

# 贵州省紫云县耕地土壤元素组合特征及硒元素分布特征

周泽<sup>1,2</sup>, 伍远学<sup>2</sup>, 杨磊<sup>2</sup>, 程海霞<sup>2</sup>

(1. 贵州省煤田地质局, 贵州 贵阳 550000; 2. 贵州省煤田地质局 174 队, 贵州 贵阳 550000)

**[摘要]**通过广泛收集整理前人研究成果、紫云县地质、环境、自然地理、区域地质背景等资料,测试分析区内 1:5 万耕地质量地球化学采集的 5720 件表层土壤样品;运用地球化学指标评价全区硒元素地球化学等级,并基于 SPSS 软件对样品测试结果进行了聚类分析与相关性分析。结果表明:区内富硒耕地资源较为丰富,全区富硒耕地土壤达 53.36 万亩,占全区耕地土壤面积 66.81%;硒与镉元素伴生关系与所在的地质背景关系密切,碳酸盐岩富硒区易富集镉元素,而泥页岩、煤系、硅质岩等富硒区镉元素含量则相对较低。研究结果不仅能为区内富硒耕地土壤的安全利用提供理论依据,也能推动区内发展高品质富硒农产品,促进当地农业产业结构良性调整,加快当地经济发展。

**[关键词]**富硒;元素组合特征;地球化学;耕地土壤;紫云县;贵州

**[中图分类号]**P652;S159;O613.52 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2020)-04-0539-07

硒(Se)元素是人体及动物重要的健康元素之一,对人体及动物具有十分积极的意义(谭见安, 1996;李家熙等, 2000;孙维侠等, 2008;周琦, 2020),人体摄入的硒主要由植物供给,来源于耕作的土壤,受一系列地质、地理因素控制(王锐等, 2017)。前人研究显示硒元素在地球表层的分布、迁移、转化及生物有效性明显受制于其环境地球化学性质和行为(余涛等, 2018)。硒元素的亲硫性及亲生物性便是其中的代表:在自然界中绝大多数的硒元素被分散到硫化物矿物的晶格中,只有硫浓度明显降低时,才较稀少地形成自己的独立矿物(冯彩霞等, 2002),同时硒元素在富含有机质的煤、碳质泥页岩和黑色岩系等地质体中更易富集(Wang L et al., 2010),往往导致富硒土壤主要富集于区内二叠系、三叠系等地层区域。我国大量学者对富硒土壤做过研究,富硒土壤的开发和利用不仅有利于人体健康,而且对于地区经济的发展有很好的推动作用(王锐等, 2017),比如作为“世界硒都”的湖北恩施地区、商业化种植开发富硒米的江西鄱阳地区等,均依靠当地盛

产的富硒米推动着当地经济发展;但贵州省富硒土壤的研究仍处于起始阶段,需要大量专家学者投入更多的调查研究。

本研究依托始于 2017 年开展的“贵州省耕地质量地球化学调查评价”项目,以贵州省紫云县耕地质量地球化学调查评价数据为基础,结合紫云县区域地质、地理、环境条件等资料,对研究区硒元素分布特征及耕地土壤元素组合特征进行了综合分析,旨在揭示当地耕地土壤硒元素分布的地球化学特征,为当地耕地土壤硒的安全利用提供重要的理论支持及科学依据。

## 1 研究区概况

### 1.1 自然地理概况

贵州省紫云县属安顺市一个县级行政区,位于贵州省南部,地理坐标位置为东经 105°29′~105°55′,北纬 25°03′~25°21′,位于云贵高原东侧向南倾斜的斜坡地带,属云贵高原向广西丘陵

