

罗伟奇,罗治勇,黄淼,等. 湖南益阳农业产业园区土壤硒元素分布及影响因素[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2024, 39(1):87-94. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2024.01.011

LUO W Q, LUO Z Y, HUANG M, et al. On Selenium Distribution in Soil and Factors Influencing Such Distribution in Yiyang Agricultural Industrial Zone of Hunan Province [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2024, 39(1):87-94. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2024.01.011

湖南益阳农业产业园区土壤硒元素分布及影响因素

罗伟奇¹, 罗治勇^{2*}, 黄淼², 杨佳成³

(1.湖南省自然资源事务中心,湖南长沙 410004;2.湖南省国土资源规划院,湖南长沙 410004;
3.湖南地科院规划设计有限公司 湖南长沙 410004)

摘要: 益阳市属于富硒土壤地区,为促进全市传统农业产业的提升发展,合理开发利用优质土地资源,打造富硒农产品品牌.选择市内18个农业产业园,开展1:2000富硒土壤详细调查,对表层土壤1916件样品进行了硒元素及有效硒实验分析,结果表明:益阳地区表层土壤硒元素的分布整体呈中部高,东西两侧低的特点,18个工作区内表层土壤硒元素各区有效态含量变幅范围为0.001~10.619 mg/kg,平均值为0.027 mg/kg,表明区内土壤硒元素分布较不均匀,不同地质背景对土壤硒元素含量具有显著性影响,不同土壤类型和地质单元硒含量存在一定差异.

关键词: 农业地质;硒元素;农业地球化学方法;农业产业园区

中图分类号:P694 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2024)01-0087-08

On Selenium Distribution in Soil and Factors Influencing Such Distribution in Yiyang Agricultural Industrial Zone of Hunan Province

LUO Weiqi¹, LUO Zhiyong², HUANG Miao², YANG Jiacheng³

(1. Hunan Center of Natural Resources Affairs, Changsha 410004, China;
2. Hunan Institute of Land and Resources Planning, Changsha 410004, China;
3. Hunan Academy of Geoscience Planning and Design Company, Changsha 410004, China)

Abstract: In order to promote the growth and development of traditional agricultural industry in Yiyang City, where abundant selenium is found in soils, it is necessary to rationally develop and utilize high-quality land resources, scientifically delimitate zone specific agricultural industrial zones for crop cultivation, and create a brand of selenium-rich agricultural products. 18 agricultural industrial zones in the city have been selected for a detailed investigation on 1:2000 selenium-rich soils, and 1916 topsoil samples have been analyzed for selenium and effective selenium. Results show an average value of selenium of 0.54 mg/kg and a median value of 0.44 mg/kg in the topsoil of 18 working areas and a coefficient of variation of 169.51%, which concludes that selenium is unevenly distributed in soils of the area. The various geological backgrounds significantly affect the content of selenium in soils, and the selenium content of Quaternary and Cambrian soils is higher among the soil-forming rocks.

Keywords: agricultural geology; selenium; agricultural geochemistry methods; agricultural industrial zone

硒元素 Se 是一种稀少的分散元素,在地壳中的含量仅为 0.05 mg/kg,只有在十分特殊的情况下才有可能形成富硒地质体,有效硒为土壤中能够被植物吸收利用的硒.在国外,硒元素主要分布在北美、澳大利亚和爱尔兰^[1-2],对硒元素的研究集中在对人类身体的药理性影响方面^[3-5].而我国由于医学技术和生活水平的不断提高,对于硒元素的关注和研究逐渐从人体病理学转移到土壤、植被等领域,探索富硒土壤对农作物的有益影响^[6-8].近年来,随着富硒产业的高速发展,关于土壤硒含量及其影响因素的研究成为业内关注的热点问题之一.夏飞强等^[9]通过对安徽宁国市土壤硒元素影响因素的研究,认为土壤硒含量主要受成土母质控制,土地利用方式及有机质对土壤中硒含量的消长也起一定作用;张钟华等^[10]认为成土母质是贵州省桐梓县土壤硒含量的主要影响因素,此外,土壤理化性质、地形地貌等也是影响土壤硒富集的重要因素;范汝海等^[11]认为广西永福县表层土壤硒富集现象与其黑色岩系密切相关,其次地形地貌、土壤类型、土壤 pH 也在一定程度上影响硒含量的分布^[12-16];颜少权等^[17]以表层、深层土壤的地球化学调查数据结合数理统计方法,对硒元素的分布规律和影响因素进行了探讨.综上可知:影响土壤硒含量的因素存在明显的区域差异性,要认识硒元素在基岩、土壤、植物的分异特征和迁移富集规律,就要通过农业地球化学研究方法去掌握硒元素的整体动态和地球化学行为.

