

Distribution of Selenium and Its Influencing Factors in Soils of Yuyao, Zhejiang Province

Lidong Fu^{1,2}, Bingbing Zhao¹, Haibao Wang^{1,2}, Shaohua Zhao^{1,2}, Changwei Mao¹

¹Mineral Exploration Institute Co. Ltd. of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang

²The First Geological Unit of Zhejiang Province, Hangzhou Zhejiang

Email: fu-lidong@163.com

Received: Jul. 9th, 2020; accepted: Jul. 23rd, 2020; published: Jul. 30th, 2020

Abstract

Based on the geological survey project of land quality in Yuyao city, 1:50,000 soil geochemical sampling was carried out in the whole district of Yuyao city, and modern analysis and testing methods were used to study the enrichment and distribution of high-precision soil selenium, which is significant for the development and utilization of characteristic land resources. Through the statistical analysis of the distribution characteristics and influencing factors of 4773 surface soil samples collected and analyzed systematically in Yuyao city, and with the soil geological background of Yuyao city, the results show that the distribution of total Se content in Yuyao city is high in the south, low in the east, and relatively higher in mountainous area compared to plain area. The total amount of selenium content in soil is mainly between 0.065 and 3.33 mg/kg, with an average value of 0.441 mg/kg, a standard deviation of 0.25, and a coefficient of variation of 0.57. There are significant differences in selenium content among different soil types, in which yellow soil > red soil > paddy soil > tidal soil > saline soil. The parent rock is the main factor affecting soil selenium content. The physical and chemical properties of iron-manganese oxide, organic matter and soil type have obvious enrichment effect on selenium. In addition, the soil selenium content in Yuyao city is significantly correlated with altitude and soil pH, but has no obvious relationship with heavy metal elements, and human activities and natural factors has a certain impact on soil selenium enrichment.

Keywords

Selenium-Rich Soils, Soil Type, Distribution Characteristics, Influential Factors, Yuyao

浙江省余姚市土壤硒分布特征及影响因素研究

付立冬^{1,2}, 赵冰冰¹, 王海宝^{1,2}, 赵少华^{1,2}, 毛昌伟¹

¹浙江省地矿勘察院有限公司, 浙江 杭州

²浙江省第一地质大队, 浙江 杭州

文章引用: 付立冬, 赵冰冰, 王海宝, 赵少华, 毛昌伟. 浙江省余姚市土壤硒分布特征及影响因素研究[J]. 地球科学前沿, 2020, 10(7): 629-636. DOI: 10.12677/ag.2020.107062

摘要

基于余姚市土地质量地质调查项目,对余姚市全区进行1:5万土壤地球化学采样,并采用现代分析测试手段进行高精度土壤硒的富集、分布研究,对特色土地资源开发利用具有重要意义。通过对余姚市系统的采集并分析化验的4773件表层土壤样数据进行分布特征及影响因素的统计分析,并结合余姚市土壤地质背景,结果表明,余姚市总体Se含量分布规律为南高东低,山区相对平原区较高。土壤硒全量主要在0.065~3.33 mg/kg之间,平均值0.441 mg/kg,标准离差0.25,变异系数0.57。不同土壤类型中硒含量差异显著,其中黄壤 > 红壤 > 水稻土 > 潮土 > 盐土。成土母岩是影响土壤硒含量的主要因素,铁锰氧化物、有机质、土壤类型等理化性质对硒具有明显的富集作用,此外,余姚市土壤硒含量与海拔、土壤pH有明显的相关关系,与重金属元素无明显关系,人类活动与自然因素对土壤硒的富集有一定的影响。