**[收稿日期]**2020-06-29 **[修回日期]**2020-07-27

**[作者简介]**周泽(1990—),男,江西南昌人,中级工程师,硕士研究生。研究方向:地球化学、煤炭地质。E-mail: 565105610@qq.com。

的过渡地带,地势南北高,中部平缓,东西两侧向外倾斜,南北向呈马鞍状,东西向呈丘台状。最高海拔1 681 m,最低海拔623 m,境内大部分地区海拔1 000~1 450 m之间,相对高差在50~200 m之间。研究区是典型的喀斯特地貌,岩溶地貌的面积达1172 km<sup>2</sup>,占全县面积的51%。属亚热带季风湿润型气候,为中亚热带与北亚热带的过渡地带,多年平均气温为15.3℃,年无霜期288天左右,年平均日照时数为1 455小时,多年平均降雨量为1 337 mm,相对湿度平均为79%。境内耕地以黄壤为主,大宗农作物主要种植玉米、水稻。

## 1.2 地质概况

研究区大地构造位置处于扬子准地台上扬子台褶带的西南端(贵州省地质矿产局,1987),西侧发育一条大型北西向水城—紫云—南丹深大裂陷带,该断裂发育于晚志留世,经历了泥盆纪、石炭纪、二叠纪、三叠纪的伸展运动,该断裂活动演化制约着研究区的地层、古地理、岩浆、构造、矿床分布(王立亭,1994)。区内发育多个方向的断裂构造,以北东向、北北东向、北西向和北北西向为主(图1)。自泥盆系中统至第四系各层层位中,