益阳市多数区域为富硒地区,随着现代农业的发展,迫切需要为传统农业产业的发展注入新鲜“血液”,合理开发利用优质土地资源,打造富硒农产品品牌,加快现代农业发展,促进当地社会经济发展.近年来,益阳市人民政府在赫山区、资阳区、高新区、沅江市、南县、安化县选定 18 个农业产业园区开展了 1:2 000 富硒土壤(农业地质)详细调查研究工作,查明区内土壤中硒的赋存形态、相态、分异特征和迁移富集规律,提出工作区种植规划建议,以期对工作区的农业生产、农业科研、农业区划、农业结构和布局调整提供科学依据.

1 研究区概况

研究区为益阳市赫山区、资阳区、高新区、沅江市、南县、安化县境内的 18 个农业产业园区,研究面积 28.86 km²,地理坐标为 E110°43'02"~112°55'48",N27°58'38"~29°31'42",属亚热带大陆性季风湿润气候,年平均气温 16.1~16.9℃,日照 1 348~1 772 h,无霜期 263~276 d,降雨量 1 230~1 700 mm.益阳市由南至北呈梯级倾斜,海拔最高点 1 621 m,最低点 26 m.市域南半部位于雪峰山余脉,属丘陵山区地貌类型;北半部为洞庭湖淤积平原.

益阳市地层发育较全,除中生代大部分地层缺失外,其余时期地层均有分布.出露地层从老到新有元古界冷家溪群、板溪群、震旦系,古生界寒武系至二叠系上统,中生界白垩系上统和新生界第四系(见图 1).土壤类型以红壤、水稻土为主,其次为黄壤、潮土、黄棕壤等(见图 2).

