

· 地质调查支撑服务脱贫攻坚专栏 ·

赣州市水稻及根系土中硒的含量特征与富硒土壤界限值

周 墨, 唐志敏, 张 明, 陈国光, 梁晓红, 湛 龙, 张 洁, 雍太健

ZHOU Mo, TANG Zhimin, ZHANG Ming, CHEN Guoguang, LIANG Xiaohong, ZHAN Long, ZHANG Jie, YONG Taijian

中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016

Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China

摘要:以赣州市主要农作物954组水稻及根系土为研究对象,分析了水稻及根系土中硒的含量特征,并研究了赣州市富硒土壤界限值。结果表明,水稻籽实总体富硒概率为53.77%,其中当根系土Se含量 ≥ 0.4 mg/kg时,水稻籽实的富硒比率高达79.78%。但是在研究区足硒、潜在硒不足和缺硒的土壤中,也发现有一定数量的富硒水稻,说明以0.4 mg/kg为界限划分富硒土壤存在一定的漏判和误判。通过水稻富硒率对比发现,赣州市水稻种植区富硒土壤标准下限值为0.3 mg/kg,此时水稻籽实Se平均含量为0.073 mg/kg,水稻富硒率为72.16%。研究结果对赣州市富硒土壤资源的科学利用和富硒水稻产业的发展具有重要意义。

关键词:土壤硒含量;水稻硒含量;富硒标准;回归分析

中图分类号:P595;S15 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)04-0604-06

Zhou M, Tang Z M, Zhang M, Chen G G, Liang X H, Zhan L, Zhang J, Yong T J. Selenium contents of rice and rhizosphere soil and threshold value of selenium-rich soil in Ganzhou of Jiangxi Province. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(4): 604-609

Abstract: In our project, 954 groups of rice and root soil, the main crops of Ganzhou city, were taken as a research object to analyze the selenium contents of rice and rhizosphere, and to study the threshold value of selenium-rich soil in Ganzhou city. The results revealed that when the Se content of rhizosphere was ≥ 0.4 mg/kg, the overall selenium enrichment probability of rice seeds was 53.77%, and the selenium enrichment ratio of rice seeds was as high as 79.78%. However, a certain amount of selenium-rich rice also grew in the soil with sufficient selenium, potential deficient selenium and deficient selenium, which indicates that there were certain misjudgment and erroneous judgment in the division of the selenium-rich soil according to the threshold of 0.4 mg/kg. According to the comparison of Se enrichment rate of rice, when the standard lower limit of Se-rich soil in the rice growing area of Ganzhou City was 0.3 mg/kg, the average Se content in rice seeds was 0.073 mg/kg, and the Se enrichment rate in rice was 72.16%. This study is of great significance to the scientific utilization of selenium-rich soil resources and the development of selenium-rich rice industry in Ganzhou City.

Key words: soil selenium; rice selenium; selenium enrichment standard; regression analysis

硒(Selenium, Se)被誉为“抗癌之王”、“心脏守护神”、“天然解毒剂”^[1-4]。早在20世纪70年代,世界卫生组织宣布硒是人类必需的微量元素,男性

每日建议硒摄入量为40~400 μg ,女性每日建议硒摄入量为30~400 μg ^[5]。硒摄入过低过高都会影响人体健康,当长期硒摄入过高时,会导致硒中

收稿日期:2020-08-10;修订日期:2020-10-19

资助项目:中国地质调查局项目《全国土地质量地球化学调查成果集成与服用应用(南京地质调查中心)》(编号:DD20190519)和《海峡两岸经济区土地质量地球化学调查》(编号:DD20160321)

