

doi:10.3969/j.issn.2097-0013.2021.04.003

## 湖南汨罗市范家园地区富硒土壤特征及其影响因素研究

郭军<sup>1</sup>, 刘明<sup>1</sup>, 汤恒佳<sup>1</sup>, 廖琦<sup>1</sup>, 邢新丽<sup>2</sup>

GUO Jun<sup>1</sup>, LIU Ming<sup>1</sup>, TANG Heng-Jia<sup>1</sup>, LIAO Qi<sup>1</sup>, XING Xin-Li<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局长沙自然资源综合调查中心, 长沙 410600; 2. 中国地质大学(武汉)环境学院, 武汉 430074)

(1. Changsha Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Changsha 410600, Hunan, China;

2. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

**摘要:** 基于湖南省汨罗市耕地区 1:50000 土地质量地球化学调查, 发现范家园地区存在富硒土壤分布区面积达 30.22 km<sup>2</sup>, 其表层土壤中硒含量均值为 0.43 mg/kg, 垂向土壤剖面特征研究表明硒主要富集于表层。通过不同农作物样品分析发现, 红薯及水稻富硒率最高, 分别达到 87.10% 和 81.63%。研究区表层土壤硒含量在不同土地利用类型中由高到低依次为: 林地、园地、旱地、水田; 区内第四纪新开铺组地层硒含量相对更高; 红壤相对水稻土硒含量更高; 表层土壤硒含量与 pH 值、铁氧化物含量分别呈显著负、正相关关系。在富硒土地资源调查基础上, 优选周墩、第头坝、道冲村 3 处易于利用的连片耕地作为富硒土壤优先开发建议区。

**关键词:** 富硒土壤; 含量特征; 影响因素; 开发利用; 湖南省汨罗市

中图分类号: P934; S151

文献标识码: A

文章编号: 2097-0013(2021)04-0387-11

**Guo J, Liu M, Tang H J, Liao Q and Xing X L. Characteristics and Influencing Factors of Selenium-rich Soil in Fanjiayuan Area of Miluo City, Hunan Province. *South China Geology*, 2021, 37(4):387-397.**

**Abstract:** Based on the 1:50000 geochemical survey of land quality in cultivated area in Miluo city, Hunan province, it was found that the distributed selenium-rich soil size in the Fanjiayuan area reached 30.22 km<sup>2</sup>, in the surface of which the average selenium content distributed was 0.43 mg/kg, and the research on the vertical soil profile feature showed that selenium was mainly enriched in surface layer. Through the analysis of different crop samples, it is found that the highest selenium enrichment rates in sweet potatoes and rice reaches 87.10% and 81.63%, respectively. The selenium content in surface soil in different land use types in the study area from high to low is woodland, garden, dry land and paddy field. The selenium content in the Quaternary Xinkaipu Formation is relatively higher than others; the red soil has higher selenium content than the paddy soil; selenium content in surface soil has a significant negative correlation with pH value and positive with iron oxide content. Based on the investigation of selenium-rich land resources, three easy-to-use contiguous arable lands in Zhouhun, Ditouba and Daochong villages were selected as recommended areas for the development of selenium-rich soil.

**Key words:** selenium-rich soil; content characteristics; influencing factors; development and utilization; Miluo City, Hunan Province

收稿日期: 2021-8-29; 修回日期: 2021-10-31

基金项目: 中国地质调查局项目“岳阳市耕地区土地质量地球化学调查(DD20200871)”

第一作者: 郭军(1989—), 男, 工程师, 研究方向为地球化学勘查、农业地质调查与研究, E-mail: 296068867@qq.com

硒(Se)是人体必须的微量营养元素,人体中适量的硒具有延缓衰老、增强免疫力、降低重金属毒性、保护心脏、保肝明目等作用<sup>[1-3]</sup>。我国是一个缺硒大国<sup>[4]</sup>,土壤硒平均值仅为0.29 mg/kg<sup>[5]</sup>,明显低于世界土壤硒背景值0.4 mg/kg<sup>[6]</sup>。土壤中的硒是人体和动植物硒的主要来源,富硒土壤资源开发已成为国内热点。周国华<sup>[7]</sup>认为土壤硒来源、富硒土壤成因是决定土壤元素组合、硒生物有效性、富硒土地资源可利用性的根本原因;梁有彬等<sup>[8]</sup>认为硒资源主要赋存于黑色岩系中,湖北恩施<sup>[9]</sup>及陕西紫阳<sup>[10]</sup>是其中较为著名的富硒区。廖启林等<sup>[11]</sup>将江苏省富硒土壤分为原岩风化残积型、煤矸石风化迁移型、湖相沉积型、粉煤灰型、污染叠加型、多金属矿化伴生型6个成因类型。吴俊<sup>[12]</sup>、宋江涛等<sup>[13]</sup>、李杰等<sup>[14]</sup>、迟凤琴等<sup>[15]</sup>、刘永贤等<sup>[16]</sup>在对土壤硒含量的研究中均认为成土母质是不可或缺的重要影响因素。刘秀金等<sup>[17]</sup>对四川省泸州市页岩和碳酸盐岩区水稻根系土研究表明有机质、粘土矿物和pH值是土壤硒含量和生物有效性的主要控制因素。

湖南省汨罗-湘阴地区多目标区域地球化学调查与评价项目(2003-2005年)在汨罗市发现大

量富硒土地<sup>[18]</sup>。为进一步研究该地区富硒土地开发利用潜力,本文以中国地质调查局项目“岳阳市耕地地区土地质量地球化学调查”(2020年)数据为依托,对汨罗市范家园地区土壤硒地球化学特征及其影响因素进行了研究,以期为地方富硒土地资源及富硒农产品开发利用提供科学依据。

