

贵州遵义地区硒在耕地土壤及农作物中的分布规律

魏泽权, 陈云明*, 郭 宇, 任光明

(贵州省地矿局 102 地质大队, 贵州 遵义 563003)

摘 要: 利用贵州省耕地质量地球化学调查系统采集大量样品的契机, 开展硒 (Se) 在耕地土壤及农作物有用器官中的分布规律研究。统计分析研究表明, 遵义地区表层土壤绝大部分处于足 Se 和富 Se 水平, 仅有极少部分属缺 Se 和高 Se 土壤; 单就 Se 元素而言, 整体属优质土壤。相关分析结果表明, 土壤中 Se 含量与土壤有机质含量、海拔高度显著相关, 受成土母岩岩性控制明显, 土壤 pH 值 < 8.5 时相关不明显, 在 > 8.5 时呈显著负相关关系。土壤中 Se 含量由地表往下逐渐降低, 这可能是受各层土壤中有机质含量控制所致。农作物植株中 Se 含量主要因其器官部位及其生育阶段而不同。玉米、茶叶中的 Se 含量可能会受根系土 Se 含量影响。

关 键 词: 耕地土壤; 农作物; Se; 分布规律; 遵义; 贵州

中图分类号: S147.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2021)03-0642-08

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2020102401

魏泽权, 陈云明, 郭 宇, 任光明. 贵州遵义地区硒在耕地土壤及农作物中的分布规律 [J]. 土壤通报, 2021, 52(3): 642 – 649
WEI Ze-quan, CHEN Yun-ming, GUO Yu, REN Guang-ming. Enrichment of Selenium in Cultivated Soils and Crops in Zunyi, Guizhou[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(3): 642 – 649

硒 (Se) 是地球上稀有分散元素, 又是人体必需的生命元素之一, 研究与临床实验表明, 人体中 Se 含量不足与克山病、白肌病、大骨节病、贫血、冠心病、糖尿病、癌症等多种疾病的发生有密切的关系^[1]; 但是, 当植物和土壤中的 Se 超过一定浓度时, 被人和动物过多吸收就会导致 Se 中毒现象, 出现“碱性病”与“盲珊症”等疾病^[2-3]。Se 在地壳中的丰度值仅为 0.05 mg kg⁻¹, 我国位于世界缺 Se 国家和地区之列, 就全国范围而言, 低或缺 Se 土壤 (< 0.05 mg kg⁻¹) 面积占国土面积的 72% 左右^[4], 主要农耕区土壤 Se 含量均值为 0.217 mg kg⁻¹^[5], 前人研究得出贵州土壤 Se 含量算术平均值 0.39 mg kg⁻¹, 中位数为 0.30 mg kg⁻¹ (947 个样本)^[6], 遵义地区土壤 Se 含量变幅为 0.10 ~ 2.90 mg kg⁻¹, 平均值为 0.56 mg kg⁻¹ (701 个样本)^[7]。

为了更加准确掌握 Se 元素在遵义地区耕地土壤及不同农作物器官中的含量特征, 本文对贵州省遵义地区 1 : 5 万耕地质量地球化学调查所得土壤和农作物样品测试数据进行统计分析, 探讨 Se 元素在土壤及农作物有用器官中的分布规律, 以期对富 Se 农

作物种植结构调整、巩固脱贫攻坚成果和助推乡村振兴提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

遵义地区位于西南腹地的贵州北部, 地理坐标介于 105°36' ~ 108°13' E, 27°08' ~ 29°13' N 之间, 地处云贵高原向湖南丘陵和四川盆地过渡的斜坡地带, 地形起伏大, 地貌类型分为溶蚀地貌区、溶蚀构造地貌区和侵蚀地貌区。区内地势在全国地势第二级阶梯上, 海拔高度 227 ~ 2147 m, 一般在 500 ~ 1400 m 之间。平坝及河谷盆地面积占 6.57%, 丘陵占 28.35%, 山地占 65.08%, 总国土面积 30762 km²。耕地土壤类型主要以黄壤、黄棕壤、石灰土、水稻土为主, 棕壤、紫色土次之; 成因一般为残积、残坡积物, 少量为冲积、洪积物; 按岩性分为灰岩、白云岩、砂泥岩、泥岩夹灰岩、煤系地层、砂岩、泥岩、粉砂岩、浅变质岩等。

1.2 样品采集与测试

根据贵州省 1 : 5 万耕地质量地球化学调查工作

收稿日期: 2020-10-24; 修订日期: 2021-03-19

基金项目: 贵州省财政专项资金项目 (黔地矿耕调 2017-26) 和贵州省地矿局科研基金 (黔地矿科合 [2019]5 号) 资助

作者简介: 魏泽权 (1971-), 男, 贵州省遵义市人, 本科, 高级工程师, 主要从事基础地质及农业地质工作。E-mail: 526443551@qq.com

