

贵州省桐梓县表层土壤硒地球化学特征及影响因素分析

张钟华¹, 季国松^{2*}, 王小洪¹, 安泉¹, 刘浩¹,
潘有良¹, 吴鹏¹, 肖波¹, 王艇¹, 罗建均¹, 王华斌¹

(1. 贵州省地矿局 117 地质大队, 贵州 贵阳 550018; 2. 贵州省地矿局 102 地质大队, 贵州 遵义 563000)

[摘要]通过贵州省桐梓县 1:5 万土地质量地球化学调查评价工作, 查明了境内耕地与园地表层土壤中硒的地球化学分布特征, 探讨了影响表层土壤硒含量高低的因素, 发现了富硒水稻与方竹笋。结果表明, 全区耕地与园地表层土壤硒含量在 0.02~6.59 mg/kg 之间, 平均值为 0.58 mg/kg, 二叠系龙潭组发育的土壤中硒含量最高, 平均值在 1.10~1.18 mg/kg 之间, 侏罗系发育的土壤中硒含量最低, 平均值在 0.22~0.32 mg/kg 之间, 其余地层发育的土壤硒平均值在 0.42~0.70 mg/kg 之间。表层土壤整体上属于富硒土壤, 富硒面积 70 535.52 公顷, 占总评价面积的 70.92%, 富硒资源丰富。富硒方竹笋硒含量在 0.010~0.050 mg/kg 之间, 富硒率 17.4%; 富硒水稻硒含量在 0.043~0.050 mg/kg 之间, 富硒率 13.5%, 水稻平均生物富集系数大于方竹笋。土壤硒含量高低主要受成土母质影响, 土壤理化性质、全氮、全磷、铁锰氧化物、地形地貌与海拔高度等也是影响土壤表层土壤硒富集的重要因素。

[关键词]表层土壤硒; 地球化学; 影响因素; 水稻、方竹笋; 桐梓县

[中图分类号]S159; P632; O613.52 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2020)-03-0289-09

1 引言

硒是对人体健康有广泛影响的微量元素, 人体含有 20 多种含硒的酶, 硒对甲状腺激素代谢、抗氧化和免疫系统功能起重要作用(Fairweather Tait S J, 2011), 人体摄入硒含量过低, 会引发克山病、大骨节病等多种缺硒疾病(张丽珊等 1990), 食物与水中硒含量过低, 容易让人产生癌症等多种疾病(Rayman M P, 2000), 世界卫生组织推荐人体每天硒的摄入量为 50~200 μg 。因此, 研究土壤中硒元素的分布规律, 农产品富硒情况是近年来的研究热点。按照土地质量地球化学调查评价规范(DZ/T 0295-2016)的要求, 2017—2019 年, 在桐梓县境内开展了 1:5 万土地质量地球化学调查评价工作, 调查了耕地与园地, 评价面积 99

458.25 hm^2 。系统采集了表层土壤样、土壤剖面样与母岩样、农作物与根系土样。本文以该数据对桐梓县表层土壤硒含量进行了统计分析, 探讨桐梓县表层土壤硒地球化学特征、分布规律及影响因素, 对农产品安全性、特色性进行了评价, 为桐梓县开发富硒产业, 发展山地高效农业提供依据。

2 研究区概况

桐梓县位于贵州省北部, 隶属遵义市。地处东经 106°26'~107°16', 北纬 27°57'~28°54', 国土面积 3 207.60 km^2 。全县土壤类型以黄壤为主, 其次为石灰土、紫色土、水稻土、粗骨土与黄棕壤。土地利用现状以林地为主, 其次为耕地, 分别占全县国土面积的 51.4%、31.5%, 园地面积较

[收稿日期]2020-02-25 **[修回日期]**2020-07-03

[基金项目]贵州省桐梓县耕地质量地球化学调查评价(黔地矿耕调 2017-19)。

[作者简介]张钟华(1985—), 男, 工程师, 长期从事地球化学、地质调查工作。

[通讯作者]季国松(1980—), 男, 高级工程师, 长期从事地球化学、地质调查工作。

少,仅 791.51 hm²。全县 2018 年末总人口 74.5 万余人,其中农村人口 49.5 万余人。主要粮食作物有玉米、水稻与高粱,主要经济作物为烤烟,特色农产品为方竹笋。

大地构造单元位于上扬子陆块黔北隆起区,全区出露地层由老到新为寒武系、奥陶系、志留系、二叠系、三叠系与侏罗系。岩性主要为碳酸性岩与陆源碎屑岩。

3 研究方法

3.1 样品采集

本次调查对象是耕地(水田、旱地与水浇地)和园地(茶园、果园与其他园地),由于桐梓县地处岩溶山区,耕地与园地零碎、分散。本次表层土壤样品采集以 1 km² 为调查采样单元,1/9 km² 为调查采样小格,在每个采样小格中根据以往土地利用现状选择最大块耕地或园地进行采样,采样深度 0~20 cm,平均点密度 9.40 件/km²,每个采样点以主样点为中心,向四周 20~50 m 范围同一地类采集 4 个子样点等量组合成 1 件样品,重量 ≥1 kg,避开人为施肥、污染等,注重样品的代表性、均匀性和控制性,共采集表层土壤样品 9788 件(重复样 199 件)。