## 1 研究区概况

范家园镇位于湖南省汨罗市北部,滨汨罗江北岸,距汨罗城区9 km。该区气候温和、雨量充沛、日照充盈。土壤类型以红壤及潴育性水稻土为主,成土母质为第四纪红色黏土及河湖沉积物,出露地层主要为第四纪新开铺组、白水江组、白沙井组及古近系中村组。新开铺组主要分布于以林地为主的中东部,白水江组多为条带状水田分布于研究区各处,白沙井组分布于南西侧,中村组位于研究区南东部及东部。全镇总面积为57.20 km<sup>2</sup>,其中水田13.06 km<sup>2</sup>,旱地3.06 km<sup>2</sup>,园地3.97 km<sup>2</sup>,形成了以水稻为主,玉米、红薯、花生、茶叶等多种经济作物为辅的农业生产格局(图1)。

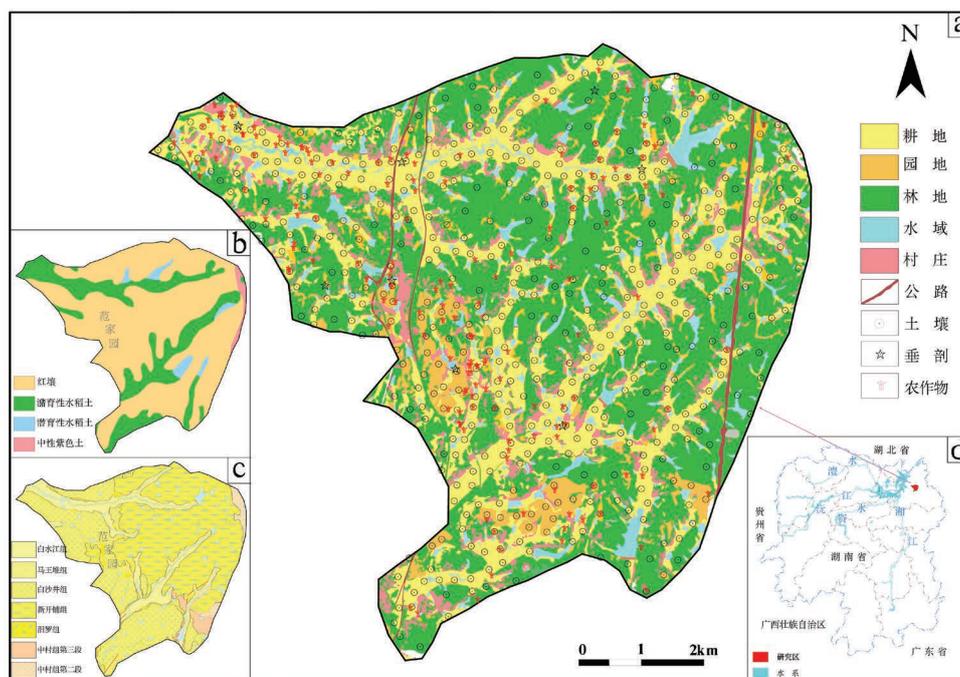


图1 研究区土地利用类型及采样点位图(a)、不同类型土壤分布图(b)、地层分布图(c)和研究区位置图(d)

Fig. 1 Land use typ and sampling sites (a), distribution map of different types soil (b), and distribution map of different stratum (c) and location map of the study area(d)

## 2 样品采集与分析方法

### 2.1 样品采集

#### 2.1.1 表层土壤样品采集

样点布设采用网格加图斑的原则, 优先控制耕地及园地图斑, 在范家园镇共采集表层土壤样品 474 件, 采样密度约 9 个点 /km<sup>2</sup>。每件样品由 20~50 m 范围内 5 个呈“X”形或“L”形的子样等量混合组成, 采样深度 0~20 cm, 样品重量 1.0~1.5 kg。采样时避开田埂、道路、新近堆积土及垃圾堆等各类点状污染地, 避开施肥期和农药喷洒期。野外使用便携式 GPS 记录采样点坐标。土壤样品在自然条件下风干, 过 10 目尼龙筛后送化验室分析测试。

#### 2.1.2 农作物及根系土样品采集

于农作物收获盛期, 按照配对就近的原则采集, 在采样点地块内视不同情况采用棋盘法、梅花点法、对角线法、蛇形法等进行多点取样, 每个子样点同时采集农作物及其根部土壤, 然后分别等量混匀组成一个混合样品。每一混合样大型果实由 5-10 个以上的植株组成 (即子点样), 小型果实由 10-20 个以上的植株组成。农作物 (鲜样) 样重 0.5-2.0 kg, 根系土样重 1.0~1.5 kg, 共计采集水稻、玉米、红薯、花生、丝瓜、茶叶及其根系土 129 套。样品采集、切割、洗涤和保存等各环节按照《DZ/T\_0295-2016 土地质量地球化学评价规范》<sup>[19]</sup> 执行。

#### 2.1.3 垂向剖面土壤样品采集

综合考虑元素异常分布区、地层、成土母质、土地利用类型等因素, 采集 8 处土壤垂向剖面样品, 采样点位见图 1。每处深度 1.4-2.0 m, 上部 40 cm 每 10 cm 采集 1 件土壤样品; 40 cm 以下每 20 cm 采集 1 件土壤样品。

### 2.2 分析测试

本次样品的测试由湖南省地质测试研究院完成, 采用电感耦合等离子体光谱法 (ICP-OES)、电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 和 X-射线荧光法 (XRF) 为主, 以发射光谱法 (ES)、原子荧光法 (AFS)、容量法 (VOL) 以及离子选择性电极法 (ISE) 等为辅的分析方法配套方案, 各指标的检出限、所采用的分析方法具体见表 1。

表 1 样品分析及检出限

Table 1 The analysis method and detection limits of soil samples

序号	分析指标	分析方法	检测单位	检出限
1	As	HG-AFS	mg/kg	0.5
2	B	ES	mg/kg	1
3	Cd	ICP-MS	mg/kg	0.017
4	Co	ICP-MS	mg/kg	0.4
5	Cr	ICP-AES	mg/kg	0.4
6	Cu	ICP-AES	mg/kg	0.5
7	Fe	ICP-AES	%	0.04
8	Ge	ICP-MS	mg/kg	0.1
9	Hg	HG-AFS	mg/kg	0.00047
10	K	ICP-AES	%	0.03
11	Mn	ICP-AES	mg/kg	8
12	Mo	ICP-MS	mg/kg	0.1
13	N	ES	mg/kg	20
14	Ni	ICP-AES	mg/kg	0.2
15	P	ICP-AES	mg/kg	10
16	Pb	ICP-MS	mg/kg	1.5
17	pH	IS	无量纲	/
18	Se	HG-AFS	mg/kg	0.01
19	V	ICP-AES	mg/kg	1
20	Zn	ICP-AES	mg/kg	1
21	有机质	VOL	%	0.05