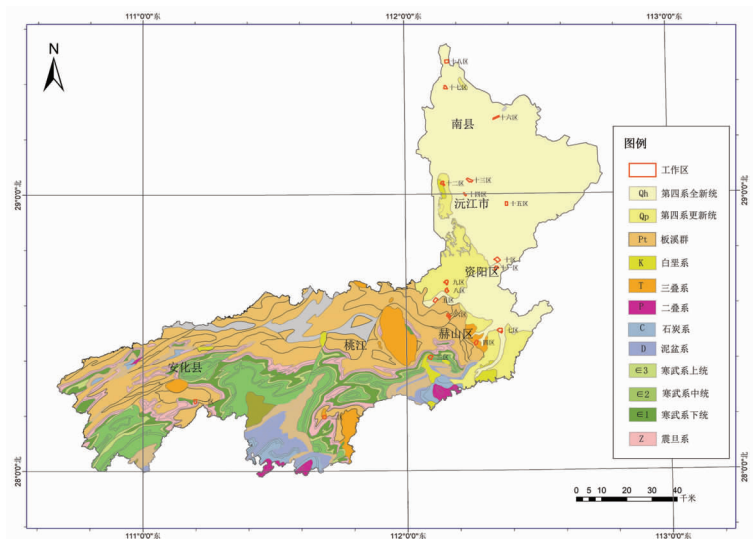


图 1 益阳地区地质

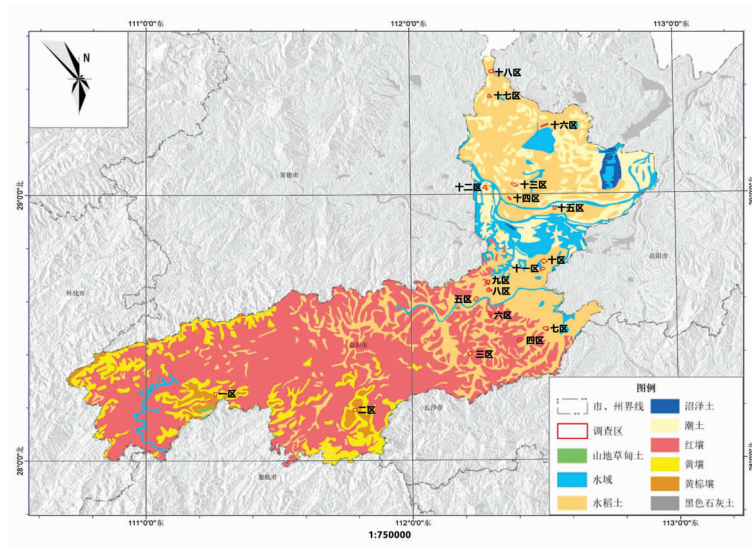


图 2 益阳地区 18 个工作区与土壤类型分布

2 样品采集和分析

2.1 表层土壤采样

表层土壤样品的采样方法参照《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)规范,项目对所选 18 个工作区开展了 1:2 000 土地质量地球化学调查,调查总面积 28.86 km²,土壤样点布置密度为 64 个/km²,网格采用 125 m×125 m,采集测试表层土壤样品 1 916 件(见表 1)。

表 1 样品采集概况

工作区	位置	面积/km ²	地层	土壤类型	地貌类型	样品数量/件
一区	安化县田庄乡	1.52	Z	黄壤	山地	111
二区	安化县仙溪镇	1.57	T	黄壤	山地	113
三区	赫山区泥江口镇	1.80	Z+P	水稻土	丘陵	120
四区	赫山区沧水铺镇	1.82	T	红壤	平原	118
五区	资阳区新桥河镇	1.83	Qp	水稻土	平原	118
六区	高新区邓石桥村	1.04	Ch	水稻土	丘陵	67
七区	赫山区笔架山乡	2.34	Qp	水稻土	平原	151
八区	资阳区长春镇	1.49	Qp	水稻土	平原	97
九区	资阳区长春镇	1.71	Qp	水稻土	平原	110
十区	资阳区苕湖口镇	2.55	Qp	水稻土	平原	164
十一区	资阳区苕湖口镇	1.54	Qp	水稻土	平原	119
十二区	沅江市南嘴镇	1.47	E	水稻土	丘陵	94
十三区	沅江市草尾镇	1.94	Qh	水稻土	平原	125
十四区	沅江市共华镇	0.68	Qh	水稻土	平原	48
十五区	沅江市泗湖山镇	1.32	Qh	水稻土	平原	88
十六区	南县乌嘴乡	1.18	Qh	水稻土	平原	76
十七区	南县麻河口镇	1.27	Qh	水稻土	平原	82
十八区	南县浪拔湖镇	1.79	Qh	水稻土	平原	115
合计	/	28.86	/	/	/	1 916

2.2 样品分析与测试

表层土壤样品数总计 1 916 件,湖南省勘测设计院根据硒和有效硒的检测规范,使用原子荧光分光光度计对土壤的硒元素进行检测(测试方法及检出限如表 2),质量控制分为内部质量控制和外部质量控制,

其中,内部质量控制采用空白试验、平行双样分析评价、标准物质合格率质控以及异常数据复测,而外部质量控制采用飞行检查、留样复测以及多级系统审核等方法^[18-22].

实验结果:18个工作区内表层土壤硒元素平均值为0.54 mg/kg,中位值为0.44 mg/kg,高于全国土壤背景值(0.29 mg/kg)^[16]和洞庭湖区表层土壤背景值(0.34 mg/kg),变异系数为169.51%(见表3),表明工作区整体土壤硒元素分布较不均匀,且存在多个影响因素.

表2 土壤样品硒及有效硒测试方法及其检出限

检测参数	方法依据	检出限/(mg/kg)	检测仪器设备
硒	《土壤和沉积物 汞、砷、硒、铋、锑的测定微波消解/原子荧光法》HJ 680-2013 ^①	0.01	原子荧光分光光度计
有效硒	《土壤中全硒的测定》NY/T 1104-2006 ^②	/	原子荧光分光光度计

表3 18个工作区硒元素基本统计量

元素	平均值/(mg/kg)	湖南土壤/(mg/kg)	中国土壤/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)	最小值/(mg/kg)	变异系数/%	标准差
硒	0.540	0.27 ^③	0.29 ^④	0.440	0.032 0	169.51	0.92
有效硒	0.027	/	/	0.009	0.000 1	983.28	0.26

在湖南省已开展调查的区域中,工作区的表层土壤富硒程度较高,如表4所示.