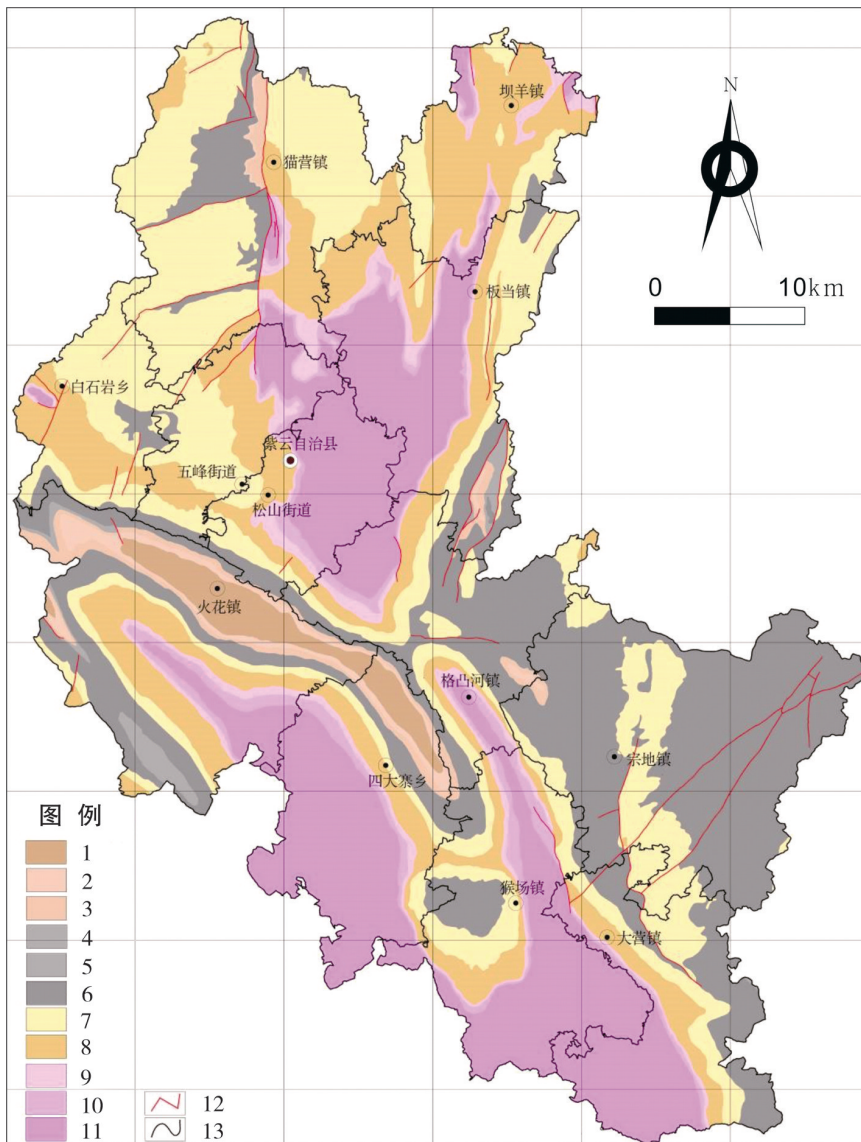


图1 紫云县地质及构造纲要图

Fig. 2 Geological and tectonic outline of Zhiyun county

1—D<sub>1-2</sub>h 火烘组;2—D<sub>3</sub>l 榴江组;3—D<sub>3</sub>C<sub>1</sub>wz 五指山组;4—C<sub>1</sub>m 睦化组;5—C<sub>1</sub>dw 打屋坝组;6—CP<sub>1</sub>w 威宁组 CP<sub>1</sub>n 南丹组;7—P<sub>1</sub>p+P<sub>1</sub>h 平川组、猴子关组 P<sub>1-2</sub>s 四大寨组;8—P<sub>2</sub>w 吴家坪组 P<sub>2-3</sub>lh 领薨组;9—T<sub>1-2</sub>l 罗楼组;10—T<sub>2</sub>x 新苑组;11—T<sub>2</sub>b 边阳组;12—断层;13—乡镇界线

说明:南丹组、四大寨组及领薨组仅分布于火花镇至四大寨乡一带。分副院长与威宁组、平川组与猴子关组及吴家坪组呈相带关系。

除缺失侏罗系和白垩系外均有出露。

境内成土母岩均为沉积岩,主要成土母岩为碎屑岩及碳酸盐岩(表1)。

## 2 样品采集及测试

### 2.1 样品采集

测试样品均采集于县境内耕地土壤,样品包括1:5万耕地质量地球化学采集的5720件表层土壤样品(包括5246件基本表层土壤样、107件重复表层土壤样、79件根系土壤样、288件加密表层土壤样)。

表层土壤样品布设以1:50000土地利用现状图(全省二调数据)及奥维地图卫星遥感图作为工作底图;采样平均点密度达到了9.59个点/km<sup>2</sup>;并按样品总数的2%布设了重复样。样坑为方坑,采样深度在耕作层深度小于20cm时按照耕作层深度进行采集,耕作层深度大于20cm时,自上而下采集0~20cm土柱;子样为4至6件,且均在中心样点20~50m内,布设一般呈“X”形或“S”形,部分呈其它形状。

### 2.2 样品测试分析

样品经野外自然通风晾干、锤打粉碎,采用四分法粗加工后送检四川省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心,并按DZ/T 0258-2014、DD 2005-03、《地质矿产实验室测试质量管理规范》

(DZ/T 0130-2006)以及测试中心内部质量控制要求分析各项指标。耕地表层土壤样品全量分析指标包括有机质、N、P、K、B、Mn、Zn、Cu、Mo、Se、Ge、I、F、pH值、As、Cd、Cr、Hg、Pb、Co、Ni、V、Tl,共计23项。

测试中心采用了以X射线荧光光谱法(XRF)及电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)为主,以原子荧光法(AFS)、发射光谱法(ES)、离子选择性电极法(ISE)、容量法(VOL)为辅的分析方法配套方案。并按照《规范(DZ/T0258-2014)》要求,采用外部质量控制和内部质量监控相结合的方法控制分析质量,测试数据质量可靠。

### 2.3 控制质量评述

研究过程为保证成果质量,对野外采样及样品加工工作采取了多项措施,严格执行三级质量管理体系(任明强等,2020)。并采取重复样进行相对双差合格率分析,结果显示所有元素控制质量均合格(表2)。