### 2.3 数据处理

数据统计及图件制作分别使用 GeoIPAS4.2 及 Origin2021 软件完成, 所有原始有效数据均参与评价, 低于检出限的数据用检出限的一半来代替。

## 3 结果与分析

### 3.1 表层土壤 Se 含量分布特征

研究区 474 件表层土壤样品硒含量平均值为 0.43 mg/kg (全国土壤平均含量为 0.29 mg/kg), 最小值为 0.16 mg/kg, 最大值为 1.28 mg/kg, 标准离差为  $0.11 \times 10^{-6}$ , 变异系数为 25.16%, 说明研究区内硒含量空间分布较均匀。表层土壤样品硒含量水平统计 (表 2) 表明: 研究区表层土壤样品硒含量以适量和高硒为主, 其中高硒 (富硒) 占比 56.3%, 不存在硒过剩与硒不足情况。

表2 研究区表层土壤硒含量水平统计表

Table 2 Selenium content grades of surface soil in the study area			
硒等级 (硒效应)	硒含量范围 (mg/kg)	样品个数	比例
不足 (硒反应不足)	$\leq 0.125$	0	0.00%
边缘 (潜在硒不足)	$>0.125 \sim 0.175$	1	0.20%
适量 (足硒)	$>0.175 \sim 0.40$	206	43.50%
高 (富硒)	$>0.40 \sim 3.0$	267	56.30%
过剩 (硒中毒)	$>3.0$	0	0.00%

注:硒含量等级引自文献 [19]。

表层土壤硒高值区多分布于研究区北部的红壤林地;低值区分布呈现出一定的条带状特征,与水田、潜育性水稻土区域重叠较多(图2)。

### 3.2 表层土壤硒含量影响因素

表层土壤中硒元素主要继承于成土母质,同时地形气候、土壤的基本性质、微生物作用、大气降尘、灌溉、施肥、土地开发利用等因素均会影响土壤硒含量。本文主要探讨地质背景、土壤类型、土地利用类型、土壤理化性质等对表层土壤硒含量的影响。

#### 3.2.1 不同土地利用类型对表层土壤硒含量的影响

土地利用方式是人为因素影响土壤硒元素含量的体现。不同土地利用类型的土壤在发育利用过程中物理、化学、生物变化过程不同,硒元素流失或富集程度亦不同,造成不同土地利用类型土壤中硒含量不同 [20]。研究区内主要农业用地类型为林地、耕地、园地。林地表层土壤硒含量最高,平均值达到

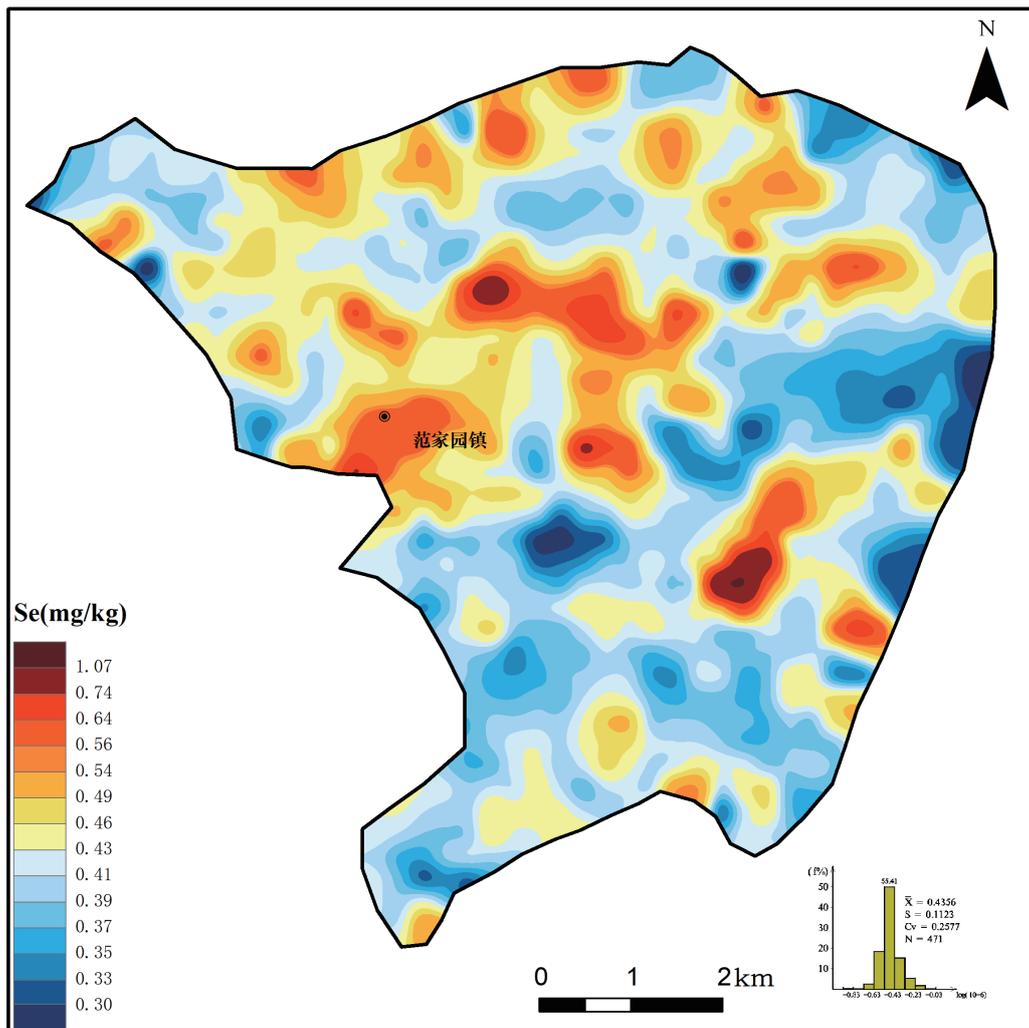


图2 研究区表层土壤 Se 含量等值线图

Fig. 2 Contour map of Se content in topsoil in the study area

0.57 mg/kg, 园地次之, 耕地最低, 而耕地中旱地土壤相对水田硒含量稍高(表 3), 不同土地利用方式表层土壤硒含量总体表现出林地 > 园地 > 旱地 > 水田的特征。