关键词

富硒土壤, 土壤类型, 分布特征, 影响因素, 余姚

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

前人研究表明微量元素硒是人体和动物所必须的一种元素,为人体提供营养能,也可以对镉、砷等重金属元素中毒有明显的拮抗作用,是一种天然的对抗重金属的解毒剂,硒在体内能与重金属、蛋白质结合成复合物而排出体外,对体内的汞、铅、砷、镉均有解毒作用。因此有学者称之为“生命保护剂” [1] [2] [3],缺硒会引起人体和动物发生白肌病、克山病、大骨节病等多种疾病。但是硒元素又具有毒性,摄入量过大或摄入时间过长,会导致急性或慢性中毒。因此科学安全的摄入硒元素才具有重要的意义。尹昭汉等学者研究认为,Se是亲硫元素也是亲生物元素,对人体作用机理是通过植物体进入食物链,硒在植物中的含量受一系列地质背景和地理环境等因素控制,植物体内的Se含量除与植物本身的种属与生长环境有关外,还与土壤中有效硒含量及形态密切相关[4];王松山等认为有机质、无定形铁、pH和黏粒对硒在土壤中的富集具有重要的影响[5];李杰等[6]通过研究得出和王松山学者相近的结论,认为影响南京市土壤硒含量的主要因素是成土母质,土壤pH、有机碳等,铁的含量对土壤全硒含量的富集与分布也有一定影响。因此,土壤、植物系统中硒环境效应、全量硒、有效硒含量及影响因素等对硒元素富集转化的研究早已全面开展[7] [8] [9] [10]。全球大多数土壤中硒平均含量为 $0.20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,中国土壤硒元素背景值为 $0.29 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ [11]。

自上世纪70年代起,余姚市先后完成了区域地质、矿产、水工环、物化探等基础地质调查工作,查明了该区及周边区域地层、岩性、构造、第四纪沉积物特征、工程地质水文地质特征、区域重力、磁场、水系沉积物地球化学等物化探特征。但余姚市未系统开展土壤方面的研究工作。以《浙江省土地质量地质调查行动计划(2016~2020年)》为背景,本次研究依托于《余姚市土地质量地质调查》项目,本文以该

项目数据对余姚市土壤硒的含量进行统计分析,探讨余姚市土壤硒分布特征及影响因素,为合理地人工补硒、农田施硒肥以及农业种植结构调整、地方性疾病防治等提供地球化学依据。

2. 研究区概况

余姚市地处四明山北麓,宁绍平原中部,钱塘江杭州湾南岸,地处长江三角洲南翼,行政隶属宁波市。全市土地面积 1443.85 km²。余姚市属浙东低山丘陵盆地与浙北宁绍平原的接壤地带,其中南部山区地貌上属浙东低山丘陵区,北部属浙北平原区,地貌类型主要由侵蚀剥蚀低山、侵蚀剥蚀丘陵、玄武岩台地、冲湖积平原、冲海积平原、山前及沟谷坡洪积斜地和沟谷冲积平原等。地势南高北低,由西南倾向北东。

余姚市属华南地层区,出露地层以中生界火山岩系与新生界第四系为主,占总面积的 95%以上,另外还出露中元古代变质岩,中生代火山岩、沉积岩,新生代沉积层及燕山晚期侵入岩。余姚市由于地形复杂,耕地母质多样,残积母质可划分为砂岩类风化物、酸性火山岩类风化物、酸性侵入岩类风化物 3 种类型。山、丘地耕地母质多为红黄壤再积体和坡残积物母质,一般以凝灰岩风化而成,土粒较细,土壤质地粘,流纹岩、石英砂岩风化的土壤土粒粗,质地偏砂。山区河谷盆地水田母质以洪冲积物为主,砾石含量较高,土壤质地偏砂。水网平原耕地(水田)的土壤母质以河相母质、湖海相交母质、湖沼相母质为主,其中湖海(沼)沉积物的质地最粘,富含有机质,但土壤通气性差。新浅海沉母质的质地相对较砂[12]。