土壤剖面样与岩石样依据表层土壤样分析结果,在表层土壤硒异常区进行采集,采集的土壤剖面深度以见到基岩为准,土壤剖面自上而下分腐殖层、淋溶层、淀积层与母质层,每层连续刻槽采集 1 件样品,重量 ≥1 kg,同时在底部基岩采集 1 件岩石样,岩石样采用连续打块法采样,覆盖全区主要时代地层,共采集土壤剖面样 76 件,成土母岩样 19 件。

农作物样依据区内农业种植及分布情况,采集了水稻和方竹笋,样品于 2018 年 9 月采集,以 0.1~0.2 hm² 为采样单元,采用棋盘法选取 5~9 个样品多点取样,组合为 1 件样品,重量大于 500 g。方竹笋在狮溪镇(方竹笋之乡)采集,共采集 23 件方竹笋鲜样,去皮后立即装入聚乙烯塑料袋,24 小时内送往实验室;水稻在九坝、楚米与高桥等乡镇采集,采取稻穗组合为 1 件样品,共采集 37 件水稻样,稻穗风干后送往实验室。采集农作物时,同时采集根系土样 60 件。

3.2 分析测试

全部样品分析测试由贵州省地质矿产中心实验室完成,土壤与岩石样中 Se 采用原子荧光分光光度法(AFS)测定,Cu、Zn、Pb、Mn、Ni、P 等元素采样电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-OES)测定,Co、Mo、Cd 等元素采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定,农作物中 Se、Cd 等采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定。以国家一级标准物质(GWB 系列)进行准确度和精密度监控,以重复样和重复分析进行重复性检验和分析误差评定。结果表明,全部样品的报出率为 100%,准确度与精密度合格率均为 100%,全部样品的重复性检查合格率、异常检查合格率均完全满足规范要求,样品分析质量符合土地质量地球化学调查评价规范(DZ/T 0295-2016)中样品处理与分析的规定,分析质量可靠。

3.3 数据处理

采用 spss18.0 软件与 Excel2010 软件统计地球化学特征参数等,用 Geochem Studio 软件生成硒元素地球化学图,用土地质量地球化学调查与评价数据管理与维护(应用)子系统生成地球化学评价等级图。

4 结果与分析

4.1 土壤酸碱度与环境元素地球化学特征

对全区表层土壤样品的 pH 与 Cd、Hg 等 8 个环境元素进行了地球化学特征参数统计(表 1),全区表层土壤 pH 在 4.01~8.78 之间,平均值为 6.33,表层土壤中 Cd 最大值 13.8 mg/kg,平均值 0.51 mg/kg,Hg 最大值 5.43 mg/kg,平均值 0.121 mg/kg,Cd 元素变异系数最大,为 1.15,空间分布及不均匀。

对土壤酸碱度进行了丰缺度评价,强酸性、酸性、中性、碱性与强碱性分别占全县评价面积的 11.3%、61.24%、1.24%、19.35%、8.24%、0.03%,土壤总体为酸性环境。

依据土壤中 8 种环境元素的含量,对照《土壤环境质量 农用土壤污染风险管控标准(试行)》

(GB15618-2018)中的筛选值和管制值,将土壤风险程度分为三类(优先保护、安全利用、严格管控)。结果表明,表层土壤中Cd以优先保护类为主,占全县评价面积的66.7%,安全利用类占全县评价面积的31.16%,少量严格管控类耕地分布;Hg、Pb、Cr、Zn优先保护类面积占比大于99%,Cu优先保护类面积占比83.40%,As优先保护类面积占比96.57%,Ni优先保护类面积占比93.03%。总体而言,区内除Cd平均含量相对较高外,其余元素平均含量相对较低。土壤环境综合质量等级评价表明,优先保护类、安全利用类、严格管控类面积分别占全县评价面积的57.62%、40.23%、2.15%,土壤环境质量整体较好。

4.2 表层土壤硒元素地球化学特征

全县表层土壤硒含量平均值0.58 mg/kg,高

于全国土壤A层硒平均含量0.29 mg/kg(刘铮,1996),中值0.48 mg/kg,方差0.12 mg/kg,最小值0.02 mg/kg,最大值6.59 mg/kg,变异系数0.61,空间分布相对不均匀(表2)。