作者简介:周墨(1989-),男,硕士,工程师,从事生态地球化学研究。E-mail:zhoumo407@126.com

毒^[6-7],摄入不足时,会引起大骨节病、克山病等缺硒疾病^[8-9]。已有研究证实,食物是补充硒的重要途径之一,而农作物中硒主要来源于土壤^[10],因此土壤中Se含量的高低对于农作物中Se含量至关重要。在中国,约有72%的地区存在不同程度的硒缺乏^[11-12]。中国人体硒摄入普遍不足为富硒土地资源利用、天然富硒农产品开发奠定了广阔的市场,成为地球化学调查成果资料转化应用的重要方向^[13-15]。目前,对富硒土壤界定主要基于谭见安^[16]根据中国地方病与低硒环境提出的Se元素生态景观界限值,当土壤中Se含量介于0.4~3.0 mg/kg之间时,划定为富硒土壤。2019年,中国地质调查局发布地质调查技术标准《天然富硒土地划定与标识》(试行)(DD 2019—10)^①,对富硒土地进行划定。规范中说明,当土壤中Se含量未达到富硒标准阈值,Cd、Hg、As、Pb和Cr元素含量符合《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(试行)(GB 15618—2018)^②,但种植的农作物富硒比例大于70%时,也可划入富硒土地。

水稻是中国最重要的粮食作物,富含蛋白质、纤维、铁、钙和其他营养素的基本成分,其品质好坏对人类健康极其重要^[17]。《富硒稻谷》(GB/T 22499—2008)^③规定,富硒稻谷中Se含量处于0.04~0.30 mg/kg之间。由于中国幅员辽阔,不同地区气候、地质背景和土壤理化性质等存在明显差异,使用同一标准存在一定的局限性。已有学者发现,在实际工作中,发现在足硒、硒适量的土壤中也存在一定比例的富硒农作物,对富硒产业的开发和规划带来一定的不确定性^[18]。

本文依托赣州地区开展1:5万土地质量地球化学调查工作,对赣州市土壤-水稻生态系统中硒含量的分布特征及影响因素进行了研究,初步探讨了适宜赣州市发展富硒水稻产业的富硒土壤标准,为赣州市开发天然富硒水稻产业提供科学依据。

1 研究区概况

赣州市位于江西省最南部,也称赣南,是江西省面积最大、人口最多的城市,下辖3个市辖区、14个县、1个县级市、2个功能区。赣州市地理位置位于北纬24°29′~27°09′、东经113°54′~116°38′,海拔高度平均为300~500 m,地处中亚热带南缘,属典

型的亚热带湿润季风气候。年平均气温在19.1~20.8℃之间,年平均降水量为1318.9 mm。地貌类型以山地、丘陵和盆地为主。土壤类型主要为水稻土和红壤。研究区河网密布,水系发育,水系呈辐射状由中心向章贡区汇集。区域内地层发育较全,各时期地层均有出露,岩浆岩以花岗岩类为主。赣州地区现已发现矿产约105种,其中黑钨储量全国第一,稀土储量全国第二,素有“世界钨都”、“稀土王国”之誉。

2 材料和方法

2.1 样品采集

2016—2018年在赣州地区主要农耕区采集水稻及其根系土样品954组(图1)。采用GPS定位采样点,每个水稻籽实样点由3~5个子样本混合成一个主样本,同时采集0~20 cm耕作层土壤,用竹铲收集3~5个子样本混合成一个主样本。采集样品的地点远离明显的人类污染区域,土壤样品需用10目尼龙网筛剔除根系、碎片和石头后,在阴凉处彻底风干。筛过的表土样品储存在干净的聚乙烯袋中。分析前,将约200 g的表土样品在40℃以下烘干并研磨成细粉(<0.074 mm)进行化学分析。用自来水仔细冲洗水稻籽实,用去离子水清洗,随后在60℃以下干燥至恒重。然后把没有外壳的水稻籽实磨成细碎的粉末(<0.25 mm),置于清洁的塑胶袋内,以便作进一步的化学分析。

2.2 样品的分析检测与质量控制

本研究所有样品均严格按照中国地质调查局地质调查技术标准《多目标区域地球化学调查规范(1:250000)》(DZ/T 0258—2014)^④的要求执行。分析测试方法及检出限见表1。本次土壤样品、水稻籽实样品等分析测试方法水平、重复样分析质量水平、样品分析准确度水平均符合《生态地球化学评价样品分析方法和技术要求》(DD 2005—03)^⑤的质量要求,采用中国标准物质和内外重复样品验证分析的准确性和精密度,元素准确度、精密度国家一级标准物质合格率均为100%。

本文相关图件用ArcGIS 10.2(ERSI公司,美国)软件绘制,数据结果采用Excel 2019(Microsoft公司,美国)软件和SPSS 22(IBM公司,美国)软件进行统计分析。