3. 实验部分

3.1. 样品采集

土壤样采样点大多位于水田、旱地,少量位于园地及林地中。水田和旱地表土样采样密度约 10 件/km²,由多坑点采集 0~20 cm 表层土壤组合而成。本次共采集表层土壤样 4773 件。采集的样品在单元内具有代表性,特别是土地利用情况;避开垃圾和可能存在污染的土壤,避开人为搬运的堆积土;采样时以 GPS 定位点为中心,向四周辐射 20~50 m 确定分样点,等量组合成一个混合样;采样时按实际情况采用“S”形、“X”形或棋盘形布设分样点。土壤样品晾干过筛后充分混匀、缩分、称重,分为正、副两个样品。正样外送分析,用袋盛装;副样(重量不低于 500 g)装入干净塑料瓶,送样品库保存。

3.2. 测定方法

表层土壤样品在国土资源部长沙矿产资源监督检测中心(湖南省地质测试研究院)分析测试。土壤中硒含量测定采用原子荧光光谱法(AFS)。具体操作如下:称取 0.2000 g 样品,用水润湿,加 10 ml 硝酸、5 ml 氢氟酸、1 ml 高氯酸置于电热板上加热分解,蒸至刚冒尽白烟,加入 10 ml 盐酸置于低温电热板加热 10 分钟,取下冷却后加入 2.5 ml 铁盐溶液,用去离子水转移至 25 ml 聚乙烯试管中并稀释至刻度,摇匀、澄清,测定 Se。方法检出限为 0.01×10^{-6} 。

其他部分化学元素分析方法如下:称取 0.1000 g 样品,用水润湿,用 HNO₃、HF、HClO₄ 分解,赶尽酸,5% HNO₃ 溶液提取,定容至 25 ml,摇匀,澄清,电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)测定 Ca、Cr、Cu、K、Mg、Fe、Mn、Ni、P、V、Zn;移取上清液 5.00 ml 于聚乙烯试管中,用稀硝酸定容至 20.0 ml,摇匀,电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定 Pb、Mo、Cd、Co。

4. 结果与讨论

4.1. 测定结果及分布特征

本次研究对余姚市采集表层土壤样 4773 件,除 Se 外,还分析测试了 N、P、K、B、Mn、Zn、Cu、

Mo、Ge、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Ni、Co、V、pH 值、有机质等。对分析数据统计表明，土壤硒质量分数在 0.065~3.33 mg/kg 之间，平均值 0.441 mg/kg，标准离差 0.25，变异系数 0.57 (表 1)。标准离差与变异系数均较大，说明在空间分布上，硒含量波动较大。富硒区土壤硒含量总体较高，远高于全国背景值 0.29 mg/kg [11]，与浙北地区 Se 含量 0.43 mg/kg 相近[13]。分析结果表显示，余姚市总体 Se 含量分布规律为南高北低，山区相对平原区较高(图 1(a))。