### 3.2.2 地质背景对表层土壤硒含量的影响

不同地质背景下的成土母质对表层土壤元素含量具有重要影响<sup>[21-22]</sup>。研究区各地层表层土壤硒平均含量超过 0.40 mg/kg, 达到富硒土壤标准(表 4)。研究区内表层土壤硒含量最高的地层为新开铺组, 硒含量高值基本位于该地层, 其变化系数相对较大, 表明该地层为土壤硒富集的相对有利地层, 其成土母质为第四系红色黏土。硒含量低的地层为白水江组和中村组, 白水江组成土母质为第四系河湖沉积物, 中村组成土母质为硒元素含量低的紫色砂页岩, 导致其表层土壤硒含量相

对偏低。

### 3.2.3 不同土壤类型对表层土壤硒含量的影响

土壤类型不同会造成土壤硒含量差异<sup>[12]</sup>。研究区两种主要的土壤类型中红壤相对潜育性水稻土表层土壤中硒含量相对更高。少量区域土壤类型为潜育性水稻土及中性紫色土, 潜育性水稻土因其主要为水塘水库, 硒元素累积作用强, 造成硒含量高; 中性紫色土因成土母质为低硒的紫色砂页岩导致硒含量偏低(表 5)。

### 3.2.4 土壤理化性质对表层土壤硒含量的影响

pH 值、有机质含量、铁氧化物含量是重要的土壤理化性质指标, 可通过特定的方式对表层土壤硒的富集或流失产生重要影响。

(1) pH 值是影响土壤硒含量的重要因素, 其影响主要表现在土壤不同的酸碱性可控制土壤

表 3 不同利用类型土地表层土壤硒含量特征统计

Table 3 Statistics of selenium content in surface soil of different use types of land

土地利用类型	样品数(个)	平均值(mg/kg)	中位数(mg/kg)	标准离差	变化系数	最大值(mg/kg)	最小值(mg/kg)
水田	320	0.40	0.40	0.06	0.14	0.75	0.23
旱地	27	0.43	0.45	0.09	0.20	0.60	0.25
林地	65	0.57	0.55	0.19	0.33	1.28	0.16
园地	52	0.47	0.46	0.10	0.21	0.84	0.30

表 4 不同地层表层土壤硒含量特征统计

Table 4 Character of selenium content in surface soil of different layers

地质单元	样品数(个)	平均值(mg/kg)	中位数(mg/kg)	标准离差	变化系数	最大值(mg/kg)	最小值(mg/kg)
全区	474	0.43	0.41	0.11	0.25	1.28	0.16
新开铺组	163	0.47	0.42	0.15	0.32	1.28	0.16
白沙井组	157	0.43	0.42	0.09	0.20	0.72	0.25
白水江组	139	0.40	0.40	0.05	0.12	0.54	0.23
中村组	15	0.40	0.40	0.05	0.12	0.52	0.33

表 5 不同土壤类型硒含量特征统计

Table 5 Statistics of the content of selenium in different soil types

土壤类型	样品数(个)	平均值(mg/kg)	中位数(mg/kg)	标准离差	变化系数	最大值(mg/kg)	最小值(mg/kg)
全区	474	0.43	0.41	0.11	0.25	1.28	0.16
红壤	329	0.44	0.42	0.10	0.24	0.85	0.16
潜育性水稻土	129	0.41	0.40	0.08	0.19	1.00	0.23
潜育性水稻土	11	0.54	0.38	0.34	0.62	1.28	0.36
中性紫色土	5	0.39	0.39	0.05	0.13	0.47	0.33

组分对硒元素的吸附和解吸,或者通过影响硒的价态转化来影响其含量<sup>[23]</sup>。土壤 pH 值对硒酸盐、亚硒酸盐、元素硒及硒化合物等硒的赋存形式有着重要影响<sup>[24]</sup>。研究区表层土壤 pH 最大值为 6.45,最小值为 3.81,平均值为 4.94,整体呈

现酸性及强酸性环境,同时,表层土壤硒含量与 pH 值呈显著的负相关关系(图 3),相关系数为 -0.47,垂向剖面土壤硒含量与 pH 值也呈负相关关系。研究区土壤的强酸性环境,有利于土壤硒元素的富集。

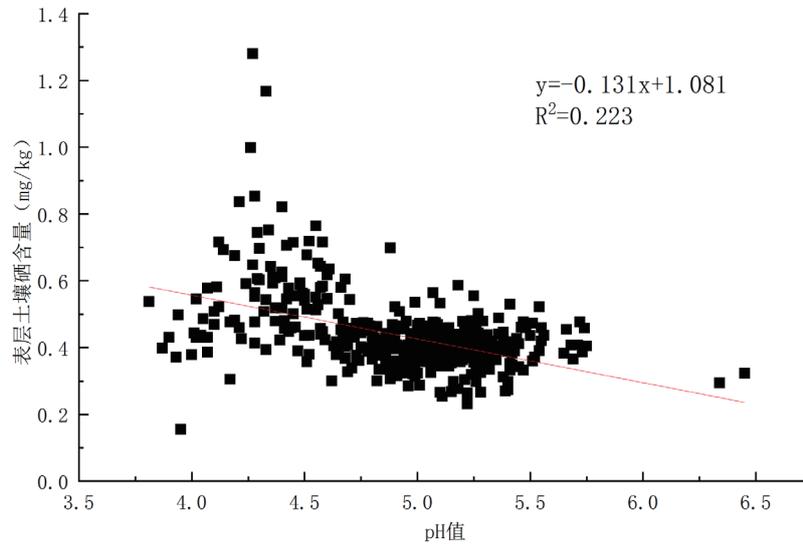


图 3 研究区表层土壤硒含量与 pH 值相关性

Fig. 3 Correlation diagram of pH value and selenium content of surface soil in the study area