*通讯作者: E-mail: 89059841@qq.com

要求, 所有样品采集地类均为耕地、园地、裸地或可复耕的采矿用地, 样品种类包括表层土壤样、剖面土壤样、成土母质样、农作物有效器官样及其根系土壤样等。

1.2.1 采样点布设与样品采集 表层土壤采样点布设密度为 9 点 km^{-2} , 采样深度 0 ~ 20 cm 连续采集, 样品组合以设计点位为主样点, 四周大于 25 m 不大于 50 m 距离均匀布设 4 个子样点等量采集 5 个样品组合; 农作物及根系土壤样品按照当地普遍种植的大宗农作物或具有较大经济价值的农作物为原则进行灵活布设, 采集农作物时同时采集其根部土壤; 土壤剖面及成土母岩样针对不同土壤类型、土地利用、特色农产品分布区, 开展垂向剖面测量。土壤垂向剖面样品自表土层至底土层的土柱分层采集淋溶层 (A 层)、淀积层 (B 层)、母质层 (C 层)、基岩层 (R 层) 各 1 件样品, 并实地详细记录样品位置、海拔高程、土壤类型、成土母岩岩性、地层层位等内容; 样品采集时间安排在秋收后春种前完成, 最大限度避免人工施肥对土壤元素成分及含量的影响。区内共采集表层土壤样品 85258 件, 农作物及根系土壤样品各 1233 件, 土壤剖面 192 条 766 件样品, 覆盖面积 8692.83 km^2 。

1.2.2 样品加工与测试 样品及时整理登记并自然风干, 按要求进行初步加工后送实验室进行系统测试。所有样品测试均由贵州省地矿局中心实验室 (国土资源部贵阳矿产资源监督检测中心) 实施。表层土壤样品测试指标为有机质、N、P、K、B、Mn、Zn、Cu、Mo、Se、Ge、I、F、pH 值、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Co、Ni、V、Tl 共 23 项; 根系土壤样品和垂向剖面全量分析指标包括有机质、pH 值、N、P、K、Ca、Mg、B、Mn、Zn、Cu、Mo、Se、Ge、I、F、Na、Si、Fe、Al、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Co、Ni、V、Tl 共 29 项; 成土母岩样品分析指标为 P、K、Ca、Mg、B、Mn、Zn、Cu、Mo、Se、Ge、I、F、Na、Si、Fe、Al、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Co、Ni、V、Tl 共 26 项; 农作物样品测试指标为 As、Cd、Cr、Hg、Pb、Se、Ge 共 7 项。其中 Se 的检测方法为原子荧光光谱法 (AFS)、有机质检测方法为容量法 (VOL)、pH 检测方法为离子选择电极法 (ISE)。

1.3 数据处理

本次研究将采样、测试原始数据用 Microsoft Excel 2010 进行整理统计, 当进行影响因素分析时,

利用 IBM SPSS Statistics 22 软件对异常值 (影响样本正态分布特征的高值或低值) 进行剔除, 使处理后的数据总体满足正态分布特征。

2 结果与分析

2.1 表层土壤 Se 含量总体分布特征

2.1.1 耕地土壤 Se 含量等级分布特征 通过 85209 件 Se 表层土壤样测试有效数据统计得出: 达到足 Se 土壤样品数 36577 件, 占样品总数的 42.93%, 富 Se 土壤样品数 47125 件, 占比 55.31%, 高 Se 土壤样品数 512 件, 占比 0.60%, 少 Se 土壤样品数 718 件, 占比 0.84%, 缺 Se 土壤样品总数为 277 件, 占比 0.33% (表 1)。

表 1 研究区 Se 元素样本生态景观分布统计表^[8]
Table 1 Ecological landscape distribution of Se in the study area

土壤Se划分等级* Grading for soil Se	样本数** Number of samples
缺Se (< 0.125 mg kg^{-1})	277
少Se (0.125 ~ 0.175 mg kg^{-1})	718
足Se (0.175 ~ 0.45 mg kg^{-1})	36577
富Se (0.45 ~ 2.00 mg kg^{-1})	47125
高Se (2.00 ~ 3.00 mg kg^{-1})	512