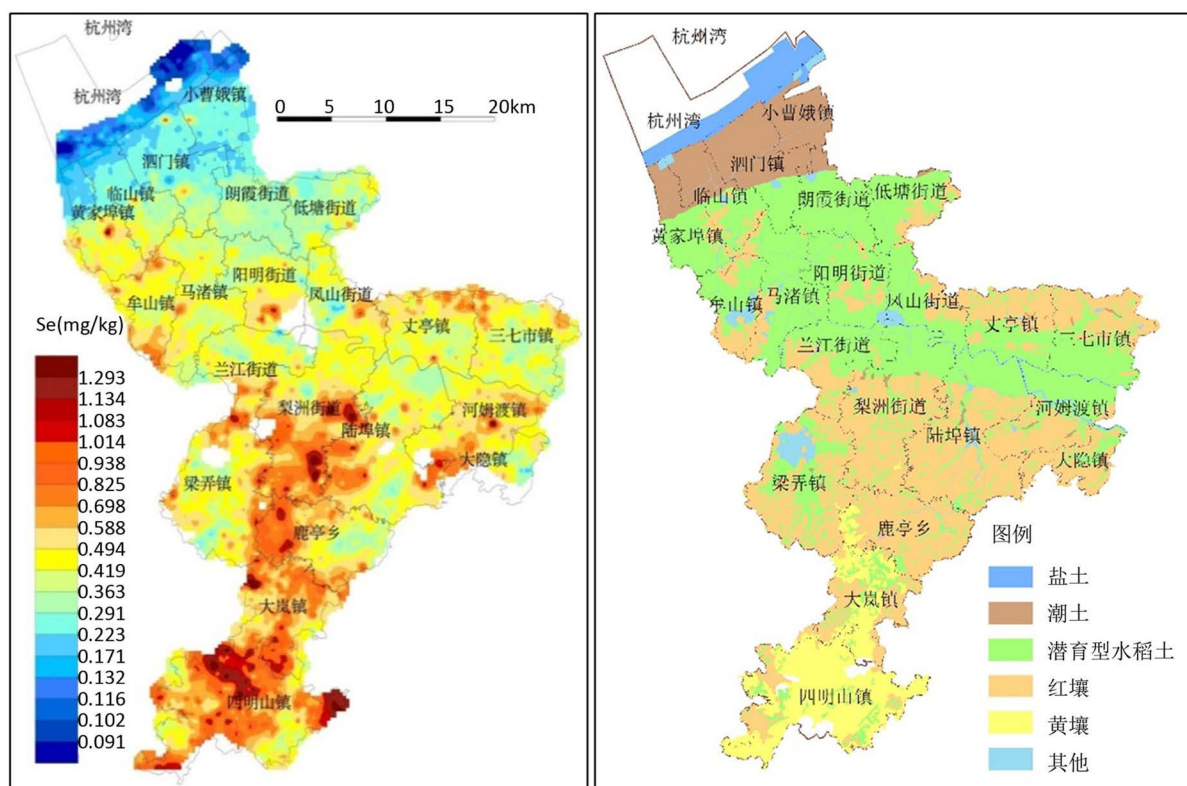


Figure 1. (a) Se geochemical map of Yuyao city; (b) Distribution of soil types in Yuyao city
图 1. (a) 余姚市 Se 地球化学图; (b) 余姚市土壤类型分布图

Table 1. Selenium content in different types of soil/(mg/kg)
表 1. 不同类型土壤的硒含量/(mg/kg)

土壤类型	最小值	算术平均值	最大值	标准离差	富集系数	变异系数	样品数
黄壤	0.151	0.835	3.331	0.371	13.47	0.44	369
红壤	0.1	0.591	2.239	0.269	9.53	0.46	755
水稻土	0.067	0.427	2.614	0.15	6.89	0.35	2638
潮土	0.072	0.246	1.947	0.093	3.96	0.38	637
盐土	0.065	0.163	1.536	0.108	2.63	0.66	329
其他	0.08	0.325	1.24	0.241	5.24	0.74	45

注：土壤类型中的“其他”主要为湖、河、水库等岸边人工堆积的土壤。

4.2. 土壤硒的富集特征

余姚市土壤分布自北向南总体为盐土 - 潮土 - 水稻土 - 红壤 - 黄壤(图 1(b))。由土壤硒含量富集系数

及算数平均值大小结果可以看出(表 1), 各类型土壤硒背景值差异明显。余姚市范围内硒在空间上的分布规律为: 由山区土壤(黄壤、红壤) - 平原区土壤(水稻土) - 滨海区(潮土、盐土)逐步降低的趋势。