(2)一般情况下,土壤硒含量与有机质含量呈正相关关系。研究区表层土壤有机质含量与硒含量相关性不强,表现出区域的差异性,但相同土地利用类型表层土壤硒含量与有机质呈正相关关系(表 6)。同时在土壤垂向剖面中,土壤硒含量与有机质也呈现出显著的正相关关系,说明有机质对硒的富集具有促进作用,有机质增加可以促进土壤微生物的活性,而且硒能够以腐殖质的形式存在,加强了土壤中有有机质对硒元素的吸附和固定作用<sup>[12]</sup>。

表 6 相同土地利用条件下表层土壤硒与有机质相关系数

Table 6 Correlation coefficient between selenium and organic matter in surface soil under the same land use condition

土地利用类型	林地	园地	旱地	水田
Se 与有机质相关系数	0.479**	0.274*	0.403*	0.259**

注:\*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关;\*\*表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

(3)铁氧化物对表生环境中硒的存在具有深远的影响,主要表现为对硒的吸附固定作用<sup>[25-26]</sup>。表层土壤铁氧化物与硒的相关分析表明,研究区土壤硒与铁氧化物呈显著的正相关关系( $p < 0.01$ )(图 4),表层土壤硒含量随铁氧化物含量增加而增加,其相关系数为 0.62,体现了 Fe 对 Se 较强的吸附力和亲和力。一方面亚硒酸根通常被铁氧化物紧密吸附,结合成基性亚硒酸铁;另一方面亚硒酸盐易与土壤中水合氧化铁结合成稳定化合物,从而减少 Se 的溶解与淋失。

(4)表层土壤中 Se 含量与大量营养元素 N、P、K 含量呈显著负相关关系( $p < 0.01$ )(表 7),导致研究区难以形成富硒且肥力状况佳的绿色富硒土壤。Se 含量与金属元素 As、Cr、Ni、Cu、V、Mo、Ge 含量呈显著正相关关系,Cr、Ni 往往代表着成土母质来源,原生矿物中 Se 与上述金属元素存在一定的伴生关系,体现了元素含量对成土母质的继承性。Se 与 Cd、Hg 呈极显著负相关关系,表现出竞争性吸附的特征。

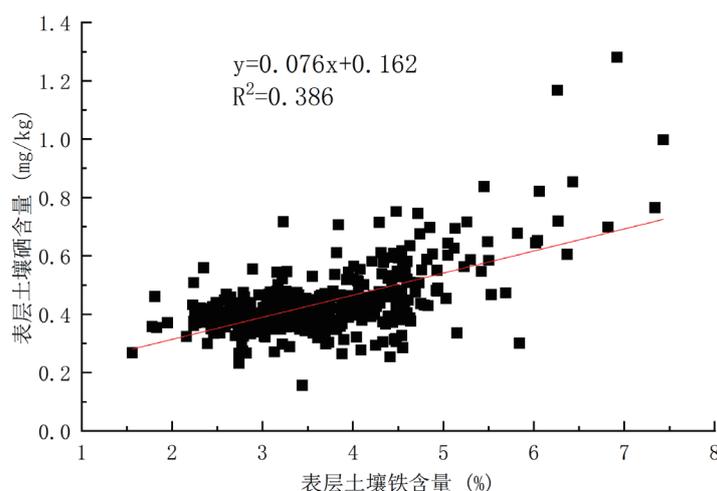


图 4 研究区表层土壤硒与铁含量相关关系图

Fig. 4 Correlation diagram of iron content and selenium content of surface soil in the study area

表 7 表层土壤中硒含量与其他元素含量的相关性

Table 7 Correlation coefficients between selenium and other factors in surface soil

元素	N	P	K	Ge	Mo	As	Cr	Cu	Ni	V	Cd	Hg
相关系数	-0.33**	-0.25**	-0.023**	0.46**	0.64**	0.65**	0.48**	0.13**	0.12*	0.52**	-0.33**	-0.33**

注: \* 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; \*\* 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

### 3.3 垂向剖面土壤 Se 含量分布特征

研究区不同深度的土壤硒平均含量见表 8。从表 8 中可以看出: 随着土壤深度增加, pH 值升高, 有机质、硒含量逐渐降低(图 5), 表层富集特征明显。研究区位于洞庭湖东缘, 表层富硒土壤 Se 含量不是很高, 其平均含量刚达到富硒土壤的标准下

限, 最高含量也仅为富硒土壤标准的 3 倍, 与廖启林等<sup>[11]</sup>总结的江苏省湖相沉积型富硒土壤较为吻合。土壤肥力指标有机质、N、P 及重金属 Cd、Hg、Zn 等元素随深度增加含量降低, 与 Se 元素变化特征一致, 具有正相关关系(表 8)。

表 8 研究区土壤垂向剖面指标平均值含量特征表

Table 8 The average content of soil vertical profile index in the study area

深度 (cm)	Se (mg/kg)	pH	有机质 %	N (mg/kg)	P (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Zn (mg/kg)
-10	0.43	4.89	2.88	1525	678	0.17	0.11	80.8
-20	0.40	5.07	1.87	1034	483	0.13	0.11	75.2
-30	0.37	5.23	1.19	715	371	0.10	0.08	71.0
-40	0.34	5.24	0.91	571	308	0.09	0.07	70.3
-60	0.32	5.26	0.68	520	284	0.07	0.08	65.8
-80	0.32	5.29	0.55	487	291	0.06	0.08	67.8
-100	0.31	5.32	0.53	477	309	0.06	0.09	69.8
-120	0.28	5.36	0.36	409	282	0.04	0.08	68.8
-140	0.31	5.38	0.30	370	294	0.04	0.06	67.6