## 3 耕地土壤元素组合特征

### 3.1 基于SPSS软件的聚类分析

耕地土壤中硒元素的含量及其与其他元素的组合特征不仅与元素本身地球化学特征相关,与表生地球化学条件和人类活动的影响也密切相关(余涛等,2018)。

表1 紫云县各地层成土母岩类型及耕地土壤地球化学参数表

Table 1 Soil geochemical parameters of cultivated land in Zhiyun county

岩石单位	主要成土母岩类型	岩石地层单位	样品个数
碎屑岩	砂岩、页岩、粘土岩	边阳组、新苑组、领薨组、四大寨组、打屋坝组、火烘组	2056
碳酸盐岩	石灰岩、礁灰岩、白云岩	罗楼组、吴家坪组、猴子关组、平川组、威宁组、南丹组、睦化组、五指山组	3594
硅质岩	硅质岩	榴江组	70

表2 重复性分析精密度控制

Table 2 Precision control of repeatability analysis

元素符号	As	B	Cd	Co	Cr	Cu	F	Ge	Hg	I	K	
RD≥40%数量	1	9	6	4	4	3	2	2	6	13	3	
RD合格率	99.07%	91.59%	94.39%	96.26%	96.26%	97.20%	98.13%	98.13%	94.39%	87.85%	97.20%	
元素符号	Mn	Mo	N	Ni	P	Pb	pH	Se	Tl	V	Zn	SOM
RD≥40%数量	11	4	4	3	2	2	0	7	2	2	2	1
RD合格率	89.72%	96.26%	96.26%	97.20%	98.13%	98.13%	100.00%	93.46%	98.13%	98.13%	98.13%	99.07%

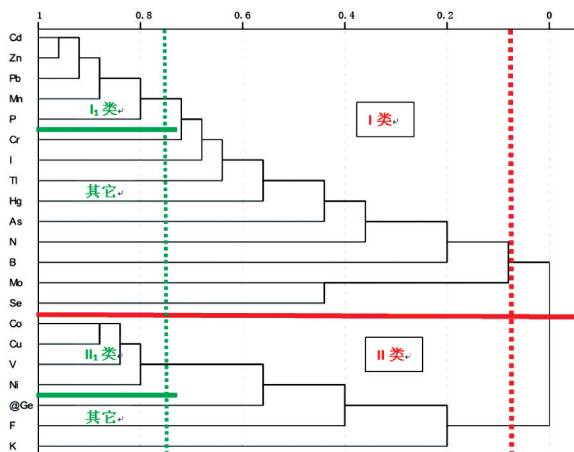


图2 耕地土壤元素聚类谱系图

Fig. 2 Clustering genealogy of cultivated land soil elements

根据对研究区耕地土壤元素 Pearson 相关性聚类分析容易看出研究区元素按照有无相关性大致可以归纳为两类,见图 2(红线以上归为 I 类,红线以下归为 II 类)。其中 I 类中以镉、锌、铅、锰及磷元素相关性较大,相关性数值大约 0.75 以上,并据此归为 II 类,其余元素单独划类,这与当地的地质条件是密切相关的。结合前人研究成果分析研究(Wang L et al., 2010),认为区内受地层条件影响,在石炭系及二叠系等黑色岩系中,镉、锌、铅、锰等元素通常伴生关系较强,而黑色岩系中硒元素含量也更为丰富,受其风化形成的耕地土壤则易表现为富硒高镉现象;II 类中以钴、铜、钒及镍元素关系稍大,相关性数值大约 0.75 以上,可归为 III 类,而锗、氟、钾元素与之相关性较小,单独划类,可能与土壤中粘土矿物的吸附作用有

关。据此,研究认为研究区内的耕地土壤元素的组合特征主要受控于元素地球化学性质、黑色岩系及粘土矿物等的影响。

### 3.2 元素相关性分析

根据对研究区耕地土壤元素地球化学特征分析,全区耕地土壤富硒样品普遍镉含量也较高,而铅锌元素也大多富集,与聚类谱系图研究成果一致。为进一步研究富硒区镉元素情况,进行了元素相关性分析。研究成果显示:全区硒元素与铅、锌、镉元素相关性均较差,在 0.01 水平(双侧)上相关性数值均不大于 0.1;而铅、锌、镉三元素之间相关性则仍较高,在 0.01 水平(双侧)上显著相关,Pearson 相关性数值基本高达 0.8(表 3),这主要是由于区内存在大面积的二叠系灰岩成土母岩含镉却不富硒,导致区内土壤富硒高镉、含镉却不一定富硒的特征,即区内整体上表现为铅、锌、镉三元素之间相关性高,而与硒元素相关性较差。