硒的高含量呈条带状和面状分布的特点, 与余姚市黄壤红壤的分布基本吻合, 黄壤硒背景值最高, 达 0.835 mg/kg, 红壤次之, 达 0.591 mg/kg (图 2)。黄红及红壤成土母质一般为酸性火山岩类风化物, 岩性主要为晚侏罗世九里坪组(J_{3j})、西山头组(J_{3x})流纹岩、流纹质晶屑玻屑凝灰岩、流纹质含角砾熔结凝灰岩等。土壤呈酸性, 质地粘重[14]。而铁活化度、络合态铁占游离态铁的百分比及氧化铁的水合系数都是黄壤高于红壤[15], 活化后的氧化铁或氧化锰具有巨大的比表面积和很强的表面化学活性, 能吸附硒[16], 其成土母质中硒含量较高, 本地区的山区土壤, 尤其是黄壤相比其他类型土壤富集了更高的硒。

因此土壤类型、成土母质及铁的氧化物与土壤硒的富集密切相关。戴慧敏等(2015)认为土壤硒主要来自于成土母质, 而土壤表层硒主要是母质风化和植物富集的结果[17] [18], 综合现阶段的研究分析, 推测余姚土壤硒含量受成土母质影响较大。

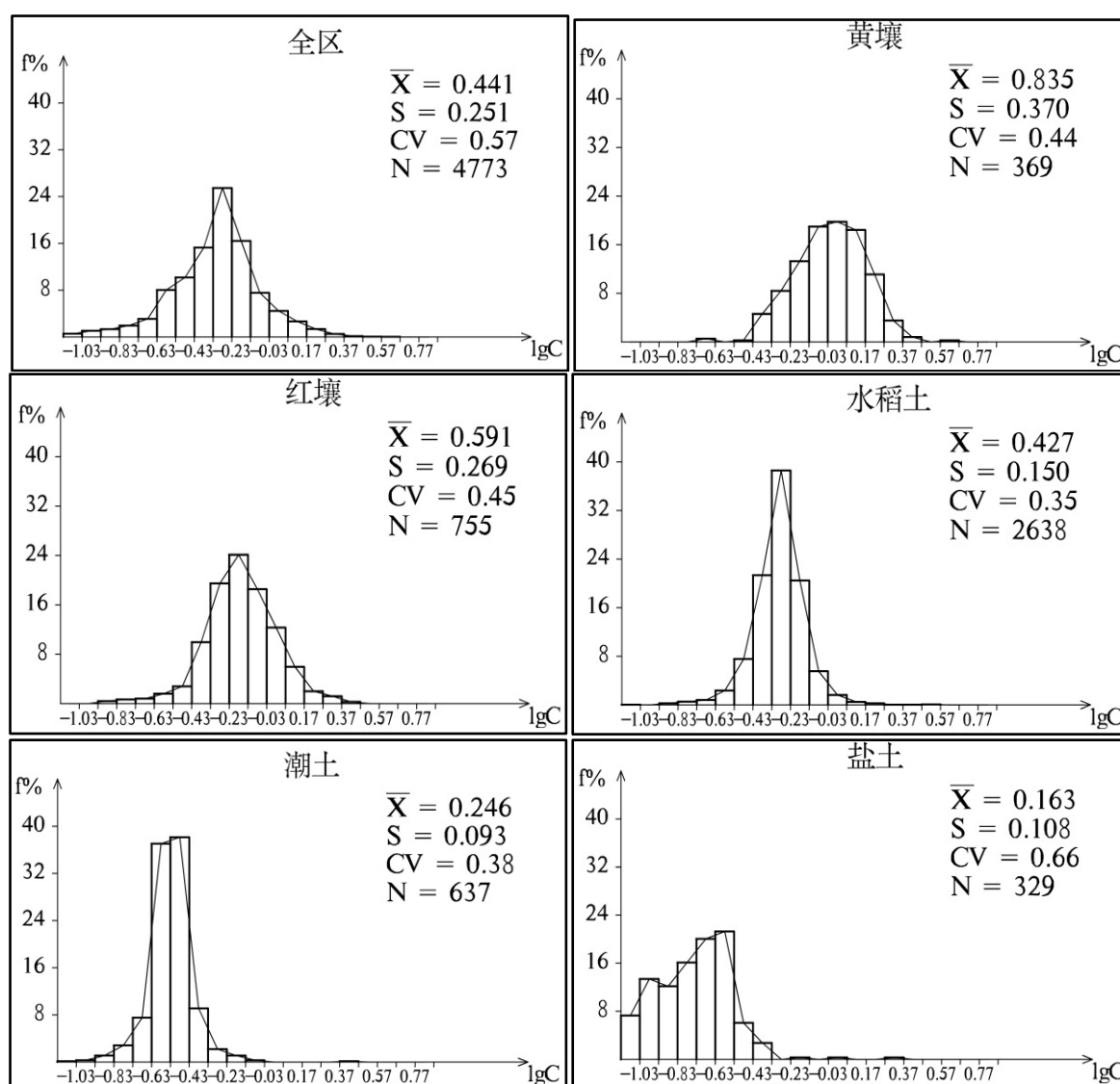


Figure 2. Histogram of Se content distribution in the whole region and different soil types

图 2. 全区及不同土壤类型中 Se 含量分布直方图

4.3. 土壤硒含量其他影响因素

4.3.1. 人类活动及自然因素