按照岩石地层单元、成土母岩统计了不同地质背景下发育的土壤硒含量水平,发现二叠系龙潭-长兴组发育的土壤中硒平均含量最高,平均值在1.10~1.18 mg/kg之间,其次为二叠系茅口组发育的土壤,平均值为0.96 mg/kg;侏罗系发育的土壤中硒含量最低,平均值在0.22~0.32 mg/kg之间,寒武、奥陶与志留系地层发育的土壤硒平均含量在0.42~0.58 mg/kg之间,三叠系夜郎、嘉陵江组发育的土壤中硒平均含量在0.60~0.70 mg/kg,三叠系关岭、杨柳井与二桥组发育的土壤中硒平均含量在0.43~0.52 mg/kg之间。不同地层单元、不同成土母质发育的土壤硒含量有差异。

表1 表层土壤环境元素地球化学参数

Table 1 Geochemical parameters of environmental elements in surface soil

元素或指标	最小值	最大值	平均值	中值	标准差	方差	变异系数	剔除特异值后	
								样本数	平均值
Zn	25.1	383	100.81	99.3	25.04	627.13	0.25	9 528	99.89
Cd	0.06	13.8	0.51	0.35	0.59	0.34	1.15	9 286	0.35
Hg	0.012	5.43	0.121	0.1	0.1	0.01	0.86	9 511	0.11
As	1.0	125	12.5	10.6	7.83	61.35	0.63	9 502	12.0
Ni	8.0	166	45.1	40.1	19.07	363.6	0.42	9 493	43.4
Pb	8.7	922	33.4	32	13.6	185.03	0.41	9 511	32.2
Cr	19.8	443	98.5	92.3	34.18	1 168.22	0.35	9 468	95.6
Cu	4.5	271	42.6	31.6	30.16	909.54	0.71	9 426	29.9
pH	4.01	8.78	6.33	6.09	1.08	1.16	0.17	9 589	6.33

注:pH为无量纲、其余元素单位为mg/kg。

表2 不同地质背景下表层土壤硒含量特征

Table 2 Selenium content in different geological backgrounds

地质背景	岩性	样本数	平均值	中值	最小值	最大值	标准差	方差	变异系数
全区		9 589	0.58	0.48	0.02	6.59	0.35	0.12	0.61
E ₃₋₄ O ₁ l	1	539	0.50	0.47	0.10	1.52	0.16	0.03	0.33
	2	1 378	0.47	0.42	0.04	3.01	0.21	0.04	0.45
	3	71	0.42	0.37	0.24	1.28	0.18	0.03	0.42
O ₁₋₃	5	494	0.47	0.44	0.05	2.07	0.17	0.03	0.37
	4	168	0.44	0.41	0.12	1.05	0.15	0.02	0.34
	2	1 048	0.53	0.47	0.10	2.28	0.26	0.07	0.49
S ₁	5	1 015	0.47	0.42	0.08	2.69	0.24	0.06	0.50
	2	1 110	0.96	0.92	0.07	4.30	0.42	0.18	0.44
P ₂ m	2	253	1.18	1.10	0.32	3.40	0.54	0.29	0.46
	5	136	1.10	1.01	0.30	6.59	0.72	0.53	0.66
P ₃ l~c	2	605	0.70	0.62	0.02	2.40	0.30	0.09	0.44
	5	432	0.58	0.54	0.24	1.57	0.22	0.05	0.38
T ₁ y~c	2	605	0.70	0.62	0.02	2.40	0.30	0.09	0.44
	5	432	0.58	0.54	0.24	1.57	0.22	0.05	0.38

续表

地质背景	岩性	样本数	平均值	中值	最小值	最大值	标准差	方差	变异系数
T _{1-2j} ~c	2	741	0.67	0.64	0.12	3.61	0.25	0.06	0.37
	5	49	0.60	0.57	0.28	1.17	0.22	0.05	0.36
	1	265	0.48	0.45	0.17	1.33	0.17	0.03	0.36
T _{2g} ~y	2	33	0.47	0.42	0.21	0.86	0.16	0.03	0.33
	5	32	0.52	0.47	0.24	1.34	0.23	0.05	0.44
T _{3j1e}	3	97	0.43	0.40	0.16	0.92	0.16	0.03	0.37
	3	356	0.32	0.29	0.12	1.55	0.14	0.02	0.44
J _{1-2z}	5	57	0.30	0.29	0.14	0.66	0.09	0.01	0.31
	4	67	0.32	0.27	0.09	1.53	0.20	0.04	0.63
J _{2s}	5	560	0.24	0.22	0.06	1.24	0.11	0.01	0.45
J _{3p}	4	83	0.22	0.22	0.07	0.57	0.07	0.00	0.30

注:元素含量单位为 mg/kg,岩性中 1 为白云岩,2 为灰岩,3 为砂岩,4 为粘土岩,5 为砂岩与粘土岩。

按照地域分布情况(图 1),硒元素高背景区主要集中在容光镇、花秋镇与燎原镇等乡镇,低背景区主要集中在夜郎镇、新站镇、高桥镇与水坝塘-芭蕉-狮溪镇一带。总体而言,表层土壤硒地球化学分布特征与地质背景(地层单元、成土母质)关系密切。