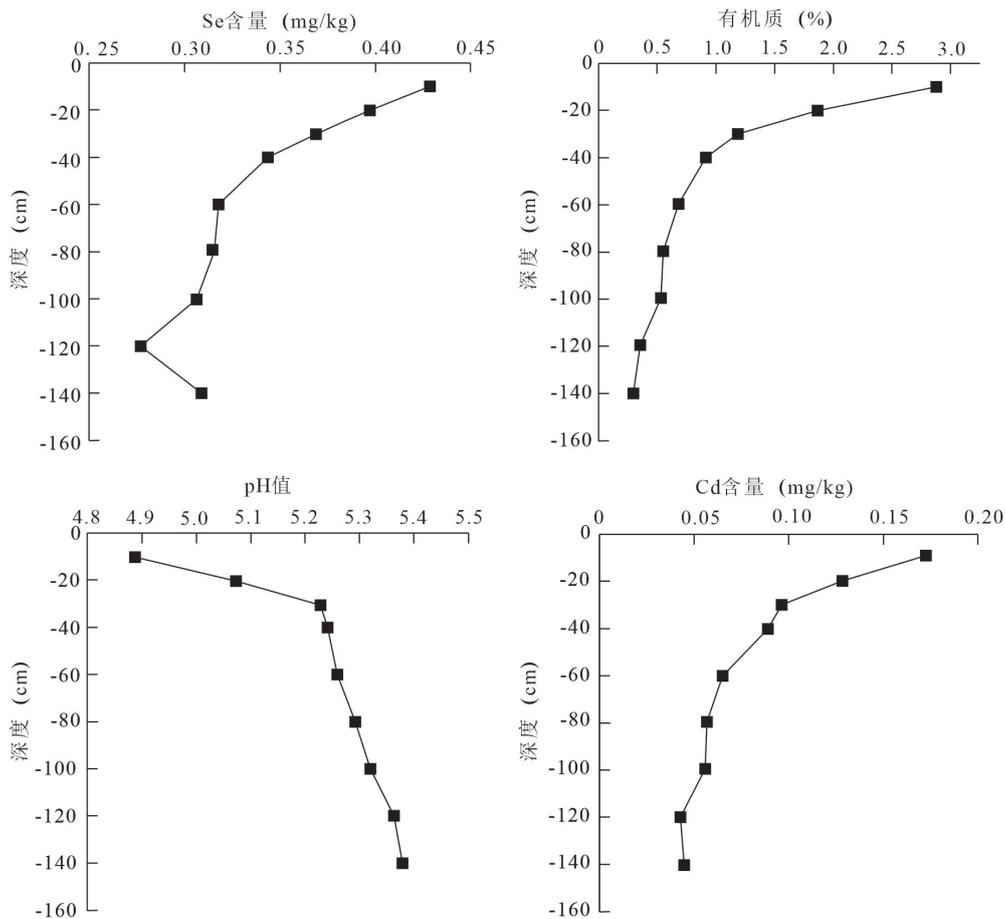


图5 研究区垂向剖面重点指标含量特征图

Fig. 5 The characters of content of key index content in the vertical section of the study area

### 3.4 农作物及其根系土 Se 含量特征

研究区农作物及其根系土中 Se 富集系数由高到低依次为茶叶、花生、水稻、红薯、玉米(表9)。不同农作物富硒标准值不一致,根据各标准规范计算出农作物富硒率由高到低依次为红薯、水稻、花生、玉米、茶叶,农作物富硒率总体较好。红薯富硒率高达 87.10%,且重金属均不超标,为天然富硒农产品,是研究区较为理想的富硒农作物开发品种。水稻、花生、玉米富硒率分别为 81.63%、77.78%、53.85%。研究区土壤无重金属超标现象,但由于土壤酸性较强,导致重金属生物有效性强,水稻、花生、玉米样品分别存在 7 件、1 件、3 件重金属超标。茶叶是范家园地区的传统经济作物,区内大面积集中种植茶叶 3000 余亩,本次采集的 20 件茶叶样品均无重金属污染,且硒含量均高于《HB001T-2013 中国富硒食品硒含量分类标准(试行)》<sup>[27]</sup>中富硒茶叶最低含量 ( $0.05 \times 10^{-6}$ ),2 件硒含量高于农业

部《NY-T 600-2002 富硒茶》<sup>[28]</sup>标准 ( $0.25 \times 10^{-6}$ )。作物中元素主要来自于土壤,除了受土壤含量及其有效性影响外,还与作物种类有关。如果说农田生态环境中元素含量是影响农产品硒含量的外部条件,那么作物类型与品种就是决定农产品元素含量的内在因素<sup>[21]</sup>。因此,可通过优选水稻、花生、玉米品种及优化水稻田水分管理等方式提高农作物的安全性,加强富硒土地及富硒农产品的开发利用。

## 4 富硒土壤分类与开发利用选区

根据《DZ/T 0380-2021 天然富硒土地划定与标识》<sup>[31]</sup>规定的天然富硒土地分类方法(表10),得出研究区富硒土地面积  $41.32 \text{ km}^2$ ,占比 72.25%。研究区灌溉水均符合《NY/T 5010-2016 无公害农产品种植业产地条件》<sup>[32]</sup>要求,富硒土地全部为无公

表 9 研究区农作物及其根系土硒含量特征表

Table 9 Characteristics of selenium content of crops and root soil in the study area

种类	样品数	作物 Se 平均值 (mg/kg)	根系土 Se 平均值 (mg/kg)	Se 富集系数 (%)	富 Se 值区间 (mg/kg)	富硒样品数	富硒率	参考标准
水稻	49	0.051	0.41	12.44	0.04-0.3	40	81.63%	文献 [29]
红薯	31	0.026	0.39	6.67	0.01-0.1	27	87.10%	文献 [30]
花生	9	0.126	0.43	29.30	0.07-0.3	7	77.78%	文献 [30]
玉米	13	0.021	0.45	4.67	0.02-0.28	7	53.85%	文献 [27]
茶叶	20	0.185	0.49	37.76	0.25-4	2	10.00%	文献 [28]