本地区水稻土成土物质来源类型多样, 主要以脱潜水稻土和潴育水稻土为主, 长期淹水种稻条件下, 受到人为活动和自然成土因素的双重作用。人为周期性耕作、轮作下, 常年淹水使土壤硒淋溶作用增强, 土壤有机质含量高, 土壤中硒含量相对黄壤和红壤低, 且差异较大, 土壤硒背景值为 0.427 mg/kg。

本地区潮土和盐土质地较轻, 以粉砂为主, 粘粒含量低, 土体疏松, 土壤呈碱性, 加之海水淋洗作用, 使土壤中硒易于迁移贫化。潮土和滨海盐土区土壤硒含量较低, 潮土硒背景值为 0.264 mg/kg, 盐土为 0.163 mg/kg。

因此人类活动和自然因素对土壤硒的含量有一定的影响。

4.3.2. 土壤有机质

有学者认为影响土壤硒富集的因素主要有气候、成土母质、土壤质地、有机质及人为因素等[19]。土壤中有有机质是 C 元素的最大载体, 因此为保证在同一土壤类型下, 将余姚市黄壤中有机碳(OrgC)与 Se 数据进行相关关系投图发现, Se 与 C 具有良好的正相关性(图 3(a)), 说明在表层土壤中硒的富集与含碳物质关系密切, 有机质对 Se 元素具有强烈的吸附与固定作用。

4.3.3. 土壤 pH

大部分学者认为土壤 pH 对土壤硒含量的富集与分布也有一定的影响, 中碱性土壤硒含量基本不受 pH 制约, 而酸性条件下, 随着 pH 下降, 土壤 Se 含量可迅速增加[20], 也有学者认为土壤全硒含量与 pH 呈显著的负相关关系[21]。因此此次实验选取余姚地区黄壤作为研究对象, pH 值均小于 7 呈酸性, 但通过 pH 与硒含量的相关性分析发现, 余姚地区土壤硒的含量与 pH 呈负相关关系(图 3(b))。