表4 湖南已调查区域硒元素含量(数据截止2021年底)

地区	均值/(mg/kg)	面积/km ²	数量	年份	资料提供单位
洞庭湖地区	0.40 ^⑤	39 600	9 700	2006—2009	湖南省地质科学研究所
湘西州	0.34 ^⑥	15 462	590	2007—2009	吉首大学
慈利县重点区	0.54 ^⑦	960	900	2015	湖南省地质科学研究所
新田县	0.29 ^⑧	1 022	5 571	2011—2013	湖南省地球物理地球化学勘查院
涟源市	0.33 ^⑨	1 897	6 168	2014—2015	湖南省地质调查院
石门县	0.31 ^⑩	3 973	900	2016—2017	湖南省地质科学研究所

注:①~⑩的数据均来自中国土壤元素相关标准及湖南省土壤调查标准

3 讨论

3.1 硒元素分布规律

1 916件表层土壤中硒元素含量频率呈正态分布(见图3),其中以0.4~0.6 mg/kg范围内样品数居多,达698件,出现概率由中间最高往两侧逐渐减少.

目前,国家对富硒土壤尚无标准,但由于富硒产业的快速发展,各地根据当地实际情况制定了相应的富硒地方标准^[23-26].根据李家熙等^[17]的划分,分为低硒土壤(0.1~0.2 mg/kg)、中硒土壤(0.2~0.4 mg/kg)、富硒土壤(0.4~3.0 mg/kg)以及高硒土壤(>3.0 mg/kg).按此标准,区内土壤样品中有211件属低硒土壤,约占11.01%;中硒土壤样品574件,占29.96%;富硒土壤样品1 044件,占54.49%;高硒土壤样品87件,占4.54%(见图4).富硒土壤面积约15.73 km²,范围较广泛,18个工作区硒含量等级如图5所示.