综上,全区耕地土壤富硒样品普遍镉含量较高,而含镉区内却仅有黑色岩系区域富硒,导致二者之间并不存在好的正相关关系,结合前人研究成果(侯少范等,1990;张光弟等,2001;杨良策,2015),认为区内耕地土壤中硒与镉元素含量与地质背景关系较大,黑色岩系中碳酸盐岩富硒地区同时富集镉元素,而泥页岩、煤系、硅质岩富硒地区则并不富集镉元素,这一伴生成因将为区内高硒耕地土壤的安全利用奠定良好基础。

表3 耕地土壤部分元素相关性分析

Table 3 Correlation analysis of soil elements in cultivated land

相关性		Se	Cd	Zn	Pb
Se	Pearson 相关性	1			
	显著性(双侧)				
	N	5 348			
Cd	Pearson 相关性	0.058**	1		
	显著性(双侧)	0.000			
	N	5 348	5 348		
Zn	Pearson 相关性	0.098**	0.832**	1	
	显著性(双侧)	0.000	0.000		
	N	5 348	5 348	5 348	
Pb	Pearson 相关性	0.024	0.797**	0.793**	1
	显著性(双侧)	0.074	0.000	0.000	
	N	5 348	5 348	5 348	5 348

注:\*\*0. 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。



## 4 硒元素分布特征及地球化学等级评价

成土母质硒元素含量是决定土壤硒元素含量水平的主要控制因素,而成土过程、土壤有机质、人类活动、气候条件等也是重要影响因素(王锐等,2017)。

### 4.1 硒元素分布特征

区内数据统计显示全区硒元素平均含量为0.54 mg/kg,高于0.4 mg/kg的富Se土壤标准,中

值为0.47 mg/kg,远大于中国耕地土壤(A层)中值0.207 mg/kg。含量最小0.07 mg/kg,最大4.46 mg/kg,相差63.7倍,背景值(蔡大为等,2020)0.49 mg/kg,显示全区硒元素分布并不均匀,评价指标变异系数59%,也证实全区范围内分布存在一定的变化;而偏度值3.59、峰度值24.90,表明元素含量在全区范围内存在部分极值(表4),这与研究区地处云贵高原自然地理条件密切相关。研究区耕地土壤有机质含量较丰富,平均含量为29.97 g/kg,远大于全国表层土壤元素含量平均值11.512 g/kg,也是硒元素含量丰富的成因之一。

表4 紫云县硒元素地球化学特征值

Table 4 Geochemical characteristic values of selenium in Zhiyun county

元素 (n=5355)	平均值	背景值	最小值	中值	最大值	中国耕地土壤 (A层)中值	标准差 $\sigma$	变异系数 CV 无量纲	偏度 SK	峰度 KU
Se	0.54	0.49	0.07	0.47	4.46	0.207	0.32	59%	3.59	24.90
有机质	29.97	29.41	4.50	28.70	111.40	11.512(全国均值)	8.92	30%	1.10	3.62

### 4.2 硒元素地球化学等级评价

本研究硒元素地球化学等级分级标准采用“贵州省耕地质量地球化学调查评价项目”统一

的7个等级分级标准(表5)。其中五级至二级为富硒耕地土壤,七级至六级未达到富硒标准,一级则含量过剩。

表5 耕地土壤硒元素地球化学等级评价表(mg/kg)

Table 5 Geochemical grade evaluation of cultivated land selenium (mg/kg)

硒元素等别	七 低硒	六 含硒	五 三级	四 二级	三 一级	二 特级	一 过剩
硒 标准值	$\leq 0.2$	0.2-0.4	0.4-0.5	0.5-0.8	0.8-1.2	1.2-3.0	>3.0