依据(谭建安等,1989)划分标准(表 3),对桐梓县表层土壤硒丰缺度进行了评价。发现桐梓县表层土壤硒含量以富硒等级为主,全县富硒面积 70 535.52 公顷,占总评价面积的 70.92%,足硒面积占比 27.77%。表层土壤富硒资源丰富,发展富硒产业前景广阔。

表 3 土壤硒丰缺划分界限值

Table 3 Abundance and deficiency demarcation Value of soilselenium

硒效应	总硒含量(mg/kg)	耕地面积(公顷)	全县占比(%)
硒中毒	>3.0	41.67	0.04
富硒	0.4~3.0	70 535.52	70.92
足硒	0.175~0.4	27 618.94	27.77
潜在硒不足	0.125~0.175	1 138.6	1.15
硒不足	≤0.125	123.53	0.12

4.3 成土母岩中硒地球化学特征

通过在区内不同成土母岩区采集的 19 件岩石样品(表 4),岩石样品基本覆盖了全区不同时代地层单元,其硒元素在不同成土母岩中含量特征简述如下:

与大陆地壳丰度值 0.05 mg/kg 相比,在寒武系娄山关组白云岩、奥陶系白云岩、志留系韩家店粘土岩与三叠系关岭组灰岩中,硒含量表现为亏损,其余成土母岩中整体表现为富集。

二叠系龙潭组炭质粘土岩中,岩石硒含量分别为 5.42 mg/kg、3.08 mg/kg,比大陆地壳丰度值富集 108 倍、62 倍,龙潭组细砂岩中,硒含量明显较低,岩石中硒含量为 0.068 mg/kg,比大陆地壳富集 1.36 倍;二叠系茅口组灰岩硒含量在 0.11~0.25 mg/kg 之间,比大陆地壳丰度值富集 2~5 倍;其余不同成土母岩中,岩石硒含量在 0.033~

0.060 mg/kg 之间,与茅口组灰岩硒含量相差 10 倍以上,与龙潭组炭质粘土岩硒含量相差 100 倍以上。总体而言,岩石中硒含量在龙潭组炭质粘土岩中最高。

已有研究表明,如(徐春燕,2018)、(程湘,2019)等,认为湖北省富硒岩石主要为炭质页岩,炭质硅质岩等,富硒地层主要分布在寒武系、二叠系地层,富硒土壤与富硒地层、极高富硒土壤与富硒岩石相吻合。

桐梓县的极高富硒土壤同样分布在二叠系龙潭组地层,岩石硒含量最高的同样为富含炭质的岩石。从全区来看,在奥陶系、志留系等地层中,也含有炭质岩石,本次工作未采集,其余地层中富含炭质的岩石硒含量也可能较高。

4.4 母岩-土壤中硒含量变化特征

由图 2 可知,一般地,从腐殖层-淋溶层-淀积

层-母质层到基岩,硒元素含量逐渐降低,除龙潭组炭质粘土岩发育的土壤中,母岩硒含量高于腐殖层外,其余不同成土母岩发育的土壤,母岩硒含量均低于腐殖层,硒在腐殖层中发生了不同程度的富集作用。岩石中硒含量最高为龙潭组炭质粘

土岩,相应发育的土壤中硒含量也最高;其次茅口组灰岩发育的土壤中硒含量也相对较高,其腐殖层硒含量多大于 1.0 mg/kg,可能与区内地形起伏较大,土壤多为残坡积物,土壤中风化残留有龙潭组成土母质有关。