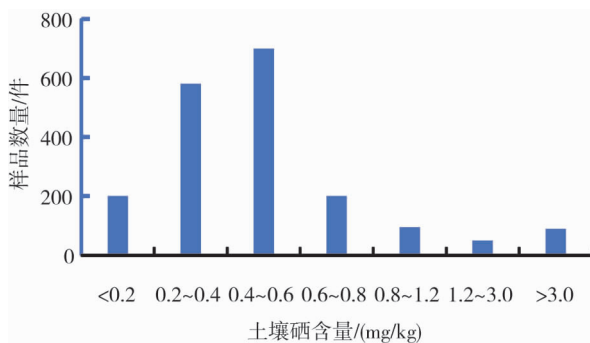


图3 土壤含硒量频率直方图

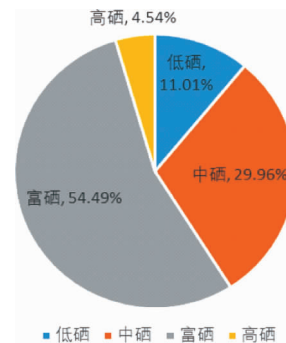


图4 表层土壤富硒划分

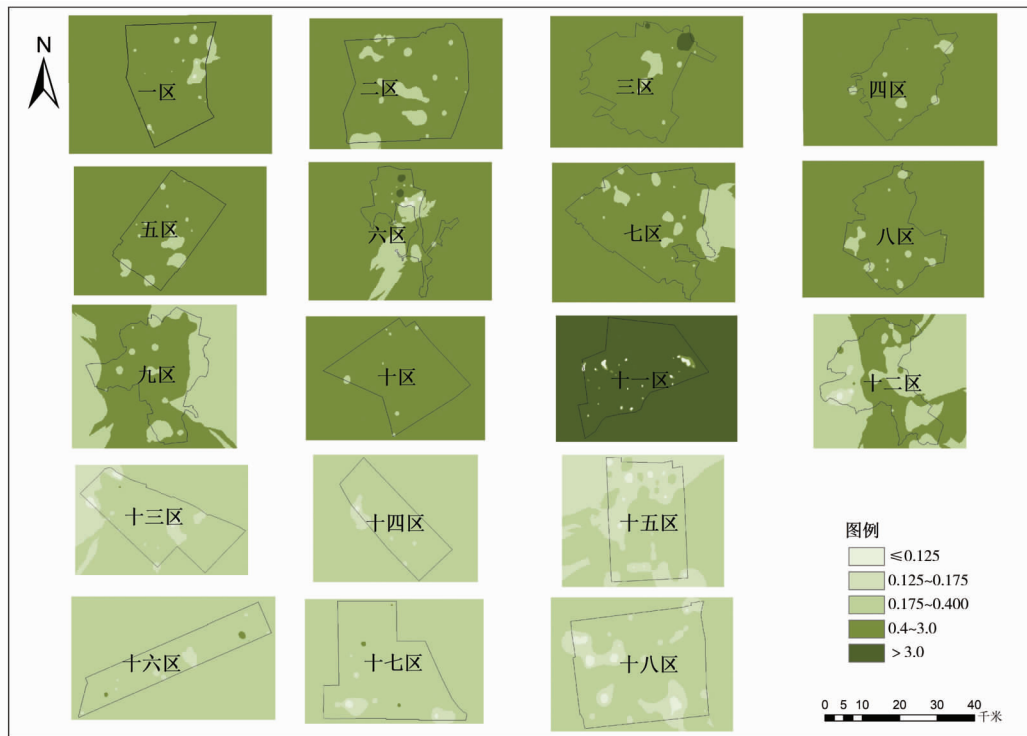


图 5 18 个工作区硒含量等级

按区来看,硒含量均值最高为十一区,为 1.45 mg/kg;其次为一区和三区,硒平均含量分别为 0.85, 1.03 mg/kg;最低为十三区、十五区与十八区,分别为 0.23,0.19,0.21 mg/kg.其中十区、十一区土壤富硒率达到 90%以上,即此区域采集的土壤样品基本全部达到富硒标准,一区、三区、四区、五区、七区、八区土壤富硒率达到 80%以上(见图 6),说明该研究区土壤富硒率较高,可考虑对该研究区进行富硒土壤开发.

