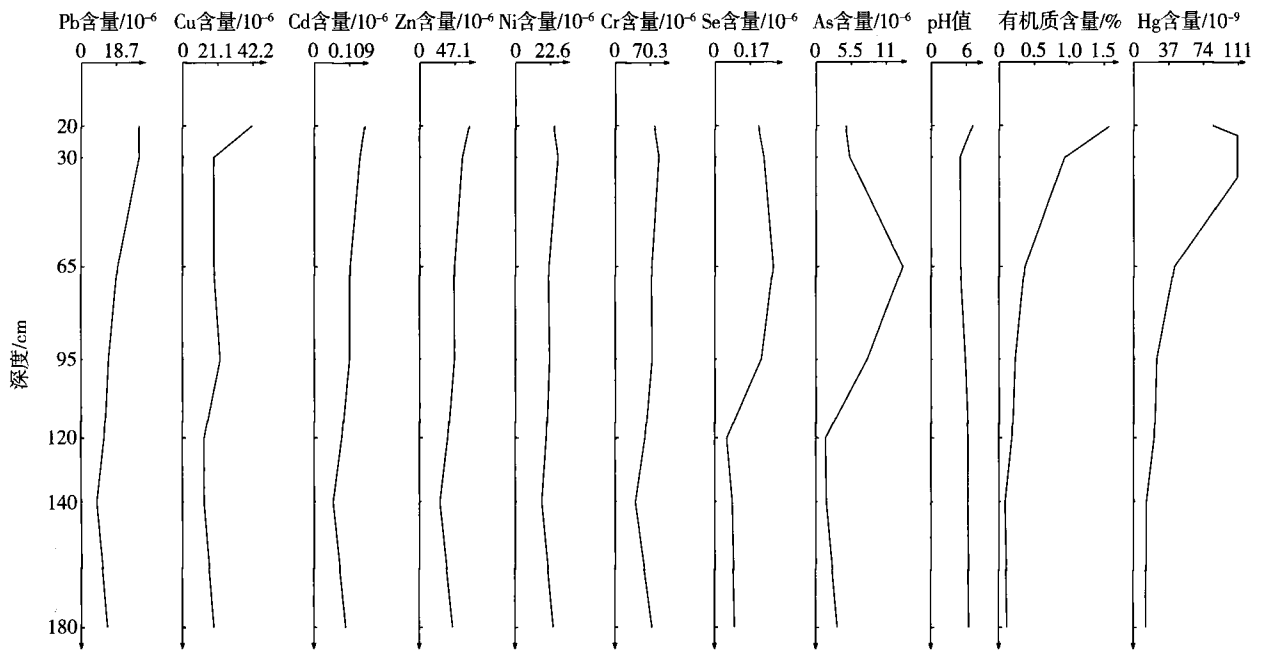


图4 土壤垂向剖面地球化学图

Fig. 4 Diagram showing variation of element contents along the soil vertical profile

Cd与Cu、Zn呈显著的正相关,Pb与Hg呈显著正相关,Cr、Ni、Cu、Zn、Pb相互之间呈显著正相关;有

机质与Cd、Cu、Zn、Pb呈显著正相关,与Hg、Cr、Ni、Se呈正相关,与As无相关性。

表9 土壤垂向剖面Se、重金属元素、有机质和pH值相关性分析

Fig. 9 Correlation analysis of Se, heavy metal elements, organic matter and pH value in the soil vertical profile

	Cd	As	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	有机质	pH值	Se
Cd	1										
As	0.144	1									
Hg	0.285	0.101	1								
Cr	0.471	0.154	0.744	1							
Ni	0.490	0.430	0.661	0.939**	1						
Cu	0.786*	0.328	0.733	0.847*	0.880**	1					
Zn	0.826*	0.290	0.678	0.845*	0.869*	0.995**	1				
Pb	0.681	0.253	0.873*	0.814*	0.793*	0.954**	0.932**	1			
有机质	0.859*	0.058	0.685	0.609	0.562	0.882**	0.885**	0.912**	1		
pH值	0.456	-0.622	-0.435	-0.184	-0.309	-0.069	0.020	-0.167	0.197	1	
Se	0.429	0.852*	0.525	0.474	0.663	0.679	0.631	0.648	0.465	-0.582	1

注:**表示0.01水平显著性相关,*表示0.05水平显著性相关,样品数为7个。

研究表明,在土壤横向剖面和垂向剖面上,Se与重金属元素Cd、Hg、Cr、Ni、Cu、Zn、Pb均呈正相关,与Hg无相关性,说明Se与除Hg之外的重金属元素的地球化学行为相似,富Se土壤确实存在重金属元素污染的风险,尤其是As污染。

5 讨论

5.1 Se与重金属元素来源

通过对土壤中各元素含量进行相关性分析,可

推测各元素之间是否具有相同来源^[12-13]。研究区Se与As、Cr、Ni、Cu、Cd、Zn、Pb呈正相关性,与Hg无相关性,说明Se与As、Cr、Ni、Cu、Cd、Zn、Pb具有相同来源。对不同的土地利用类型土壤进行研究,发现林地土壤Se和重金属含量最高,水田土壤Se和重金属含量最低,可能是因为林地多为山坡,距离母岩近,土壤由母岩直接风化而来。水田土壤距离母岩远,多由山坡上的林地土壤随雨水冲积而来。水田土壤横向剖面显示,距离母岩近区土壤的