注: * 据《中华人民共和国地方病与环境图集》, 1991.** 样本总数为未剔除异常值时的样品总数。

2.1.2 耕地土壤硒含量参数特征 剔除异常值后的 73563 件耕地表土样品的 Se 含量平均值 (Average) 为 0.462 mg kg^{-1} , 低于邓军等的研究值 0.56 mg kg^{-1} [7]、标准偏差 (Standard deviation) 为 0.154 mg kg^{-1} (图 1)。采用比较平均值单样本 T 检验方法检验得各参数为: T 值为 0.000, 显著性 (双尾) 1.000, 95% 差异数的信赖区间为 -0.00112, 0.00111。研究区表层土壤 Se 平均含量高出贵州土壤 Se 平均含量^[6]0.073 mg kg^{-1} 。

2.1.3 耕地土壤 Se 含量空间分布特征 由图 2 可看出: 研究区大部耕地土壤均为足 Se 或富 Se, 空间分布较为均匀, 高 Se 及少 Se、缺 Se 土壤在仅在部分地方小面积分布。

2.2 影响因素分析

2.2.1 与成土母岩相关性 研究表明, 土壤中的 Se 元素来源于成土母岩, 不同岩石发育而来的土壤中 Se 的含量相差很大^[9]。区内表层土壤采样位置对应的成土母岩按岩性分为 9 类, 按不同成土母岩将表层土壤样品进行分组后, 剔除各组内 Se 异常值, 使各组内样品 Se 含量基本满足正态分布规律后进行统计。

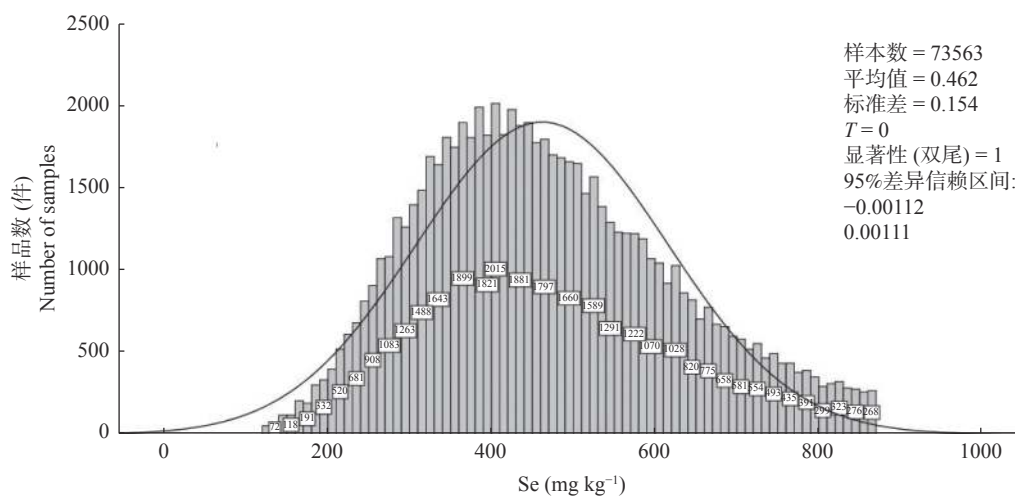
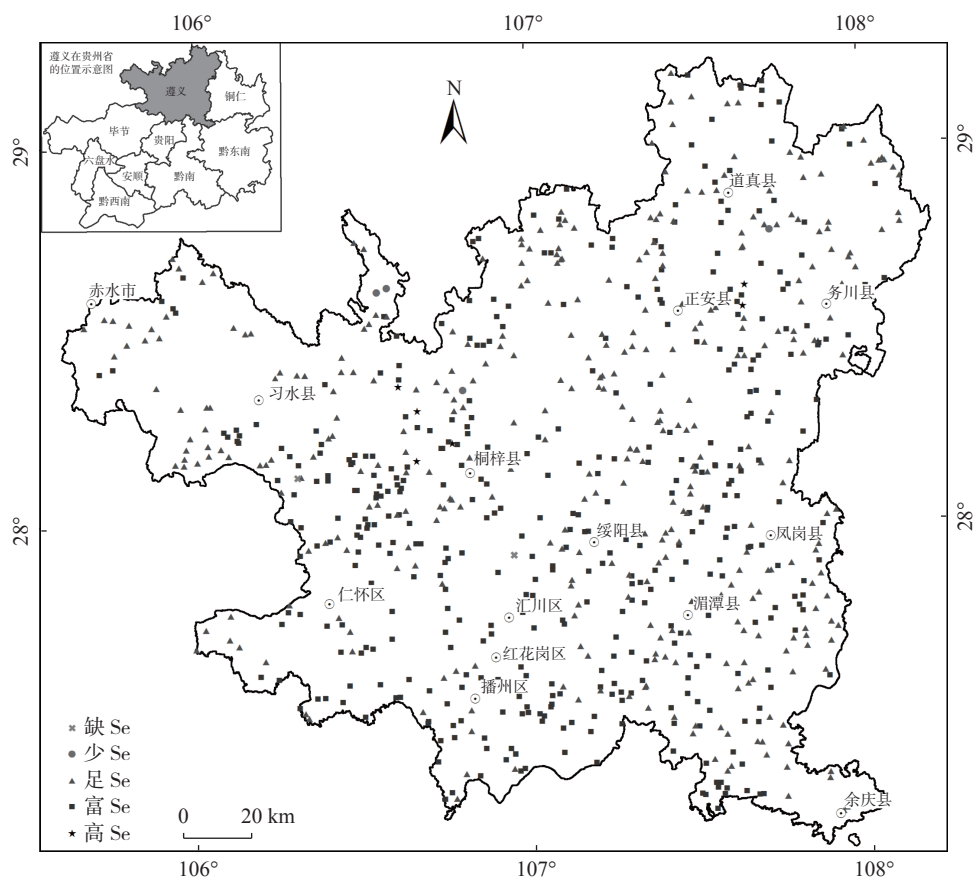