研究显示,研究区富硒耕地土壤共53.36万亩,占全区耕地土壤面积66.81%,硒含量总体较为丰富,其中优质的富硒耕地土壤主要分布于区内的火花镇、格凸河镇及猫营镇等;过剩等级耕地土壤面积为0.078万亩,占比0.10%;含硒土壤面积为25.77万亩,占比32.27%;低硒土壤面积为0.66万亩,占比0.83%。且通过与研究区地质及构造纲要图对比分析易看出富硒区大多分布于二叠系及石炭系碳酸盐岩地区,少部分分布于泥盆系煤系、泥页岩地区(图1、图3)。

镉元素含量则相对较低,可指导区内富硒耕地土壤的安全利用。

(2)研究区硒元素含量平均值较高,全区范围内分布存在一定的变化及部分极值。富硒耕地土壤共53.36万亩,占全区耕地土壤面积66.81%,硒含量总体较为丰富。

(3)研究区富硒耕地土壤的研究将为该区域富硒耕地土壤的安全利用提供理论依据;但仍亟需广大专家学者加强硒元素的研究及普及,尤其要联合地质及农业等多行业,共同推动富硒耕地土壤的安全开发与利用,发展高品质富硒农产品。

## 5 结论

(1)研究区耕地土壤中硒与镉元素含量与地质背景关系较大,黑色岩系中碳酸盐岩富硒地区易富集镉元素,而泥页岩、煤系、硅质岩富硒地区

### [参考文献]

- 蔡大为,李龙波,蒋国才,等.2020.贵州耕地主要元素地球化学背景值统计与分析[J].贵州地质,37(3):233-239.  
冯彩霞,刘家军,刘燊,等.2002.硒资源及其开发利用概况[J].地质与资源,11(3):152-156.