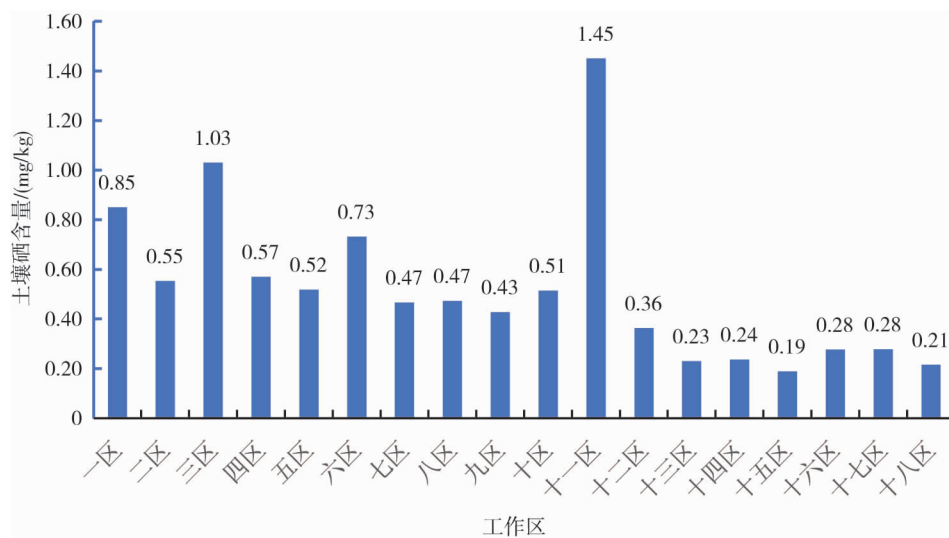


图 6 各区土壤硒含量均值

3.2 有效硒分布特征

有效硒一般以硒酸盐、亚硒酸盐以及有机态硒化物形式存在,约占土壤全硒的 1%~8%,有效硒与全硒量之间呈良好的规律性关系^[27-30].另外,各区硒有效态含量平均值为 0.027 mg/kg,含量范围为 0.001~10.619 mg/kg,中位值为 0.009 mg/kg,占全硒量平均值的 0.99%.变异系数为 983.28%,离散性大,分布不均匀.通过计算,土壤有效硒含量与全硒量相关系数为 0.38,相关性为一般(见图 7).此外,有效硒含量与全硒量在地区间呈现一定规律.十二区~十八区的有效硒含量与全硒量明显低于一区~十一区(见图 8).十二区~十八区均分布在水域附近(见图 2),初步推断是由于淋溶作用导致水域附近土壤中的硒含量偏低.

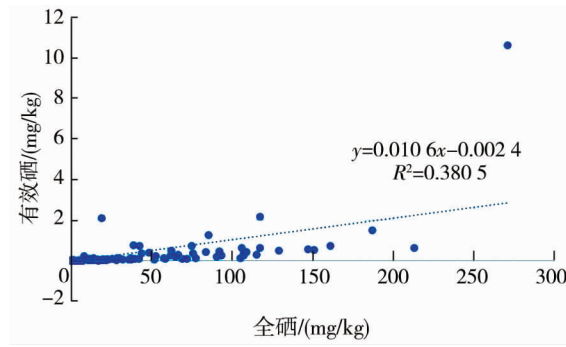


图7 土壤全硒量与有效硒含量散点图与线性回归

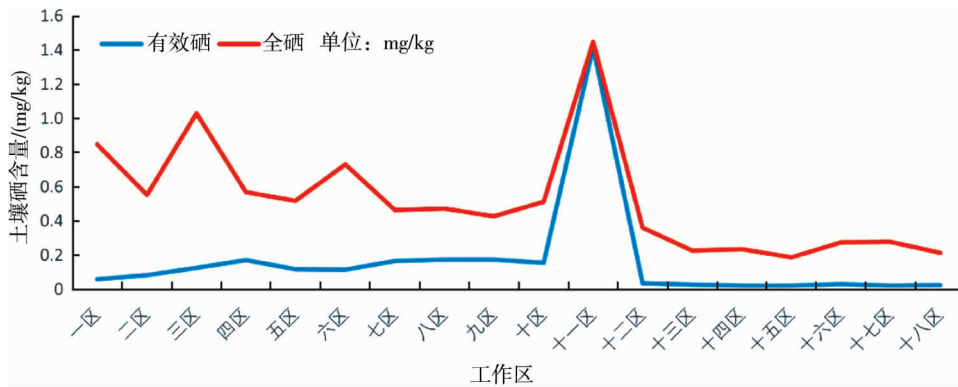


图8 不同地区有效硒与全硒元素含量关系

3.3 土壤 Se 含量的影响因素

3.3.1 地质背景

益阳地区表层土壤硒元素的分布整体呈中部高,东西两侧低的特点(见图9),益阳市从震旦系到第四系均有出露分布,结合研究区地质图,得出各地质背景下,各区土壤硒元素含量呈现差异.各地层中第四系(Q)土壤硒含量最高,平均值为1.031 mg/kg,其次为寒武系(ε),平均值为0.812 mg/kg,最低为三叠系(T),为0.243 mg/kg.可见,不同地质背景虽不同,但表层土壤总体硒含量较高,其均值全部达到富硒标准.从地层来看,寒武系、第四系中各元素含量较高.白垩系富硒率最高,达到96.77%,寒武系和奥陶系(O)次之,分别为86.67%和86.49%.由单要素方差分析结果显示 $F = 2.359, p < 0.05$,判断地质背景对土壤硒元素含量具有显著性影响.由硒元素含量均值可知:第四系、寒武系地质背景中硒元素含量较高.