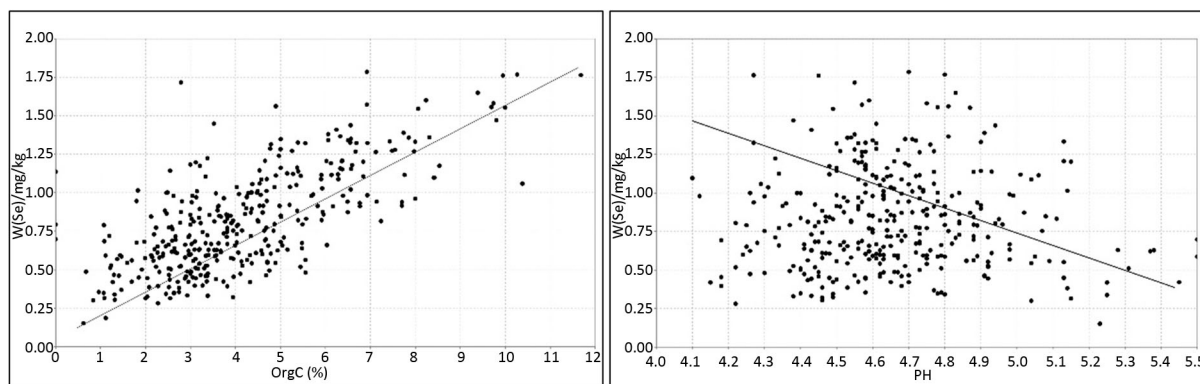


Figure 3. (a) Correlation diagram between Se and OrgC; (b) Correlation diagram between Se and pH

图 3. (a) Se 与 OrgC 相关性图解; (b) Se 与 pH 相关性图解

4.3.4. 土壤重金属元素含量

重金属元素是影响土地质量的一个重要因素, 若硒与重金属元素呈负相关, 硒高的土壤重金属低, 土壤清洁, 易于开发利用。但从 Se 与 Cu 和 Cd 的相关性图解中, 无明显的相关关系, 因此余姚地区的 Se 元素的富集和土壤中重金属含量并无直接的联系(图 4)。

5. 结论

本文研究是基于前人对硒元素研究的基础上, 但对于余姚市硒元素分布特征和影响元素的系统研究还属首次, 研究表明余姚市的硒元素富集具有明显的地域特征。

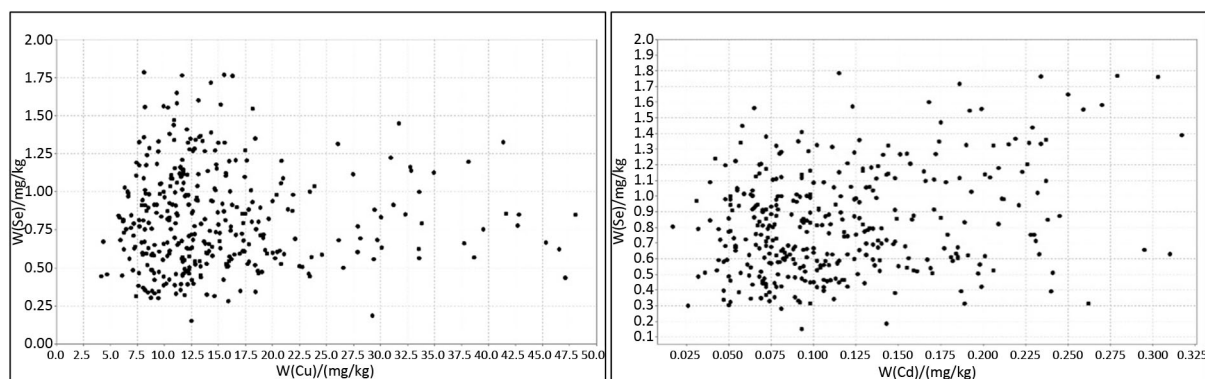


Figure 4. (a) Correlation diagram between Se and Cu; (b) Correlation diagram between Se and Cd

图 4. (a) Se 与 Cu 相关性图解; (b) Se 与 Cd 相关性图解

综上所述, 余姚市表层土壤硒平均含量高于中国硒含量的平均值土壤硒含量, 具有南高东低、山地高于平原的特点。并且不同土壤类型、成土母质、铁锰氧化物等影响因素与硒的富集密切相关, 人类活动与自然因素对土壤的改造程度也对硒富集产生一定的影响。另外, 土壤有机质与土壤硒含量呈正相关, 随着有机质含量的增多, 硒含量不断增加; pH 与土壤硒呈负相关关系, 在酸性条件下, 随着 pH 的升高, 硒含量有减少的趋势。但土壤重金属元素与土壤硒含量无明显相关关系。高密度土壤硒的分布、富集特征及影响因素是余姚市土地管理、基本农田保护的基础信息, 综合植物种属本身与硒含量关系研究, 可为因地制宜、合理调整农业种植结构提供依据。在富硒土壤开发利用及生态文明建设中起积极作用。