表 10 富硒土地类型划分指标

Table 10 Classification index of selenium-rich land types

类型	土壤类型	pH	土壤硒标准 阈值 (mg/kg)	条件	
富硒土地	绿色富硒土地	中酸性土壤	pH ≤ 7.5	≥ 0.40	镉、汞、铅、砷、铜、锌、镍和铬元素含量小于或等于 GB15618 筛选值。灌溉水水质和土壤肥力同时满足 NY/T391 要求, 其中肥力分级符合 I、II 级
		碱性土壤	pH > 7.5	≥ 0.30	
	无公害富硒土地	中酸性土壤	pH ≤ 7.5	≥ 0.40	镉、汞、铅、砷和铬元素含量小于或等于 GB15618 筛选值; 灌溉水同时满足 NY/T5010 要求
		碱性土壤	pH > 7.5	≥ 0.30	
一般富硒土地	中酸性土壤	pH ≤ 7.5	≥ 0.40	镉、汞、铅、砷和铬元素含量小于或等于 GB15618 筛选值	
	碱性土壤	pH > 7.5	≥ 0.30		

害富硒土地。在不考虑本研究工作未分析的土壤阳离子交换量含量前提下, 灌溉水水质和土壤肥力同时满足《NY/T 391-2013 绿色食品 产地环境质量》<sup>[33]</sup>要求的绿色富硒土地面积为 30.22 km<sup>2</sup>, 是种植富硒农作物较为理想的区域。富硒土地中易于开发利用的富硒耕地面积为 9.86 km<sup>2</sup>, 优选其中相对集中连片的周墩、第头坝、道冲村 3 处作为富硒土壤优先开发利用建议区(图 6)。

## 5 结论

(1) 汨罗市范家园土壤硒富集于表层, 含量为  $0.16 \times 10^{-6} \sim 1.28 \times 10^{-6}$ , 平均值  $0.43 \times 10^{-6}$ , 总体达到富硒水平; 表层土壤硒含量在不同土地利用类型中由高到低依次为林地→园地→旱地→水田; 第四纪新开铺组地层硒含量相对区内其他地层更高; 红壤相对水稻土硒含量更高; 土壤硒含量与 pH 值呈显著负相关、与铁氧化物含量则呈显著正相关。垂向土壤剖面显示硒含量随土壤深度增加而降低。

(2) 研究区农作物具有较好的富硒潜力, 红薯安全富硒率高达 87.10%, 是较适宜推广的富硒农作物。

(3) 研究区天然绿色富硒土地及无公害富硒土地资源较为丰富, 其中周墩、第头坝、道冲村 3 处相对集中连片的耕地区可作为富硒土地优先开发利用区。

### 参考文献:

- [1] Rayman M P. The importance of selenium to human health[J]. The Lancet, 2000, 356(9225): 233-241.
- [2] 廖金凤. 土壤环境中的硒对人和动物健康的影响[J]. 广东微量元素科学, 2002, 9(3): 20-23.
- [3] 黄淇, 成杭新, 陈出新, 王海波, 郭莉, 赵冬冬, 王攀. 北京市房山区富硒土壤调查与评价[J]. 物探与化探, 2013, 37(5): 889-893.
- [4] 侯少范. 中国低硒带人群硒营养状态的变化趋势与成因分析[J]. 地理研究, 2000, 19(2): 134-140.
- [5] Zhu Y G, Pilon-Smits E A, Zhao F J, Williams P N,