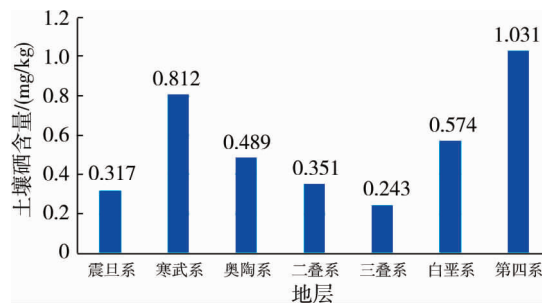


图9 不同地质背景土壤硒元素含量

3.3.2 土壤类型

根据不同的土壤类型,分析得知,水稻土硒含量最高,达0.85 mg/kg,其次为黄壤(0.49 mg/kg),最低为潮土(0.25 mg/kg)(见表5、图10),土壤类型的含硒量高低决定了表层土壤的硒含量.当水稻土进行灌溉时,由氧化状态转变为还原状态,导致了硒酸盐向亚硒酸盐的转变,硒含量在土壤中富集.根据地层与土壤类型的图层空间叠加,结合两者统计数据(见表5)得出以下规律:第四系及白垩系对应水稻土、三叠系

对应红壤、奥陶系对应红壤、寒武系对应黄棕壤、震旦系对应黄壤,即土壤硒元素含量在土壤中的分布与地质背景基本相对应,说明各类型土壤的形成与地质背景存在一定联系。

表 5 各区不同土壤类型区硒元素含量

土壤类型	暗黄棕壤	潮土	红壤	黄壤	水稻土
有效硒/(mg/kg)	0.38	0.25	0.42	0.49	0.85
富硒率/%	81.25	13.51	87.92	80.21	72.53

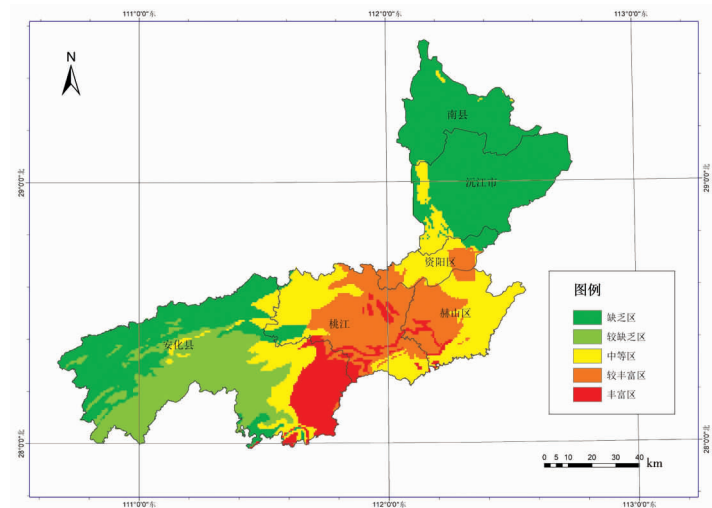


图 10 益阳地区硒元素含量分布

4 结论

1) 益阳地区表层土壤硒元素的分布整体呈中部高,东西两侧低的特点,土壤硒元素平均值 0.54 mg/kg,中位值为 0.44 mg/kg,高于湖南省多数已调查的区域。

2) 在各地质背景中,第四系土壤硒含量最高,其次为寒武系,三叠系最低。

3) 研究区土壤类型与表层土壤中的硒元素存在一致性,均在潜育性水稻土中最高,在潮土中最低,土壤类型的含硒量高低决定了表层土壤的硒含量。

参考文献:

- [1] KIELISZEK M, BŁAŻEJAK S. Current knowledge on the importance of selenium in food for living organisms; a review[J]. *Molecules*, 2016, 21(5): 609.
- [2] TOMZA-MARCINIAK A, BAKOWSKA M, PILARCZYK B, et al. Stężenie selenu w glebie i wybranych narządach saren (*Capreolus capreolus*) z terenu województwa wielkopolskiego[J]. *Acta Scientiarum Polonorum. Zootechnica*, 2010, 9(4): 251–259.
- [3] HSUEH Y M, SU C T, SHIUE H S, et al. Levels of plasma selenium and urinary total arsenic interact to affect the risk for prostate cancer[J]. *Food and Chemical Toxicology: an International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 2017, 107(Pt A): 167–175.
- [4] KIELISZEK M, BŁAŻEJAK S, KUREK E. Binding and conversion of selenium in candida utilis ATCC 9950 yeasts in bioreactor culture[J]. *Molecules*, 2017, 22(3): 352.
- [5] PRESSER T S, OHLENDORF H M. Biogeochemical cycling of selenium in the San Joaquin Valley, California, USA[J]. *Environmental Management*, 1987, 11(6): 805–821.
- [6] LIU X J, YANG K, GUO F, et al. Effects and mechanism of igneous rock on selenium in the tropical soil-rice system in Hainan Province, South China[J]. *China Geology*, 2022, 5(1): 1–11.
- [7] WANG C, JI J F, ZHU F H. Characterizing Se transfer in the soil-crop systems under field condition[J]. *Plant and Soil*,