图 1 剔除异常后 Se 含量表土样品频率分布图

Fig.1 Frequency distribution of topsoil samples with different Se contents after removing anomalies



注:图中采样点按 1% 随机抽样

图 2 不同 Se 含量等级耕地土壤样品空间分布图

Fig.2 Spatial distribution of soil samples from arable land with different selenium content levels

分析表明, 当成土母岩为煤系地层时表层土壤中的 Se 平均含量最高 (0.605 mg kg^{-1}), 为砂岩时, Se 平均含量最低 (0.298 mg kg^{-1}); 变异系数砂泥岩最大 (41.0%), 泥岩夹灰岩最小 (24.7%)。不同成土母岩风化形成的土壤中 Se 含量统计特征值见表 2。

2.2.2 与海拔高程关系 有研究认为, 随着海拔高程的增加, 表层土壤中 Se 元素也相应富集^[10-11]。研究区海拔高程 227 ~ 2147 m, 根据各采样点海拔高程值及表层土壤 Se 含量 (去除特异常值) 进行双变量 Pearson 相关分析及显著性检验后, 表层土壤中 Se 含

表 2 不同成土母岩风化土壤 Se 含量统计特征值
Table 2 Statistical characteristic values of Se content in weathered soils of different soil-forming parent rocks.

母岩岩性 Lithology of parent rock	样品数 Number of samples	Se 含量 (mg kg ⁻¹) Se content				
		最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	标准偏差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation
白云岩	15976	0.010	0.860	0.489	0.135	0.276
粉砂岩	2472	0.048	0.860	0.488	0.132	0.270
灰岩	38020	0.010	0.860	0.468	0.153	0.327
煤系地层*	2568	0.48	0.860	0.605	0.153	0.253
泥岩	2817	0.074	0.860	0.405	0.153	0.378
泥岩夹灰岩	4552	0.094	0.860	0.535	0.132	0.247
浅变质岩	158	0.170	0.850	0.369	0.143	0.388
砂泥岩	6656	0.06	0.860	0.383	0.157	0.410
砂岩	3089	0.33	0.850	0.298	0.116	0.389

注：*在研究区系指二叠系龙潭组或合山组砂泥岩、硅质岩、灰岩及煤层组合地层。

量与海拔高程相关系数为 0.245 ($P = 0.000 < 0.01$)，相关性在 0.01 层上显著 (图 3)。线性回归方程为 $y = 0.2 + 3.65 \times 10^{-4}x$ ， R^2 线性 (L) = 0.06。通过不同海拔高程将样品进行分组分析，得出不同高程组段 Se 含量平均值随海拔高程值的增加而增加，各高程组段变异系数相差不大 (表 3)。

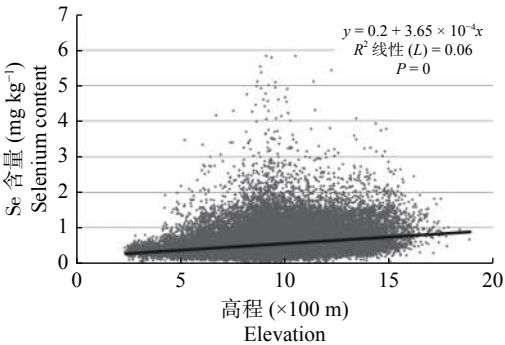


图 3 Se 含量与海拔高度相关关系图
Fig.3 Correlation between Se content and altitude

2.2.3 与有机质含量关系 通过对研究区表层土壤样品测试结果的有机质与 Se 含量进行双变量 Pearson 相关性分析及双尾显著性检验，得出其相关系数为 0.592 ($P = 0.000 < 0.01$)，表明二者在 0.01 层上呈现显著正相关关系 (图 4)。