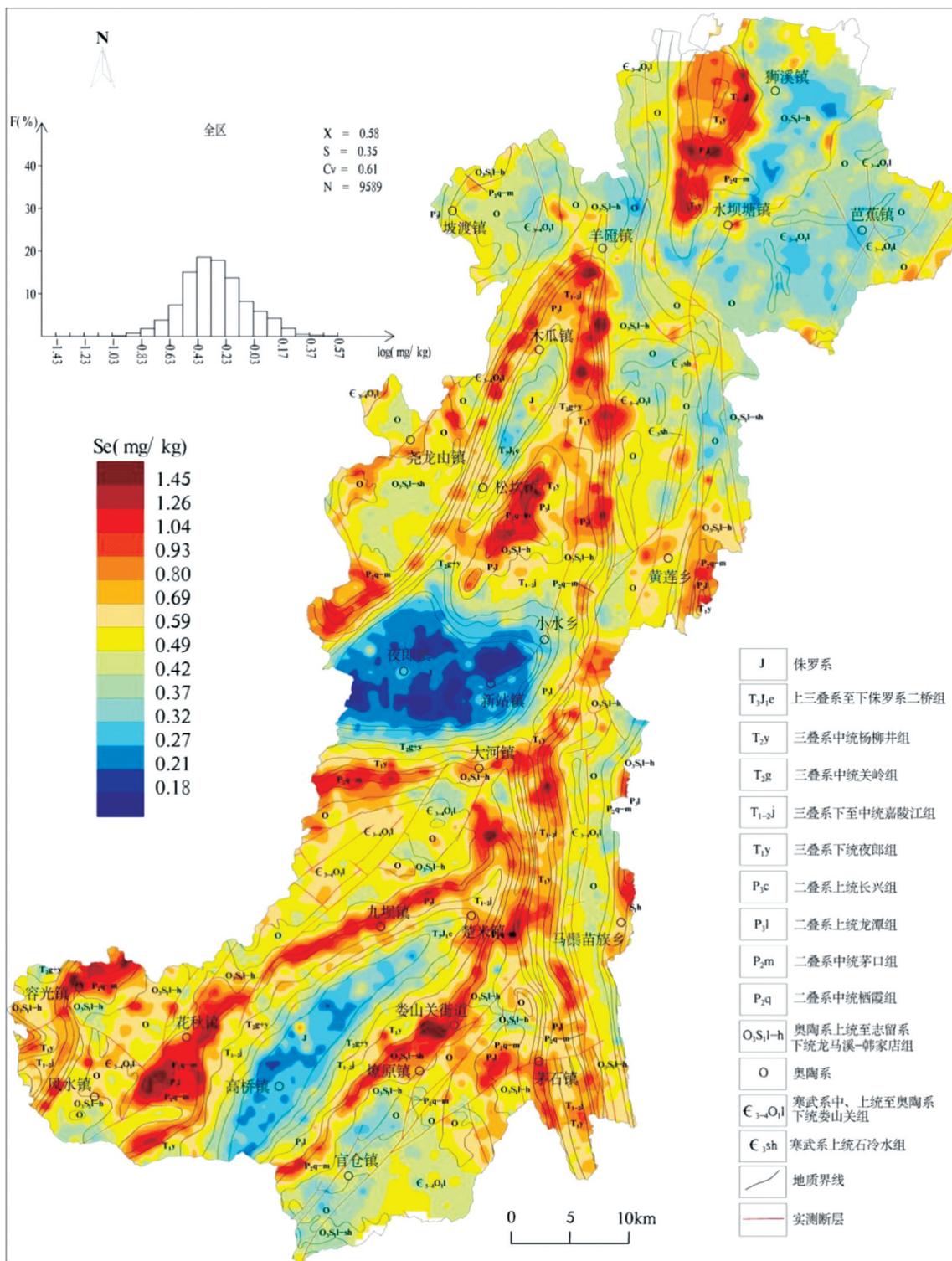


图1 桐梓县表层土壤硒地球化学图

Fig. 1 Selenium geochemical map of surface soil in Tongzi county

表4 桐梓县不同成土母岩硒含量统计表

Table 4 Statistical table of selenium content of different parent rocks in Tongzi county

顺序号	样品数	硒平均含量(范围)mg/kg	地层岩性
1	1	0.033	寒武系娄山关组白云岩
2	2	0.033(0.032~0.034)	奥陶系白云岩
3	2	0.053(0.047~0.06)	志留系韩家店组粘土岩
4	5	0.19(0.11~0.27)	二叠系茅口组灰岩
5	2	4.25(3.08~5.42)	二叠系龙潭组炭质粘土岩
6	1	0.068	二叠系龙潭组细砂岩
7	1	0.06	三叠系夜郎组钙质页岩
8	1	0.06	三叠系嘉陵江组溶塌角砾岩
9	2	0.029(0.021~0.037)	三叠系关岭组灰岩
10	1	0.069	三叠系二桥组砂岩
11	1	0.054	侏罗系蓬莱组粉砂岩

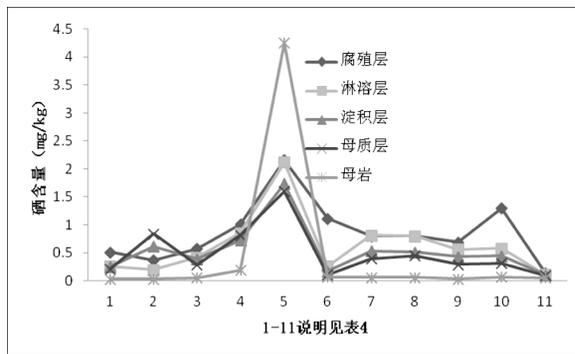


图2 桐梓县耕地土壤与岩石中硒含量对比图

Fig.2 Comparison of selenium content in soil and rock of cultivated land in Tongzi county

4.5 表层土壤硒含量影响因素

(1) 土壤硒含量与成土母岩的关系

表层土壤中硒含量高低整体受控于成土母岩,母岩中硒含量较高,其发育的土壤中硒含量也较高,土壤中硒含量很大程度继承了母岩含量,并在土壤中发生了明显的富集作用,不同成土母岩发育的土壤,其富集贫化趋势不一。