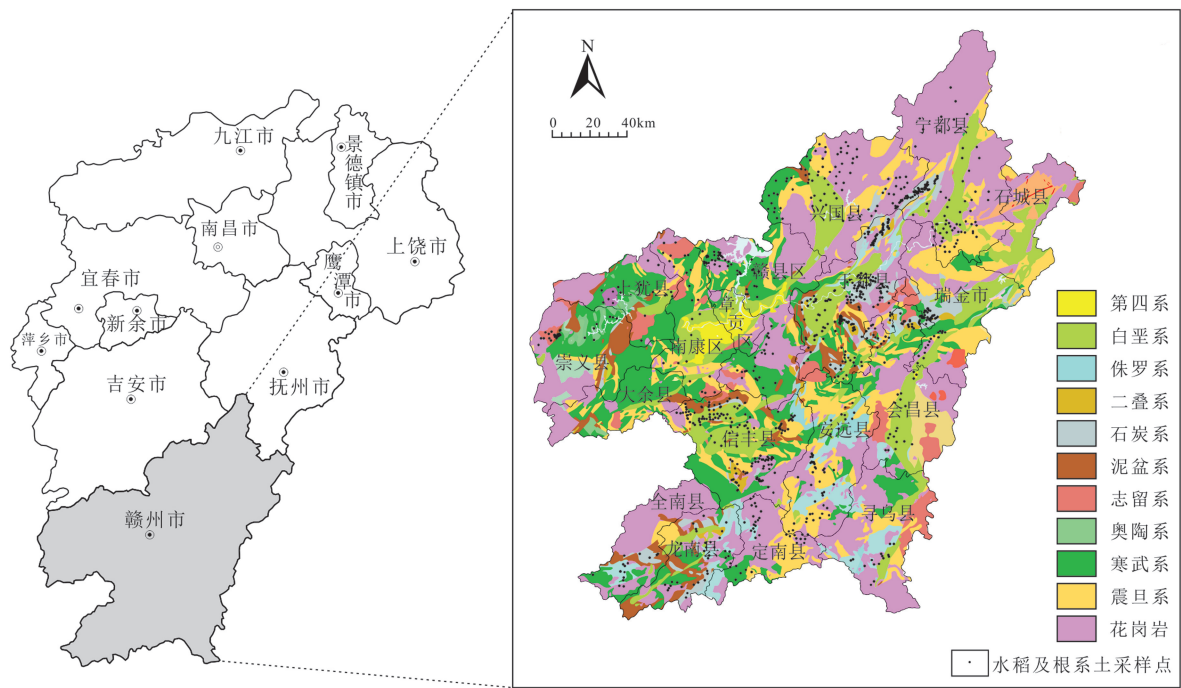


图 1 研究区采样点位分布图

Fig. 1 Sampling location of the study area

3 结果与讨论

3.1 水稻籽实与对应根系土壤中 Se 含量特征

对赣州市主要水稻种植区水稻籽实和对应根系土壤中 Se 含量进行统计(表 2)。研究区水稻籽实中 Se 平均含量为 0.056 mg/kg,中位数为 0.044 mg/kg,含量介于 0.001~2.198 mg/kg 之间。对应根系土壤中 Se 平均含量为 0.273 mg/kg,中位数为 0.247 mg/kg,含量介于 0.088~2.500 mg/kg 之间。土壤作为农作物吸收 Se 元素的主要来源,是开发富硒农产品的基础^[19]。依据谭见安^[16]提出的中国 Se 元素生态景观界限值,将研究区土壤中 Se 含量等级划分为硒缺乏(<0.125 mg/kg)、潜在硒不足(0.125~0.175 mg/kg)、足硒(0.175~0.4 mg/kg)、富硒(0.4~3.0 mg/kg)4 个等级。研究区水稻根系土以足硒为主,

占比 75.05%,富硒土壤占比 9.33%,潜在硒不足土壤占 13.1%,而缺硒土壤仅占总样品数的 2.52%。赣州市采集的 954 件水稻中有 513 件达到中国富硒水稻标准(0.04 mg/kg),占到总样品数的 53.77%,但是富硒水稻对应根系土壤中仅有 89 件土壤 Se 含量高于富硒土壤标准 0.4 mg/kg(表 3)。