Se与重金属元素含量明显高于距离母岩远区。

Se及重金属元素在黑色岩系中富集^[14]。研究区黑色岩系主要有震旦纪坝里组和老虎塘组,寒武纪牛角河组。其中震旦纪坝里组出露面积约占该区面积的35%,而震旦纪老虎塘组、寒武纪牛角河组仅零星出露。该区震旦纪岩石、水系沉积物以及土壤中Se及Ni、Cr、Cu等重金属元素含量明显高于其他地层^[15]。由于该区震旦系地势最高、岩层厚度大、裂隙发育、基岩裂隙水丰富,岩石风化、淋滤后,Se及Ni、Cr、Cu等重金属元素随水共同迁移。因此推测,研究区Se与重金属元素来源于震旦纪坝里组黑色碳质板岩。

5.2 绿色富硒土壤分布

绿色富硒土壤主要分布于研究区西部震旦系,土地利用类型以林地为主,少量为果园、旱地和水田。水田达到富硒标准的区域多分布于母岩近区和河流汇集区。土壤垂向剖面显示,Se在地表浅部富集。故建议在母岩近区和河流汇集区的水田中种植根系浅且易吸收Se元素的农作物(如水稻)。

6 结论

(1)绿色富硒土壤主要分布于研究区西部震旦系。横向上,沿河水流动方向,土壤中的Se、As、Cr、Ni、Cu含量逐渐降低,Se与As、Cr、Ni、Cu呈显著正相关;垂向上,Se与重金属元素在地表明富集,Se仅与As呈显著正相关。

(2)土壤Se与重金属元素来源于震旦纪坝里组黑色碳质板岩,随水共同迁移,富集于母岩近区及河流汇集区。

参考文献

- [1] GERLA P J, SHARIF M U, KOROM S F. Geochemical processes controlling the spatial distribution of selenium in soil and water, west central South Dakota, USA[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2011, 62(7): 1551-1560.
- [2] 孙协平,谢永红,胡佳羽,等. 富硒土壤重金属污染研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2015(10): 146-148.
- [3] 郑雄伟,魏鸿,谭园. 洪湖市中北部地区土壤硒元素分布特征[J]. *华东地质*, 2017, 38(1): 66-73.
- [4] 郑雄伟,王俊锋,郑国权,等. 洪湖市某地区农水产品重金属含量特征及其安全性分析[J]. *华东地质*, 2016, 37(4): 300-305.
- [5] 李慧,魏昌华,鲍征宇,等. 恩施富硒茶叶中Se含量与对应土壤中Se及重金属元素As、Cd、U的关系[J]. *地质科技情报*, 2011, 30(3): 103-107.
- [6] 宋明义,冯雪外,周涛发,等. 浙江典型富硒区硒与重金属的形态分析[J]. *现代地质*, 2008, 22(6): 960-965.
- [7] 国土资源部. DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S]. 北京:地质出版社, 2016: 5-15.
- [8] 国土资源部. DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)[S]. 北京:中国标准出版社, 2014: 3-18.
- [9] 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: 329-483.
- [10] 中国地质调查局南京地质调查中心,江西省地质调查研究院. 赣州市多目标区域地球化学调查[R]. 南京:中国地质调查局南京地质调查中心, 2016: 56-70.
- [11] 陈国光,周国华,郇逸根. 基于地学的生态地球化学评价[J]. *资源调查与环境*, 2007, 28(2): 79-84.
- [12] 朱建军,崔保山,杨志峰,等. 纵向岭谷区公路沿线土壤表层重金属空间分异特征[J]. *生态学报*, 2006, 26(1): 146-153.
- [13] ZHANG X Y, LIN F F, WONG M T F, et al. Identification of soil heavy metal sources from anthropogenic activities and pollution assessment of Fuyang County, China[J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2009, 154(1/4): 439-449.
- [14] 叶杰,范德廉. 黑色岩系型矿床的形成作用及其在我国的产出特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2000, 19(2): 95-102.
- [15] 江西省地质矿产局物化探大队. 水系沉积物测量地球化学图说明书(1:200 000)[R]. 南昌:江西省地质矿产局, 1987: 56-70.

Geochemical characteristics of Se and heavy metal elements in the soil of Youshan, Xinfeng County, Jiangxi Province

WANG Yun, ZOU Yong-jun, WANG He, WANG Cheng-bo

(Jiangxi Institute of Coal Geology for Exploration Research, Nanchang 330001, China)

Abstract: To understand the distribution characteristics of green Se-rich soil in the Youshan area of Xinfeng County, Jiangxi Province, this study carried out a geochemical analysis of Se and heavy metal elements in hope of guiding local cultivation and improving crop quality. A total of 1 277 soil samples were collected from the typical cross and vertical profiles in the Youshan area. The results show that the green Se-rich soil in the Youshan area occurs mainly in the Sinian System in the western of the study area. Horizontally, the contents of Se, As, Cr, Ni and Cu in soils decrease gradually along the direction of the river; vertically, contents of Se and heavy metal elements in soils are enriched on the surface, with a positive relationship between Se and As. Se and heavy metal elements in soils originate from black carbonaceous slate of the Sinian Bali Formation and are accumulated near the parental rocks and convergent areas between rivers with migration of water.

Key words: soil geochemistry; Se; heavy metal elements; Youshan, Jiangxi