- 2017, 415(1): 535-548.
- [8] 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.
- [9] 夏飞强, 张祥, 杨艳, 等. 安徽省宁国市土壤和农产品硒地球化学特征及影响因素[J]. 土壤, 2021, 53(3): 585-593.
- [10] 张钟华, 季国松, 王小洪, 等. 贵州省桐梓县表层土壤硒地球化学特征及影响因素分析[J]. 贵州地质, 2020, 37(3): 289-297.
- [11] 范汝海, 倪战旭, 林清梅, 等. 广西永福县表层土壤硒地球化学特征及其影响因素分析[J]. 现代矿业, 2021, 37(11): 15-19.
- [12] 朱建明, 左维, 秦海波, 等. 恩施硒中毒区土壤高硒的成因: 自然硒的证据[J]. 矿物学报, 2008, 28(4): 397-400.
- [13] 郦逸根, 董岩翔, 郑洁, 等. 浙江富硒土壤资源调查与评价[J]. 第四纪研究, 2005, 25(3): 323-330.
- [14] 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(4): 388-391.
- [15] 李传松, 薛宗保, 陈怀松. 对达州市富硒茶产业发展现状的调查与思考: 以万源市为例[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(21): 3-5, 112.
- [16] 李家熙, 张光第, 葛晓立, 等. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [17] 颜少权, 高耀广, 袁关涛. 河南省睢县西南部土壤硒的地球化学特征及影响因素[J]. 矿产勘查, 2023, 14(9): 1766-1774.
- [18] 陈继平, 任蕊, 王晖, 等. 关中塬土地区土壤 pH 变化对硒形态及有效性的影响[J]. 西北地质, 2020, 53(1): 254-260.
- [19] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 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.
- [20] 郭莉, 杨忠芳, 阮起和, 等. 北京市平原区土壤中硒的含量和分布[J]. 现代地质, 2012, 26(5): 859-864.
- [21] 王金达, 于君宝, 张学林. 黄土高原土壤中硒等元素的地球化学特征[J]. 地理科学, 2000, 20(5): 469-473.
- [22] 胡艳华, 王加恩, 蔡子华, 等. 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] 郑维熙, 周忠发, 朱粲粲, 等. 岩溶区土壤理化特征与土壤有机碳含量关系研究[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(7): 91-99.
- [24] 成晓梦, 吴超, 孙彬彬, 等. 浙江中部典型黑色岩系分布区土壤-作物富硒特征与重金属风险评价[J]. 现代地质, 2021, 35(2): 425-433.
- [25] 魏然, 侯青叶, 杨忠芳, 等. 江西省鄱阳湖流域根系土硒形态分析及其迁移富集规律[J]. 物探与化探, 2012, 36(1): 109-113.
- [26] 姚林波, 高振敏, 龙洪波. 分散元素硒的地球化学循环及其富集作用[J]. 地质地球化学, 1999, 27(3): 62-67.
- [27] 张亚丽, 张志敏, 张继军, 等. 安康西部农田土壤硒形态及农作物富硒特征[J]. 西北地质, 2021, 54(3): 229-235.
- [28] 夏琼, 高东升, 高雅, 等. 安徽省石台县富硒土壤资源调查与评价[J]. 安徽地质, 2017, 27(4): 314-316.
- [29] 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.
- [30] 姬华伟, 任蕊, 陈继平, 等. 关中不同类型土壤硒含量特征及其对玉米籽粒硒含量的影响[J]. 西北地质, 2021, 54(4): 239-249.