从统计结果可以看出,赣州市水稻籽实中 Se 的

表 2 赣州市水稻籽实和对应根系土
Se 含量特征(n=954 件)

Table 2 Se contents of rice seed and corresponding
that of root soil in Ganzhou City

测试项	水稻籽实 Se 含量 /(mg·kg ⁻¹)	根系土壤 Se 含量 /(mg·kg ⁻¹)
平均值	0.056	0.273
中位数	0.044	0.247
最小值	0.001	0.088
最大值	2.198	2.500
标准偏差	0.084	0.154
变异系数	1.514	0.563

表 1 指标的分析方法及检出限

Table 1 Analysis method and detection limit

品种	元素	分析方法	检出限	品种	元素	分析方法	检出限
土壤	Se	AFS	0.01	水稻籽实	Se	AFS	0.01
	pH	ISE	0.1 * *				

注:“* *”为无量纲,Se 元素单位为 mg/kg;AFS 为原子荧光光谱法,ISE 为离子选择性电极法

平均含量和中位数均高于中国富硒稻谷标准(0.04~0.30 mg/kg),但根系土壤中无论是 Se 平均含量还是中位数均低于中国富硒土壤标准(0.4~3.0 mg/kg),且水稻籽实富硒率远大于土壤的富硒率。

3.2 不同地质背景对水稻籽实和根系土壤 Se 含量的影响

赣州地区位于中国南方低山丘陵区,湿润多雨导致区内风化作用强烈,土壤淋溶作用较强,基岩风化剥蚀产生的碎屑物和溶解物是当地土壤主要的物质来源,因此,土壤 Se 元素的含量与地质背景关系密切^[20]。由表 3 可知,土壤中 Se 含量最高的是二叠系发育的表层土壤,Se 平均含量为 0.467 mg/kg,其次为石炭系,土壤 Se 平均含量为 0.323 mg/kg,其余地层发育土壤 Se 含量均低于 0.30 mg/kg。水稻籽实中 Se 平均含量由高到低依次为二叠系、石炭系、震旦系、寒武系、白垩系、泥盆系、侏罗系、花岗岩,其中,仅侏罗系和花岗岩岩体发育土壤种植水稻籽实未达到富硒水稻标准,二叠系发育土壤种植水稻籽实 Se 平均含量高达 0.111 mg/kg。对比不同地层发育水稻籽实富硒率可知(图 2),二叠系发育土壤种植水稻籽实富硒率高达 92.45%,其次为石炭系,发育土壤种植水稻籽实富硒率为 83.76%。泥盆系发育土壤种植水稻籽实富硒率也达到了 75.00%。综上,赣州地区水稻籽实及根系土壤中 Se 含量受地质背景影响显著。

表 3 不同地质背景发育土壤和种植水稻籽实 Se 含量
Table 3 Se contents of soil and rice seed developed under different geological backgrounds

地层	样品数	水稻籽实			根系土壤		
		平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值
白垩系	179	0.054	0.002	0.450	0.240	0.099	0.715
侏罗系	47	0.037	0.008	0.119	0.228	0.099	0.440
二叠系	53	0.111	0.034	0.509	0.467	0.125	2.500
石炭系	197	0.070	0.020	0.234	0.323	0.117	0.856
泥盆系	32	0.066	0.014	0.18	0.264	0.153	0.597
寒武系	100	0.041	0.003	0.159	0.254	0.120	0.460
震旦系	102	0.040	0.001	0.174	0.241	0.110	0.550
花岗岩	201	0.034	0.001	0.116	0.246	0.088	0.554