2.2.4 与土壤 pH 值的关系 以往有研究^[12-14]认为，土壤 pH 值与 Se 含量显著相关，也有研究认为土壤 pH 值对 Se 含量并无明显相关性^[15-16]。通过对研究区 85209 件表层土壤样品进行非参数 Spearman 相关性分析，得出本区表土 Se 含量与土壤 pH 值呈弱负相关关系，相关系数为 -0.068 ($P = 0.000 < 0.01$)。笔者将剔除 Se 异常样点后的样本 (正常样本) 及 Se 异常样本按 pH 值分为酸性 < 5.5 、弱酸性 $5.5 \sim 6.5$ 、中性 $6.5 \sim 7.5$ 、弱碱性 $7.5 \sim 8.5$ 、碱性 > 8.5 五个段进行分组对比分析后得出 (图 5、表 4)，Se 平均含量在弱酸—弱碱环境下变化较为平均，酸性环境略为偏高，而碱性环境则明显降低，且在 Se 含量正常值段和异常值段变化基本一致；从样品数量来看，研究区耕地土壤大多为酸性和弱酸性。

2.3 土壤中 Se 含量垂向变化特征

土壤由地表向下一般分为淋溶层 (A 层)、淀积层 (B 层)、母质层 (C 层)、基岩层 (R 层)。由于土壤系由基岩风化而成，不同岩性的基岩风化形成的土壤元素含量相差一般较大。各元素在土壤不同层含量也存在一定差异。通过对研究区 192 条不同基岩土壤剖面进行统计分析，得到 Se 元素在各层中的分布规律见表 5。从表中可以看出，土壤中

表 3 Se 含量与海拔高度分组统计表
Table 3 Statistical table of Se content and altitude grouping.

高程段 (m) Elevation range	样品数 Number of samples	耕地土壤 Se 含量 (mg kg ⁻¹)				比较平均值单样本 T 检验			
		最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	变异系数 Standard deviation	T 值	显著性 Significance	95% 差异数信赖区间 95% Confidence interval	
500 以下	1887	0.033	0.690	0.3545	0.3289	0.005	0.996	-0.0053	0.0053
500 ~ 799	16652	0.050	0.880	0.4020	0.3684	-0.037	0.971	-0.0023	0.0022
800 ~ 1099	45541	0.010	1.140	0.5089	0.3772	0.047	0.962	-0.0018	0.0017
1100 ~ 1399	15518	0.040	1.200	0.5539	0.3749	0.007	0.994	-0.0033	0.0033
1400 ~ 1699	1520	0.070	1.710	0.8231	0.4352	0.003	0.998	-0.0180	0.0181
1700 以上	27	0.290	1.820	0.9544	0.3542	0.001	0.999	-0.1401	0.1401

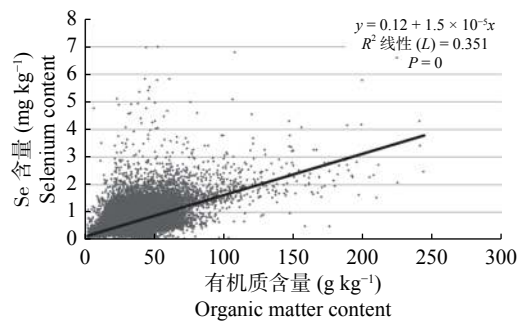


图 4 Se 含量与有机质含量相关关系图

Fig.4 Correlation between Se content and organic matter content

Se 含量由表层向下逐渐降低，且与有机质含量呈显著正相关关系，基岩中 Se 含量与有机质含量无此关系。可能是土壤中 Se 含量受有机质含量控制明显。这与高宇等^[17] 研究结果基本一致。

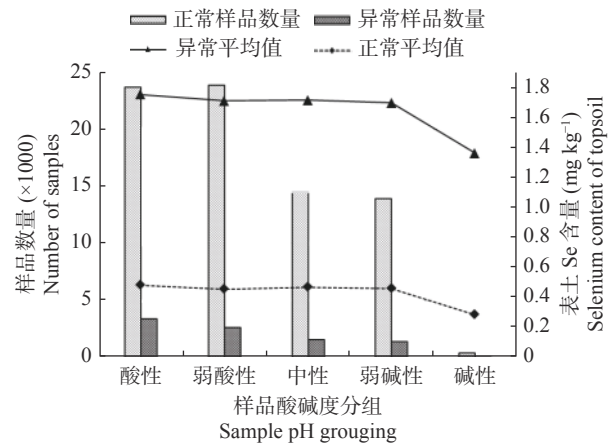


图 5 不同酸碱度样品数量与 Se 含量平均值对比图

Fig.5 Comparison of the number of positive and abnormal samples with different pH levels and the mean value of Se content