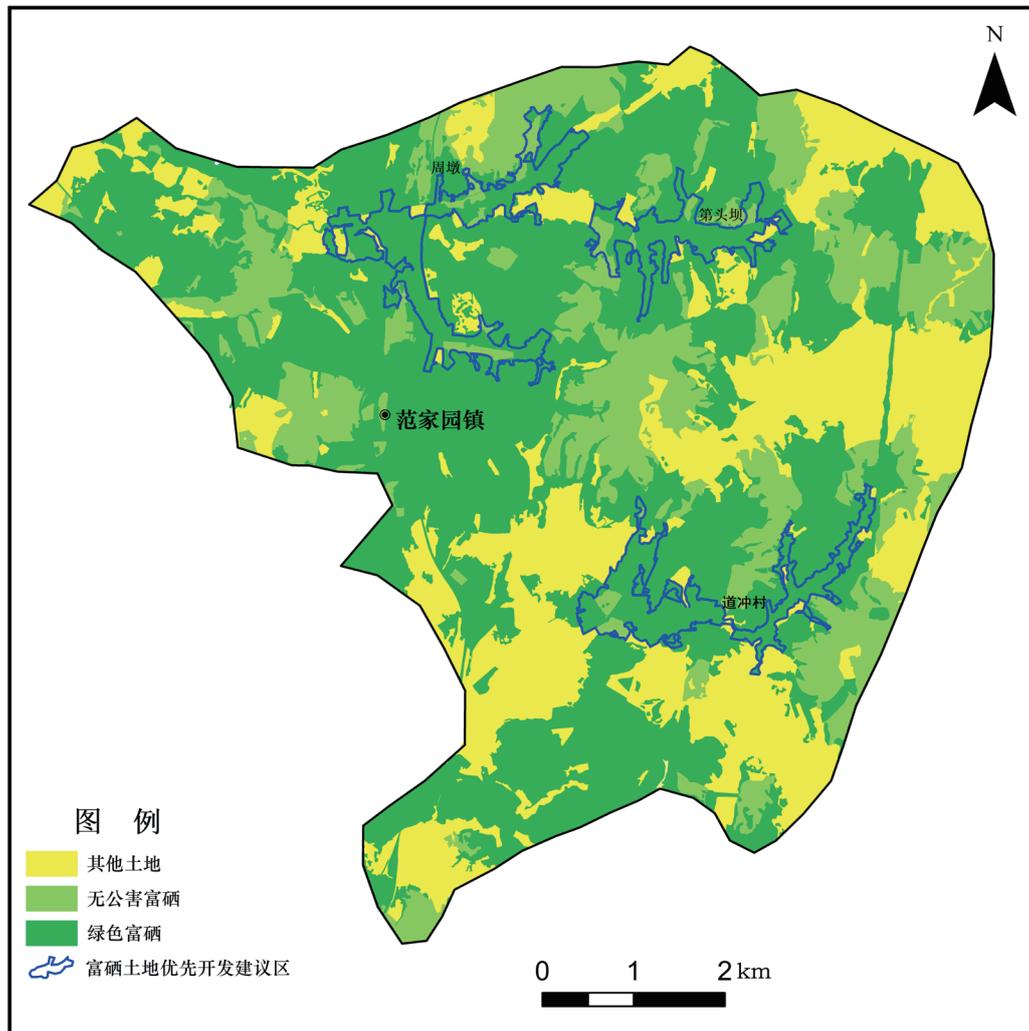


图6 研究区富硒土地分类图

Fig. 6 Classification map of natural Selenium-rich land in the study area

- Meharg A A. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation[J]. Trends in Plant Science, 2009, 14 (8) : 436-442.
- [6] Dinh Q T, Cui Z W, Huang J, Tran T A T, Wang D, Yang W X, Zhou F, Wang M K, Yu D S, Liang D L. Selenium distribution in the Chinese environment and its relationship with human health: A review [J]. Environment International, 2018, 112: 294-339.
- [7] 周国华. 富硒土地资源研究进展与评价方法 [J]. 岩矿测试, 2020, 39(3):319-336.
- [8] 梁有彬, 朱文凤, 王宗学. 我国黑色岩系中硒矿资源及其前景分析 [J]. 矿产与地质, 1994, (4):266-272.
- [9] 李卫东, 万海英, 朱云芬, 明佳佳, 向极钎, 殷红清, 杨永康. 恩施州天然硒资源特征及其开发利用研究进展 [J], 生物技术进展, 2017, 7(5): 545-550.
- [10] 张建东, 王丽, 王浩东, 雒昆利, 吴邦朝. 紫阳县土壤硒的分布特征研究 [J]. 土壤通报, 2017, 48(6):1404-1408.
- [11] 廖启林, 崔晓丹, 黄顺生, 黄标, 任静华, 顾雪元, 范健, 徐宏婷. 江苏富硒土壤元素地球化学特征及主要来源 [J]. 中国地质, 2020, 47(6):1813-1825.
- [12] 吴俊. 福建省寿宁县富硒土壤地球化学特征 [J]. 物探与化探, 2018, 42(2): 386-391.
- [13] 宋江涛, 林治家, 张锦煦, 孟杰, 陈珍宝. 湖南隆回县土壤硒元素地球化学特征及其影响因素: 以石门-滩头镇为例 [J]. 华南地质, 2021, 37(1): 83-92.
- [14] 李杰, 杨志强, 刘枝刚, 郑国东, 王英辉, 陈彪. 南宁

- 市土壤硒分布特征及其影响因素探讨 [J]. 土壤学报, 2012, 49(5):1012-1020.
- [15] 迟凤琴, 徐强, 匡恩俊, 张久明, 魏丹, 宿庆瑞, 韩锦泽. 黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究 [J]. 土壤学报, 2016, 53(5):1262-1274.
- [16] 刘贤, 陈锦平, 潘丽萍, 吴天生, 杨彬, 邢颖, 廖青, 梁潘霞, 江泽普. 浔郁平原富硒土壤成因及其影响因素研究 [J]. 土壤, 2018, 50(6):1139-1144.
- [17] 刘秀金, 杨柯, 成杭新, 唐世琪, 郭飞, 刘飞. 四川省泸州市页岩和碳酸盐岩区水稻根系土 Se 含量和生物有效性的控制因素 [J]. 地质通报, 2020, 39(12): 1919-1931.
- [18] 苏正伟, 吴金华, 钱海球, 曾芳, 覃贤禄, 易志军, 杨茂林, 易阳亨, 聂晓春, 邓集余, 陈小波, 陈国华, 孙锡良, 何建军, 欧任文. 湖南省洞庭湖汨罗 - 湘阴地区区域地球化学调查与评价报告 [R]. 湖南省地质调查院地球物理地球化学勘查所, 2006.
- [19] 中华人民共和国国土资源部. 中华人民共和国地质矿产行业标准—土地质量地球化学评价规范 (DZ/T 0295-2016)[S].2016.
- [20] 刘华应, 黄永聪, 蒋宗林, 唐列文. 广西岑溪市富硒土壤地球化学特征及成因分析 [J]. 矿产与地质, 2020, 34(2): 347-354.
- [21] 曹容浩. 福建省龙海市表层土壤硒含量及影响因素研究 [J]. 岩矿测试, 2017, 36(3): 282-288.
- [22] 胡艳华, 王加恩, 蔡子华, 宋明义, 康占军, 颜铁增. 浙北嘉善地区土壤硒的含量、分布及其影响因素初探 [J]. 地质科技情报, 2010, 29(6): 84-88.
- [23] 谢薇, 杨耀栋, 侯佳渝, 李国成, 菅桂芹. 天津市蓟州区富硒土壤成因与土壤硒来源研究 [J]. 物探与化探, 2019, 43(6): 1373-1381.
- [24] 朱建明, 梁小兵, 凌宏文, 王明仕, 汪福顺, 刘世荣. 环境中硒存在形式的研究现状 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(1): 75-81.
- [25] 郦逸根, 董岩翔, 郑洁, 李琰, 吴小勇, 朱朝晖. 浙江富硒土壤资源调查与评价 [J]. 第四纪研究, 2005, 25(3): 323-330.
- [26] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 张甘霖, 赵其国, 黄铭洪. 香港土壤研究 II . 土壤硒的含量、分布及其影响因素 [J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 404-410.
- [27] 中国食品工业协会花卉食品专业委员会. HB001/T-2013 天然富硒食品硒含量分类标准 (试行)[S].2013.
- [28] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 600-2002 富硒茶 [S].2002.
- [29] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 中华人民共和国国家标准 GB/T 22499-2008 富硒稻谷 [S].2008.
- [30] 江西省质量技术监督局. 江西省地方标准 DB36/T 566-2017 富硒食品硒含量分类标准 [S].2017.
- [31] 中华人民共和国自然资源部中国地质调查局. 中国地质调查局地质调查技术标准 DZ/T 0380-2021 天然富硒土地划定与标识 [S].2021.
- [32] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 5010-2016 无公害农产品 种植业产地环境条件 [S].2016.
- [33] 中华人民共和国农业部. 中华人民共和国农业行业标准 NY/T 391-2013 绿色食品 产地环境质量 [S].2013.