(2) 土壤硒含量与有机质、pH 值等的关系

由全县表层样品聚类分析可知,硒与有机质、全氮、全磷元素间呈显著正相关;与 pH 值呈负相关(图3)。依据根系土样分析数据,硒还与铁、锰呈显著正相关(图4)。

以往研究也表明土壤硒含量与 pH 呈负相关关系,但相关程度有所差异(胡艳华等,2010)。硒与有机质呈显著正相关,表明有机质对硒具有一定的吸附与固结作用,研究表明,硒能够与腐殖质缔合的形态存在,在土壤中快速固定下来,土壤中约 80% 的硒与腐殖质结合,一般情况下,与富里

酸结合的硒能被植物吸收,而与胡敏酸结合的硒植物难以吸收(王子健,1993)。

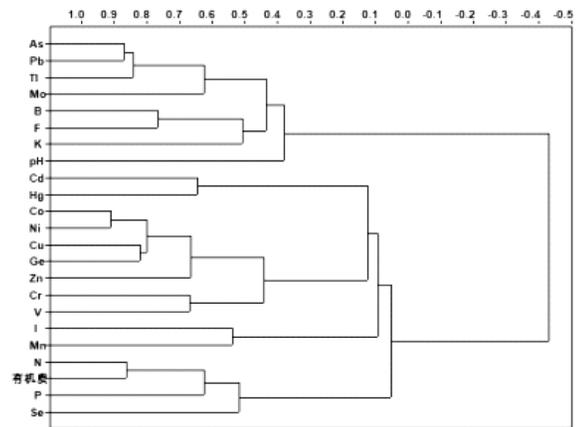


图3 桐梓县表层土壤样聚类分析图

Fig.3 Cluster analysis of surface soil samples in Tongzi county

表层土壤中硒含量与铁、锰呈正相关,表明土壤中铁锰氧化物对硒具有吸附作用。研究表明,在湿润和酸性土壤中 Se 主要以亚硒酸盐形式存在,且倾向于与铁、锰氧化物形成比较难溶的配合物和化合物,或被金属氢氧化物(特别是 Fe(OH)3)所捕获。因此,在富铁、锰等的酸性环境中,硒元素容易富集(杨忠芳等,2012)。

表层土壤中硒含量与全氮、全磷具有显著的正相关关系(P<0.05),而表层土壤中全氮、全磷含量高低主要受人类生产活动影响。土壤全氮可通过影响有机质含量从而间接影响土壤硒含量(肖春艳等,2013),土壤中无机磷多以磷灰石形式存在,磷灰石易吸附硒(杨忠芳等,2012)。说明表层土壤中氮、磷含量高低对硒也具有一定的富集作用。

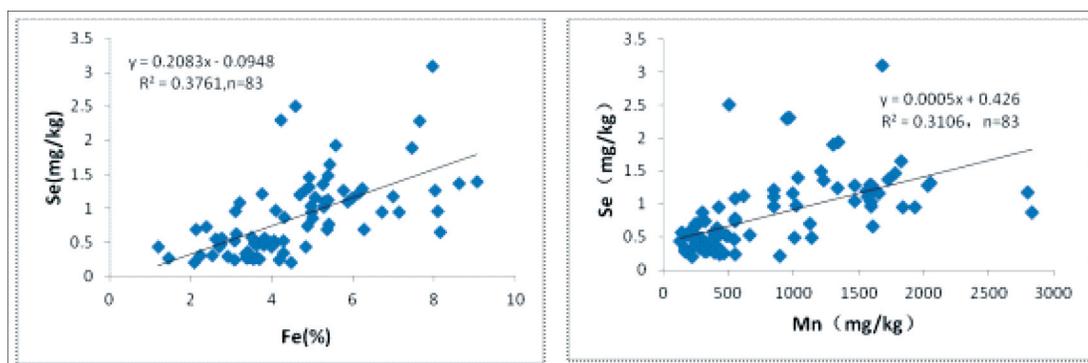


图4 桐梓县根系土壤样硒与铁、锰元素散点图

Fig. 4 Scatter diagram of Se, Fe and Mn in root soil samples of Tongzi county

(3)其他影响因素

土壤中硒含量高低还与地形地貌、土壤粘粒、海拔高度等因素有关。同种母质坡地土壤硒含量要低于凹地,河谷阶地与坡地土壤粘粒易被淋失而造成硒的损失。由表5可知,随着海拔高度的增加,硒平均含量有逐渐增加的趋势,在500~600 m之间,硒平均含量最低,为0.40 mg/kg,海拔高度≥1 600 m时,硒平均含量最高,为0.85 mg/kg。已有研究表明,当海拔高度增加后,气温将降低,有机质分解速率降低,表层土壤中硒多被有机质吸附和固定,进而使得植物吸收的硒含量以及土壤中被淋溶的硒含量减少,使得表层土壤硒富集(章海波等,2005)。