表 4 Se 含量正、异常样品与 pH 值分组统计表

Table 4 Positive and abnormal Se content samples and pH grouping statistics table

pH	正常Se含量 Normal Se content		异常Se含量 Abnormal Se content	
	样品数 (件) Number of samples	平均值 (mg kg ⁻¹) Average	样品数 (件) Number of samples	平均值 (mg kg ⁻¹) Average
< 5.5	23725	0.4818	3365	1.2703
5.5 ~ 6.5	23868	0.4543	2617	1.2551
6.5 ~ 7.5	14512	0.4685	1539	1.2458
7.5 ~ 8.5	13912	0.4589	1401	1.2374
> 8.5	390	0.2844	10	1.0755

表 5 土壤各层 Se 含量及与有机质含量对比统计表

Table 5 Statistical analysis for contents of Se and organic matter across soil layers

层位 Layer	样品数 Number of samples	土壤 (mg kg ⁻¹) Se			有机质 (g kg ⁻¹) Organic matter		
		最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average
A	192	0.13	15.10	1.30	0.40	18.72	4.20
B	192	0.11	17.30	1.16	0.04	16.38	2.40
C	145	0.10	14.90	0.87	0.04	5.39	1.56
R	192	0.06	22.80	1.17	0.04	10.35	1.56

注：A-淋溶层；B-淀积层；C-母质层；R-基岩层。

2.4 农作物 Se 含量

2.4.1 农作物 Se 的含量特征 一般来说，植物只要种植在含 Se 土壤中都会或多或少地吸收土壤中的 Se。有研究认为，植物对 Se 的吸收主要取决于环境条件、土壤和植物品种等因素^[18]。作为农作物，则需研究其可供人们食用部分器官的 Se 含量方有意义。本次研究选取了根类、茎类、叶类、花类、果类及籽类等共 20 个品种 1152 件农作物样品进行统计分析（表 6）。从表中可以看出，一是农作物不同器官对 Se 的富集不同，一年生农作物，籽类对 Se 富集程度最高（如高粱、水稻、玉米）；多年生木本农作物叶类（如茶叶、苦丁茶）比果类（如柑橘、桃、

梨、李、桂元、猕猴桃）富集程度高；二是同部位多年生比一年生富集程度高（如金钗石斛与竹笋、金银花与花椰菜、茶叶与蔬菜）；三是相同生长时间相同部位不同种类富 Se 程度不同（如茶叶与苦丁茶）。

2.4.2 与根系土壤 Se 的含量关系 本次研究选取水稻、玉米、高粱、辣椒、茶叶、苦丁茶共六种农作物，各取其 Se 含量最高的 10 个样品与其对应的根系土壤样品进行比较分析后认为：水稻、高粱、辣椒、苦丁茶的 Se 含量与其根系土壤中 Se 含量关系不明显，而玉米、茶叶可能存在一定的正相关关系（图 6）。

表 6 不同农作物有用器官 Se 含量与根系土壤 Se 含量对比统计表
Table 6 Statistical analysis for Se content in different crops and rhizosphere soil.

有用器官 Useful organs	品种 Species	样品数 Number of samples	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Average
根	党参	16	0.008	0.048	0.017
茎	竹笋	60	untested	0.060	0.010
	金钗石斛	20	0.008	0.052	0.021
叶	白菜	9	untested	0.014	0.003
	菜芯	8	untested	0.008	0.003
	茶叶	140	0.048	0.518	0.140
	苦丁茶	22	0.048	0.162	0.074
花	花椰菜	20	untested	0.012	0.006
	金银花	15	0.036	0.119	0.060
果	柑橘	15	untested	0.016	0.001
	桃	15	—	untested	—
	梨	23	untested	0.016	0.001
	李	15	untested	untested	—
	桂圆	20	untested	0.008	0.000
	猕猴桃	18	0.003	0.024	0.004
	辣椒	149	untested	0.279	0.008
籽	高粱	96	0.007	0.960	0.044
	水稻	457	0.006	0.370	0.042
	玉米	34	0.006	0.477	0.047