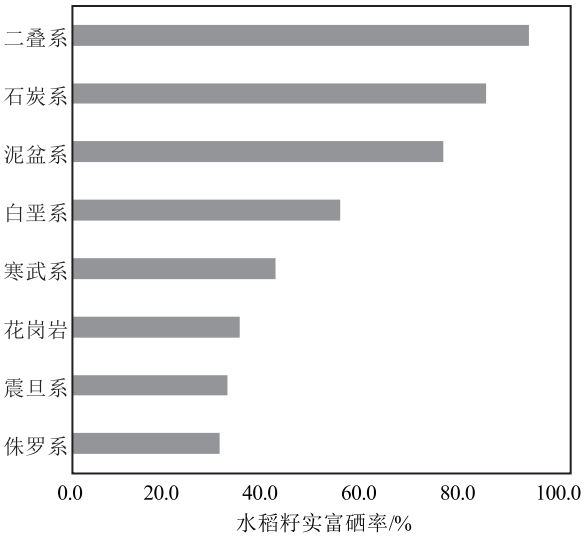


图 2 不同地质背景发育土壤种植水稻籽实富硒率对比图
Fig. 2 Comparison of selenium enrichment rate of rice seeds cultivated in different geological background

3.3 土壤富硒界限值划定

研究区足硒、潜在硒不足和缺硒的土壤中,也发现有一定数量的富硒水稻,说明以 0.4 mg/kg 为依据划分富硒土壤存在一定的漏判和误判(图 3)。研究区硒缺乏、潜在硒不足、足硒和富硒土壤中水稻籽实的富硒率分别为 29.17%、41.60%、53.49% 和 79.78%(表 4),说明随着土壤中 Se 含量的不断增加,水稻中 Se 含量显著增加,富硒率显著提高。为了进一步确定研究区富硒土壤界限值,以 0.01 mg/kg 分级,统计根系土壤 Se 含量介于 0.2~0.4 mg/kg 之间的水稻籽实的富硒率。由图 4 可知,水稻富硒率随根系土 Se 含量增加呈上升趋势。当根系土中 Se 含量为 0.26 mg/kg 时,水稻富硒率为 64.49%,当根系土中 Se 含量达到 0.3 mg/kg 及以上时,富硒率均高于 70%。《中国地质调查局地质调查技术标准天

表 4 不同土壤硒分级水稻富硒比例
Table 4 Selenium-rich ratio of rice in different soil grades

根系土 Se 含量 (mg/kg)	分级	样本数 /件	富硒水稻 个数/件	富硒 率/%
Se 含量<0.125	缺乏	24	7	29.17
0.125 ≤ Se 含量 <0.175	潜在硒 不足	125	52	41.60
0.175 ≤ Se 含量<0.4	足硒	716	383	53.49
0.4 ≤ Se 含量<3.0	富硒	89	71	79.78