表5 桐梓县不同海拔高度硒平均含量(mg/kg)

Table 5 Average selenium conten at different altitudes in Tongzi county

海拔高度	平均值	样本数(n)
<500 m	0.54	250
500~600 m	0.40	510
600~700 m	0.41	750
700~800 m	0.50	902
800~900 m	0.56	1 152
900~1 000 m	0.62	1 564
1000~1 100 m	0.59	1 502
1100~1 200 m	0.60	1 254
1200~1 300 m	0.62	904
1300~1 400 m	0.70	489
1400~1 500 m	0.79	213
1500~1 600 m	0.77	63
≥1 600 m	0.85	36

4.6 农产品特色性、安全性评价

对区内采集的37件水稻与23件方竹笋分析了As、Cd、Cr、Pb、Hg与Se含量。结果表明,水

稻、方竹笋中As含量在0.005~0.144 mg/kg之间,Cr含量在0.06~0.32 mg/kg之间,Pb含量在0.02~0.08 mg/kg之间,Hg含量在0.002~0.005 mg/kg之间,Cd含量在0.002~0.277 mg/kg之间,依据《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762-2017),发现农产品中2件水稻Cd轻度超标,其余元素均未超标。

方竹笋硒含量为0.006~0.050 mg/kg,平均含量0.011 mg/kg,生物富集系数在0.19%~4.55%之间,平均生物富集系数0.85%;水稻硒含量为0.012~0.054 mg/kg,平均含量0.024 mg/kg,生物富集系数在2.32%~19.20%之间,平均生物富集系数为6.00%。水稻平均生物富集系数明显大于方竹笋,说明不同农作物对土壤硒的吸收富集能力不同,水稻对土壤中硒的吸收富集能力大于方竹笋。

水稻富硒标准依据《富硒稻谷国家标准》(DB/T 22499-2008)的规定,方竹笋富硒标准依据《安康市地方标准》(DB6124.01-2010)的规定。发现采集的农产品中,4件方竹笋、5件水稻富硒。

方竹笋中根系土硒含量为0.94~3.09 mg/kg,平均值1.45 mg/kg,全部为富硒土壤,富硒方竹笋硒含量在0.010~0.050 mg/kg之间,富硒率17.4%;水稻中根系土硒含量为0.20~0.94 mg/kg,平均值0.44 mg/kg,足硒土壤18件,富硒水稻硒含量在0.043~0.050 mg/kg之间,富硒率13.5%,除1件富硒水稻在足硒土壤中,其余富硒水稻均分布在富硒土壤中。

5 结论

(1)桐梓县表层土壤硒平均含量0.58 mg/

kg,高于全国土壤A层平均含量0.29 mg/kg,富硒耕地面积70 535.52公顷,占全县评价面积的70.92%,表层土壤富硒资源丰富,开发富硒农产品潜力大。

(2)桐梓县表层土壤硒含量整体受控于成土母岩,土壤硒含量很大程度继承了母岩含量,并在土壤中发生了明显的富集作用。通过土壤-母岩硒含量对比,发现龙潭组炭质粘土岩中硒含量最高(平均值为4.25 mg/kg),相应发育的土壤中硒含量也最高(平均值为2.16 mg/kg)。不同地质背景下表层土壤硒含量差异性明显,二叠系龙潭组发育的土壤中硒平均含量最高,平均值范围为1.10~1.18 mg/kg,其次表层土壤硒平均含量较高的为二叠系茅口组灰岩发育的土壤,平均值为0.96 mg/kg;侏罗系发育的土壤硒平均含量最低,平均值范围为0.22~0.32 mg/kg。

(3)硒与有机质、铁锰氧化物、全氮、全磷具有显著正相关关系,与pH呈负相关关系,是影响表层土壤硒富集的重要因素。表层土壤硒含量高低还与地形地貌、土壤粘粒、海拔高度等因素有关。海拔高度在500~600 m时,硒平均含量最低,为0.40 mg/kg,海拔高度≥1 600 m时,硒平均含量最高,为0.85 mg/kg。

(4)发现了4件方竹笋、5件水稻富硒。富硒方竹笋硒含量在0.010~0.050 mg/kg之间,富硒率17.4%;富硒水稻硒含量在0.043~0.050 mg/kg之间,富硒率为13.5%,水稻平均生物富集系数大于方竹笋,除1件富硒水稻位于足硒土壤外,

其余富硒农产品全部位于富硒土壤中。

致谢:本文撰写过程中得到何邵麟、曾昭光研究员的悉心指导,以及桐梓县耕地质量地球化学调查评价项目部全体同仁的帮助,在此表示衷心感谢!