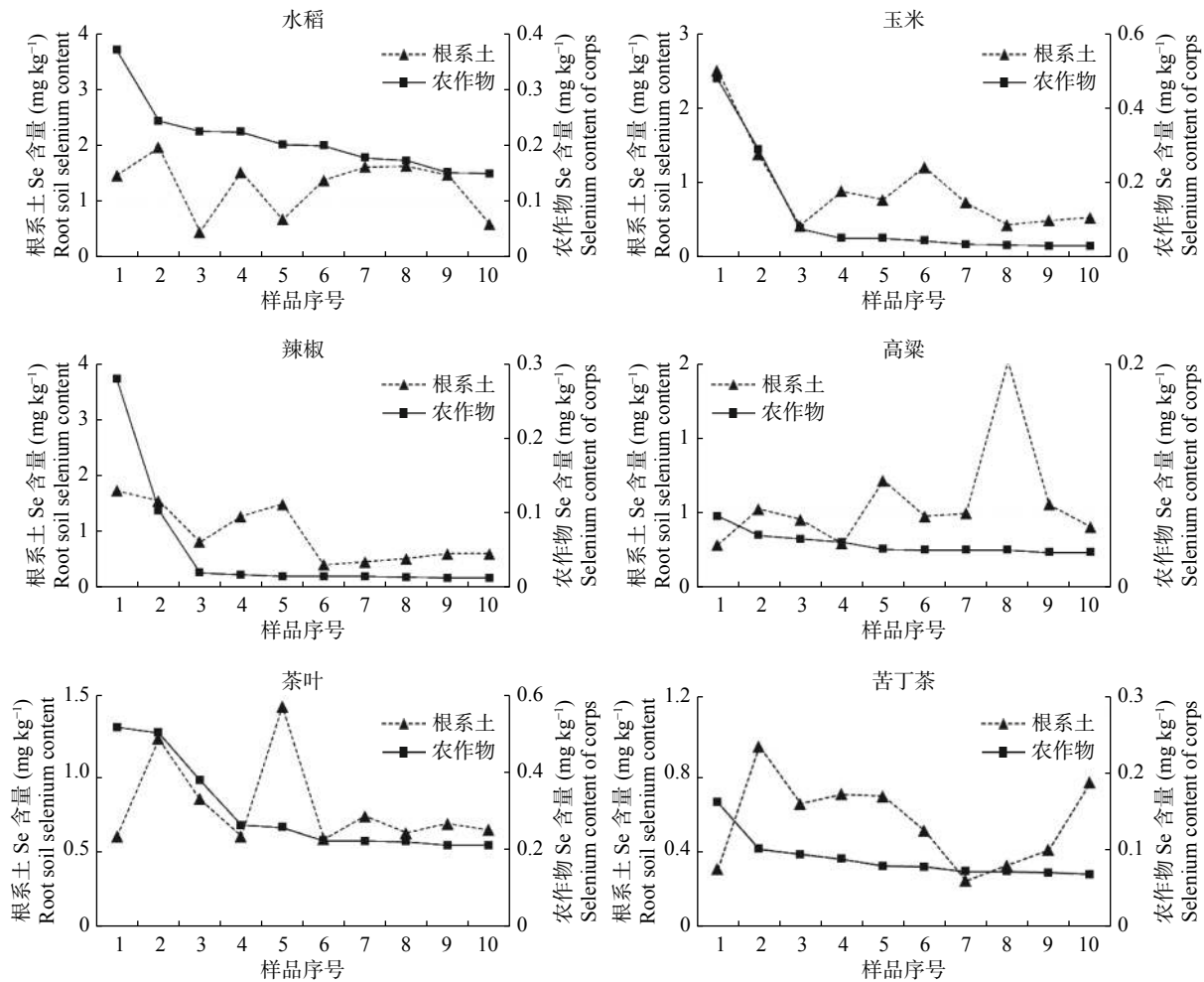


图 6 农作物与根系土 Se 含量关系图
Fig.6 Relationship between crop and root soil Se content

3 结论

(1) 研究区表层土壤 Se 平均含量相对较高, 均值为 0.548 mg kg^{-1} , 检出范围为 $0.01 \sim 13.10 \text{ mg kg}^{-1}$, 足硒以上 ($> 0.175 \text{ mg kg}^{-1}$) 土壤占总耕地土壤的 98.84%, 其中富硒土壤 ($> 0.45 \text{ mg kg}^{-1}$) 占比 55.31%, 高 Se 及以上 ($> 2.0 \text{ mg kg}^{-1}$) 土壤占比 0.60%, 单就 Se 元素而言, 研究区耕地土壤品质较优。

(2) 区内耕地土壤 Se 元素含量受成土母岩岩性控制较明显, 煤系地层 Se 含量最高, 泥岩夹灰岩次之, 砂岩最低; 与海拔高度及有机质含量相关性明显; 与 pH 值总体相关关系弱, 在土壤 pH 值小于 8.5 时, Se 平均含量变化不大, 但当 $\text{pH} > 8.5$ 时, 负相关关系明显。

(3) 土壤 Se 含量在垂向上的变化是从地表向下逐渐降低, 且与有机质含量呈显著正相关关系。

(4) 农作物中 Se 含量取决于作物种类 (按常规有用器官分类), 相同生长时间籽类作物 Se 含量高; 多年生木本作物中叶类比果类富集; 同部位多年生比一年生富集程度高; 相同生长时间相同部位不同种类富 Se 程度不同。茶叶、玉米与其根系土壤 Se 含量可能相关, 其它农作物与其根系土关系不明显。

致谢: 本文所用样品数据来自贵州省耕地质量地球化学调查项目, 在此, 向提供这些数据的贵州省地矿局 102 地质队、106 地质队、105 地质队、117 地质队及地球物理地球化学勘查院、地质调查院同仁表达由衷的谢意!