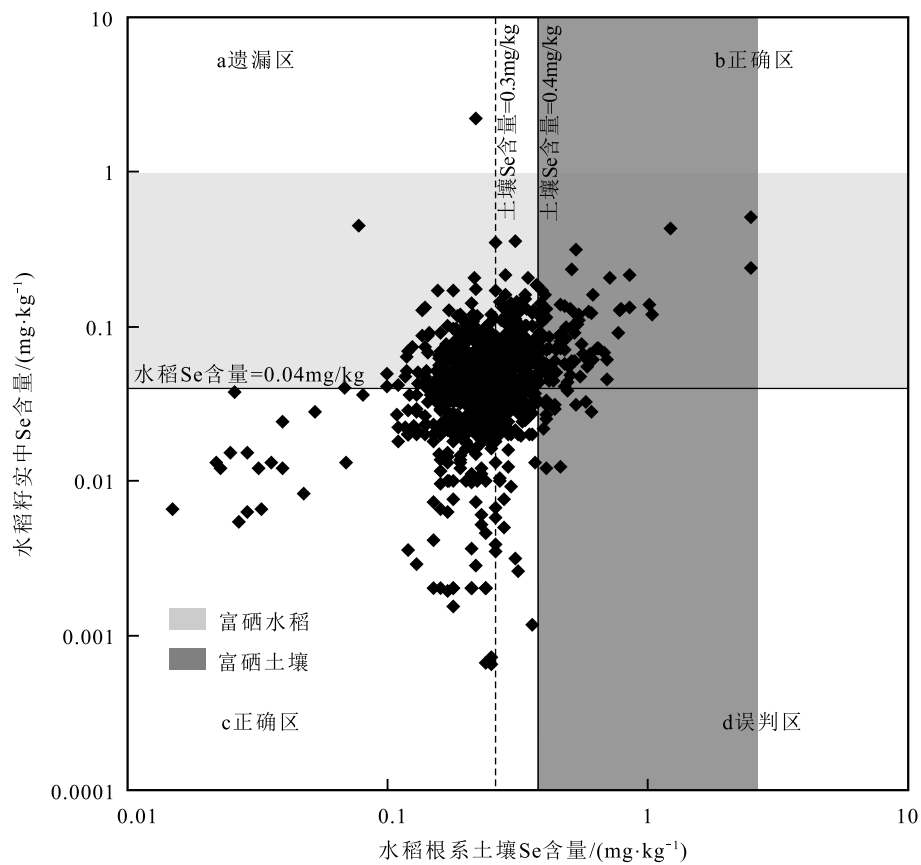


图3 赣州市水稻籽实 Se 含量协调分析

Fig. 3 Coordinate Se content analysis of rice seeds in Ganzhou City

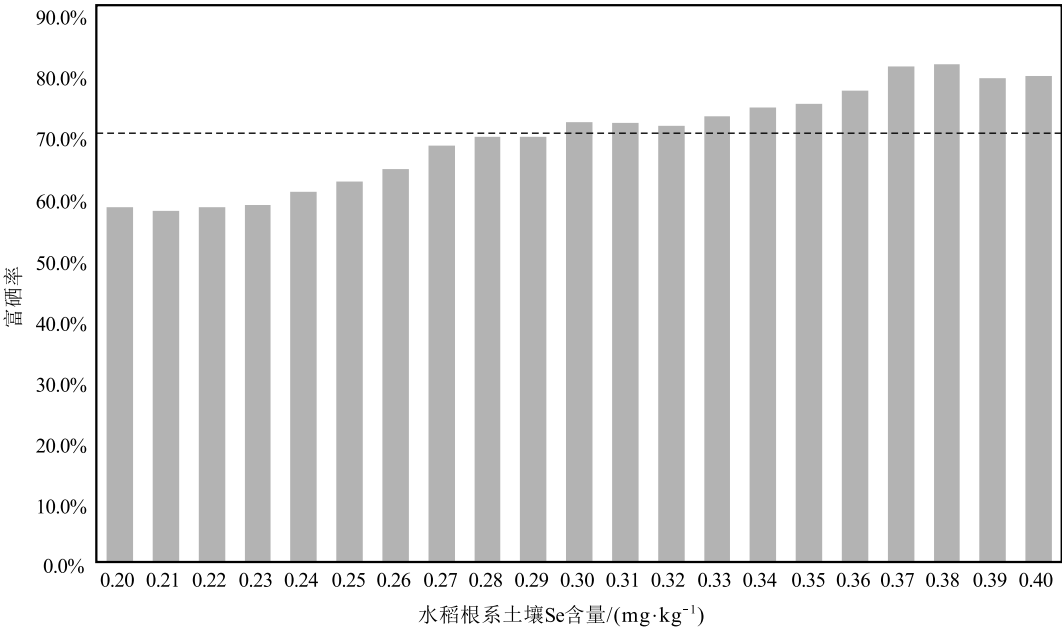


图4 根系土 Se 含量与水稻籽实富硒率相关图

Fig. 4 Correlation of Se content in rhizosphere soil and Se enrichment rate in rice seeds

然富硒土地划定与标识》(DD 2019—10)明确指出,当种植的农作物富硒比例大于70%时,也可划入富硒土地。

4 结 论

(1)研究区水稻籽实中Se的平均含量为0.056 mg/kg,对应根系土壤中Se的平均含量为0.273 mg/kg。土壤总体以足硒为主,不存在缺硒现象。其中达到中国富硒水稻标准0.04 mg/kg的水稻数量占到总样品数的53.77%。