参考文献

- [1] Milner, J.A. (2006) Diet and Cancer: Facts and Controversies. *Nutrition and Cancer*, **56**, 216-224. https://doi.org/10.1207/s15327914nc5602_13
- [2] Daniel, L.M. (2008) Distribution, Mineralogy and Geochemistry of Selenium in Felsic Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits of the Finlayson Lake District, Yukon Territory, Canada. *Economic Geology*, **103**, 61-68. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.103.1.61>
- [3] 吴永尧, 彭振坤, 陈建英, 等. 水稻对环境硒的富集和耐受力研究[J]. 微量元素与健康研究, 1999, 16(4): 42-44.
- [4] 尹昭汉, 鞠山见, 马晓丽, 等. 硒(Se)的生物地球化学及其生态效应[J]. 生物学杂志, 1989, 8(4): 45-50.
- [5] 王松山, 梁东丽, 魏威, 等. 基于路径分析的土壤性质与硒形态的关系[J]. 土壤学报, 2011, 48(4): 823-830.
- [6] 李杰, 杨志强, 刘枝刚, 等. 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.
- [7] 徐文, 唐文浩, 邝春兰, 等. 海南省土壤中硒含量及影响因素分析[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3026-3027.
- [8] 张艳玲, 潘根兴, 李正文, 等. 土壤-植物系统中硒的迁移转化及低硒地区食物链中硒的调节[J]. 土壤与环境, 2002, 11(4): 388-391.
- [9] 孙朝, 侯青叶, 杨忠芳, 等. 典型土壤环境中硒的迁移转化影响因素研究——以四川省成都经济区为例[J]. 中国地质, 2010, 37(6): 1760-1768.
- [10] 迟凤琴. 土壤环境中的硒和植物对硒的吸收转化[J]. 黑龙江农业科学, 2001(6): 33-34.
- [11] 何振立. 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: 345.
- [12] 韩红焯, 金武昌. 余姚市耕地地力现状与评价[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [13] 宋明义, 黄春雷, 董岩翔, 等. 浙江省富硒土壤成因分类及开发利用现状[J]. 上海地质, 2010, 31(S1): 107-110.
- [14] 厉仁安, 曹秀芳, 俞震豫. 浙江红壤和黄壤分类研究初报[J]. 浙江农业大学学报, 1985, 11(2): 167-175.
- [15] 章明奎. 土壤氧化铁的形态在浙江红壤和黄壤分类中的意义[J]. 浙江大学学报, 1990, 16(1): 42-50.
- [16] 蔡妙珍, 邢承华. 土壤氧化铁的活化与环境意义[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2004, 27(3): 279-282.
- [17] 戴慧敏, 宫传东, 董北, 等. 东北平原土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1356-1364.

- [18] 张东威. 中国土壤中硒及其土壤环境质量标准研究[J]. 水土保持研究, 1994, 1(5): 112.
- [19] Umesh, C.G. and Subhas, C.G. (2010) Selenium Deficiency in Soils and Crops and Its Impact on Animal and Human Health. *Current Nutrition & Food Science*, **6**, 268-280. <https://doi.org/10.2174/157340110793663725>
- [20] 武少兴, 龚子同, 黄标. 我国土壤中的溶态硒含量及其与土壤理化性质的关系[J]. 中国环境科学, 1997, 17(6): 522-525.
- [21] 王秋爽, 罗杰, 蔡立梅, 等. 广东省揭西县土壤硒的分布特征及影响因素研究[J]. 土壤, 2018, 50(6): 1126-1133.