参考文献:

[1] Wang J, Li H, Li Y, et al. Speciation, Distribution, and Bioavailability of Soil Selenium in the Tibetan Plateau Kashin Beck Disease Area-A Case Study in Songpan County, Sichuan Province, China[J]. *Biological Trace Element Research*, 2013,

156: 367 – 375.

- [2] Ohlendorf H M. Bioaccumulation and effects of selenium in wildlife[M]//Selenium in agriculture and environment. SSSA Special Publication No. 23. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1989: 133 – 177.
- [3] 崔剑波. 生态环境中的生命元素硒(Se)与健康的研究[J]. 生态学进展, 1989, 6(4): 243 – 251.
- [4] Bisbjerg B. Studies on selenium in plants and soils[D]. Denmark: Riseo Danish Atomic Energy Commission, 1972: 1 – 150.
- [5] 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.
- [6] 王甘露, 朱笑青. 贵州省土壤硒的背景值研究[J]. *环境科学研究*, 2003, 16(1): 23 – 26.
- [7] 邓 军, 师华定, 赵 建, 等. 遵义市土壤硒分布及其影响因素研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2019, (3): 49 – 55.
- [8] 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, 1991.
- [9] 黄 钊, 陈 政, 薛传东, 等. 云南省新平哀牢山地区富硒土壤成因及其影响因素研究[J]. *现代地质*, 2020, 34(3): 609 – 617.
- [10] 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.
- [11] 张晓平, 张玉霞. 西藏土壤中硒含量及分布[J]. *土壤学报*, 2000, 37(4): 558 – 562.
- [12] 梁若玉, 和 娇, 史雅娟, 等. 典型富硒农业基地土壤硒的生物有效性及剖面分布分析[J]. *环境化学*, 2017, 36(7): 1588 – 1595.
- [13] 蔡立梅, 王 硕, 温汉辉, 等. 土壤硒富集空间分布特征及影响因素研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(10): 83 – 90.
- [14] 张 栋, 张 妮, 候振安, 等. 石灰性土壤硒含量与小麦籽粒硒蜀道难通过研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(5): 152 – 157.
- [15] 余 飞, 张风雷, 张永文, 等. 重庆典型农业区土壤硒地球化学特征及影响因素[J]. *物探与化探*, 2020, 44(4): 830 – 838.
- [16] 余文权, 王 峰, 陈玉真, 等. 福建省典型茶园土壤硒含量及其影响因素研究[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(2): 173 – 185.
- [17] 高 宇, 杜亮亮, 海 龙, 等. 宁夏中宁县土壤硒元素垂向分布特征研究[J]. *资源环境与工程*, 2017, 31(Sup): 71 – 73.
- [18] 陈松灿, 孙国新, 陈 正, 等. 植物硒生理及与重金属交互的研究进展[J]. *植物生理学报*, 2014, 50(5): 612 – 624.

Enrichment of Selenium in Cultivated Soils and Crops in Zunyi, Guizhou

WEI Ze-quan, CHEN Yun-ming*, GUO Yu, REN Guang-ming

(The 102th Geological Brigade, Geological and Mineralogical Bureau of Guizhou Province, Zunyi 563003, China)

Abstract: Taking advantage of the opportunity of collecting a large number of samples from the Guizhou Province Cultivated Land Quality Geochemical Survey System, conduct research on the distribution of selenium (Se) in cultivated land soil and useful organs of crops. Statistical analysis showed that most of the surface soils in Zunyi was at full or rich levels of Se, only a very small proportion of surface soils was at deficient or high levels of Se. The content of Se in the soil is significantly correlated with the content of soil organic matter and altitude. It is obviously controlled by the lithology of the soil-forming parent rock. The correlation is not obvious when the soil pH value is < 8.5 , and there is a significant negative correlation when the pH value is > 8.5 . The Se content was decreased vertically with soil depths, which may be controlled by the content of soil organic matter in each layer. The Se content in crop depended mainly on the organ and growth period of crop. The Se content in corn and tea may be affected by the Se content in root soil.

Key words: Arable soil; Crop; Selenium; Distribution pattern; Zunyi; Guizhou

[责任编辑: 韩春兰]