(2)水稻籽实和根系土壤中Se含量受地质背景影响显著,二叠系发育土壤种植水稻籽实富硒率最高。

(3)初步建议赣州市水稻种植区富硒土壤标准下限值为0.3 mg/kg,此时水稻富硒率为72.16%。

参考文献

- [1] Yu T, Hou W L, Hou Q Y, et al. Safe utilization and zoning on natural selenium-rich land resources: a case study of the typical area in Enshi County, China[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2020, 42: 2803-2818.
- [2] Gu Q B, Yang Z F, Y T, et al. Application of ecogeochemical prediction model to safely exploit seleniferous soil[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, 177: 133-139.
- [3] 黄园英, 魏吉鑫, 刘久臣, 等. 江西赣州瑞金—石城地区土壤与白莲果实中Se及其他有益元素地球化学特征[J]. *地质通报*, 2020, 39(12): 1944-1951.
- [4] 杨忠芳, 余涛, 侯青叶, 等. 海南岛农田土壤Se的地球化学特征[J]. *现代地质*, 2012, 26(5): 837-849.
- [5] 曾庆良, 余涛, 王锐. 土壤硒含量影响因素及富硒土地资源区划研究——以湖北恩施沙地为例[J]. *现代地质*, 2018, 32(1): 105-112.
- [6] 余涛, 杨忠芳, 王锐, 等. 恩施典型富硒区土壤硒与其他元素组合特征及来源分析[J]. *土壤*, 2018, 50(6): 1119-1125.
- [7] 张光弟, 葛晓立, 张绮玲, 等. 湖北恩施硒中毒区土壤硒的分布及其控制因素[J]. *中国地质*, 2001, 28(9): 37-41.
- [8] 葛晓立, 李家熙, 万国江, 等. 张家口克山病地区土壤硒的地球化学形态研究[J]. *岩矿测试*, 2000, 19(4): 254-258.
- [9] 吕瑶瑶, 余涛, 杨忠芳, 等. 大骨节病区硒元素分布的调控机理研究——以四川省阿坝地区为例[J]. *环境化学*, 2012, 31(7): 935-944.
- [10] Rayman M P. Food-chain selenium and human health: emphasis on intake[J]. *British Journal of Nutrition*, 2008, 100(2): 254-268.
- [11] Yu T, Yang Z F, Lv Y Y, et al. The origin and geochemical cycle of soil selenium in a Se-rich area of China[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, 139: 97-108.
- [12] 王锐, 余涛, 曾庆良, 等. 我国主要农耕地土壤硒含量分布特征、来源及影响因素[J]. *生物技术进展*, 2017, 7(5): 359-366.
- [13] 汤奇峰, 徐春丽, 刘斯文, 等. 江西赣州市瑞金盆地天然富硒土地资源特征与保护利用[J]. *地质通报*, 2020, 39(12): 1932-1943.
- [14] 雍太健, 张明, 陈国光, 等. 赣州市土地质量地球化学评估及其富硒特征研究[J]. *华东地质*, 2020, 41(4): 403-409.
- [15] 文帮勇, 张涛亮, 李西周, 等. 江西龙南地区富硒土壤资源开发可行性研究[J]. *中国地质*, 2014, 41(1): 256-263.
- [16] 谭见安. 中华人民共和国地方病与环境图集[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 39.
- [17] Lu A X, Li B R, Li J, et al. Heavy metals in paddy soil-rice systems of industrial and township areas from subtropical China: Levels, transfer and health risks[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2018, 194: 210-217.
- [18] 成晓梦, 马荣荣, 彭敏, 等. 中国大宗农作物及根系土中硒的含量特征与富硒土壤标准建议[J]. *物探与化探*, 2019, 43(6): 1367-1372.
- [19] 廖启林, 崔晓丹, 任静华, 等. 江苏土壤硒分布特征及富硒土地资源开发利用潜力[J]. *地质学刊*, 2019, 43(4): 639-651.
- [20] 周墨, 陈国光, 张明, 等. 赣南地区土壤硒元素地球化学特征及其影响因素研究: 以青塘—梅窖地区为例[J]. *现代地质*, 2018, 32(6): 1292-1301.
- ①中国地质调查局. 中国地质调查局地质调查技术标准天然富硒土地划定与标识(试行)(DD 2019—10). 2019.
- ②生态环境部中华人民共和国国家市场监督管理总局. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)(GB 15618—2018). 2018.
- ③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. 富硒稻谷(GB/T 22499—2008). 2008.
- ④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多目标区域地球化学调查规范(1:250000)(DZ/T 0258—2014). 2014.
- ⑤中国地质调查局. 中国地质调查局地质调查技术标准生态地球化学评价样品分析技术要求(试行)(DD 2005—03). 2005.