[参考文献]

程湘,李福林,王成刚,等. 2019. 鄂西地层硒的分布富硒岩石成因及硒的来源[J]. 地质科技情报,38(2):45-52.
 胡艳华,王加恩,蔡子华. 2010. 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,29(6):84-88.
 刘铮. 1996. 中国土壤微量元素[M]. 南京:江苏科学技术出版社.
 王子健. 1993. 中国低Se带生态环境中Se的环境行为研究进展[J]. 环境化学,12(3):237-243.
 肖春艳,武俐,赵同谦,等. 2013. 南水北调中线源头区蓄水前土壤氮磷分布特征[J]. 中国环境科学,33(10):1814-1820.
 徐春燕,丁晓英,闫加力. 2018. 湖北省富硒资源的地质特征及利用规划[J]. 世界地质,37(1):140-147.
 杨忠芳,余涛,候青叶,等. 2012. 海南岛农田土壤Se的地球化学特征[J]. 现代地质,26(4):837-849.
 张丽珊,朱岩,可夫,等. 1990. 东北大骨节病区主要土壤腐殖酸Se与大骨节病关系的研究[J]. 应用生态学报,1(4):333-337.
 章海波,骆永明,吴龙华,等. 2005. 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,42(3):404-410.
 Fairweather Tait S J, Bao Y, Broadley M R, et al. 2011. Selenium in human health and disease. Antioxidants & Redox Signaling[J]. 14(7):1337-1383.
 Rayman M P. 2000. The importance of selenium to human health [J]. The Lancet,356:233-241.

Geochemical Characteristics and Influencing Factors of Selenium Distribution in Surface Soil of Tongzi County, Guizhou Province

ZHANG Zhong-hua¹, JI Guo-song², WANG Xiao-hong¹, AN Quan¹, LIU Hao¹, PAN You-liang¹, WU Peng¹, XIAO Bo¹, WANG Ting¹, LUO Jian-jun¹, WANG Hua-bin¹

(1.117 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Guiyang 550018, Guizhou, China; 2.102 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Zunyi 563000, Guizhou, China)

[Abstract] Based on the investigation and evaluation of 1:50000 land quality geochemistry in Tongzi County, Guizhou Province, the geochemical characteristics and distribution characteristics of selenium in the surface soil of cultivated land and garden land were identified, the factors affecting the content of selenium in

the soil were discussed, and the selenium rich rice and bamboo shoots were found. The results showed that the selenium content in the surface soil of cultivated land and garden land was between 0.02 ~ 6.59 mg/kg, with an average of 0.58 mg/kg. The soil developed in Longtan Formation of Permian system had the highest selenium content, with an average of 1.10 ~ 1.18 mg/kg. The soil developed in Jurassic system had the lowest selenium content, with an average of 0.22 ~ 0.32 mg/kg. The soil developed in other strata had an average of 0.42 ~ 0.70 mg/kg. As a whole, the surface soil is rich in selenium, with an area of 70 535.52 hectares, accounting for 70.92% of the total assessed area, and rich in selenium resources. The content of Se in square bamboo shoot is between 0.010 ~ 0.050 mg/kg, the rate of Se enrichment is 17.4%; the content of Se in rice is between 0.043 ~ 0.050 mg/kg, the rate of Se enrichment is 13.5%. The average bioaccumulation coefficient of rice is higher than that of square bamboo shoot. The content of Se in the soil is mainly affected by the parent material. The physical and chemical properties, total nitrogen, total phosphorus, iron and manganese oxides, topography and altitude are also important factors affecting the enrichment of Se in the surface soil.

[**Key Words**] Selenium in surface soil; Geochemistry; Influencing factors; Rice; Bamboo shoots; Tongzi county

(上接第 333 页)

Distribution Characteristics and Influencing Factors of Soil Selenium Content of Cultivated Land in Longli County, Guizhou Province

HU Qiu, WEI Yong-hua, WEN Jin-kui, LOU Hao, WANG Hao

(The 7th Team of Guizhou Nonferrous Metal and Nuclear Industry Geological Exploration Bureau, Guiyang 550005, Guizhou, China)

[**Abstract**] According to the soil distribution in Longli County, more than 3 000 soil samples were systematically collected. Pearson correlation analysis, regression analysis and statistical analysis were used to study the distribution characteristics and influencing factors of selenium content in soil of Longli County. The results showed that the variation range of total se content was 0.02 ~ 6.51 mg / kg, the average value was 0.65 mg / kg, and the coefficient of variation was 0.74. In different parent materials of soil formation, the soil with developed shale (containing carbonaceous shale) and limestone has higher content of total selenium, while the soil with developed dolomite and sandstone has lower content of total selenium relatively. In different soil types, the content of total selenium was higher in yellow soil and fragmental soil, and lower in paddy soil. Pearson correlation analysis showed that the total selenium content was negatively correlated with PH, and positively correlated with Fe-Al oxide content and organic matter content. The main factors affecting the total selenium content of soil in Longli County are soil parent material, soil type, soil PH, iron and aluminum content and organic matter content.

[**Key Words**] Soil; Selenium content; Distribution characteristics; Influencing factors; Longli county