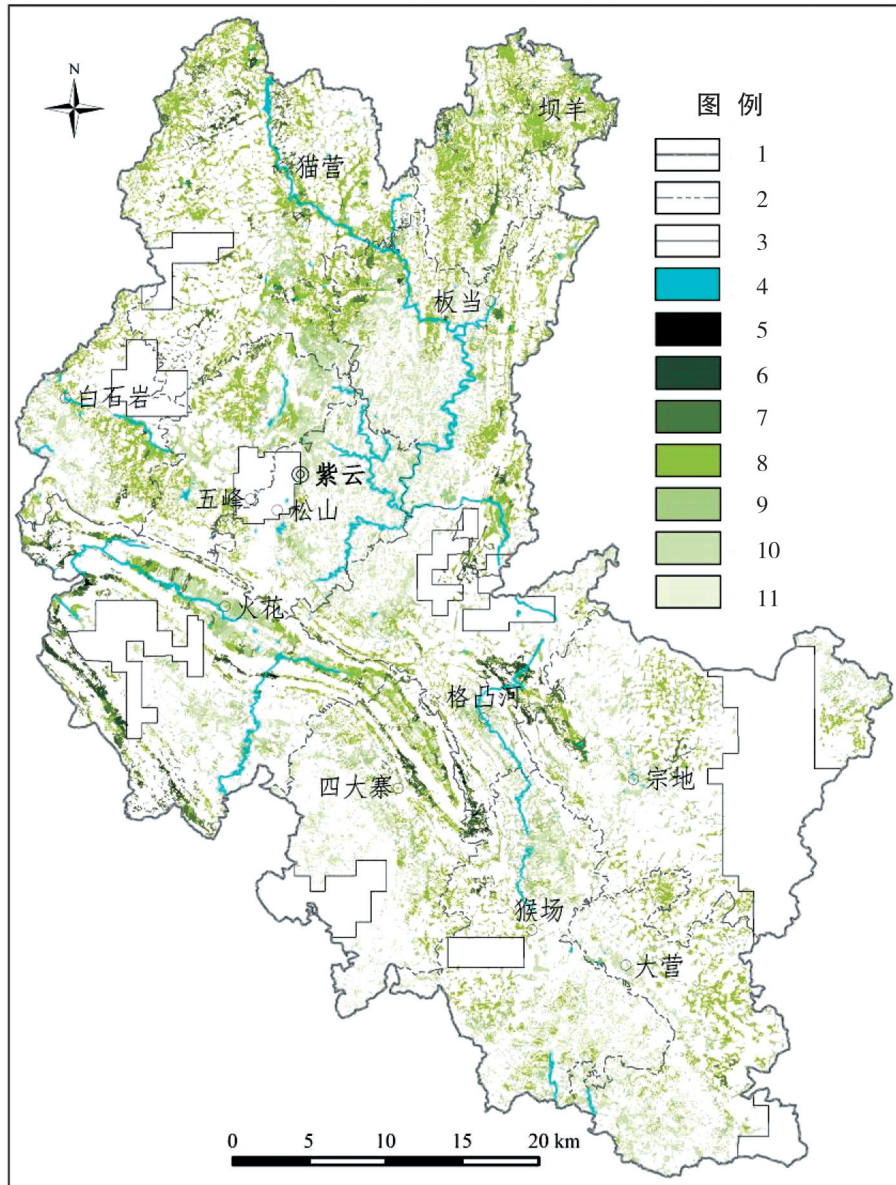


图3 紫云县耕地土壤(硒)等级图

Fig.4 Soil (selenium) grading map of cultivated land in Zhiyun county

1—县界;2—乡镇界线;3—非评价区;4—河流域;5—过剩;6—特级;7—一级;8—二级;9—三级;10—含硒;11—低硒

贵州省地质矿产局编. 1987. 贵州省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 393-460.

侯少范,李德珠,王丽珍,等. 1990. 我国土壤中结合态硒的含量和分布规律[J]. 地理研究,1990,9(4):17-25.

李家熙,张光弟,葛晓立,等. 2000. 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, 1-29.

任明强,冷洋洋,周尔春,等. 2020. 贵州1:5万耕地质量地球化学调查评价方法技术[J]. 贵州地质,37(3):227-232.

孙维侠,赵永存,黄标,等. 2008. 长三角典型地区土壤环境中Se的空间变异特征及其与人类健康的关系[J]. 长江流域资源与环境, 17(1):113-118.

谭见安. 环境生命元素与克山病[M]. 1994. 北京:中国医药科技出版社,1996:50-99.

王立亭. 贵州古地理的演变[J]. 贵州地质,(2):133-139.

王锐,余涛,曾庆良,等. 2017. 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,7(5):359-366.

杨良策,李明龙,杨延安,等. 2015. 湖北省恩施市表层土壤硒含量分布特征及其影响因素研究[J]. 资源环境与工程, 29(6): 825-829.

余涛,杨忠芳,王锐,等. 2018. 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,50(6):1119-1125.

张光弟,葛晓立,张绮玲,等. 2001. 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,28(9):37-41.

周琦,王砚耕,陈旭晖. 2020. 贵州耕地质量地球化学调查评价工程成果及其意义[J]. 贵州地质,37(3):225-226, 232.

Wang L, Ju Y, Liu G, et al. 2010. Selenium in Chinese coals; distribution, occurrence, and health impact[J]. Environmental Earth Sciences, 60(8):1641-1651.

## The Characteristics of Soil Selenium Distribution and Element Combination in Cultivated Land of Ziyun County, Guizhou Province

ZHOU Ze<sup>1,2</sup>, WU Yuan-xue<sup>2</sup>, YANG Lei<sup>2</sup>, CHENG Hai-xia<sup>2</sup>

(1. Guizhou Coalfield Geological Bureau, GuiYang 550000, Guizhou, China; 2. Team 174, Guizhou Coalfield Geological Bureau, GuiYang 550000, Guizhou, China)

[Abstract] By collect the former research results, the surrounding geology, environment, natural geography and regional geological background of Ziyun county were collected and sorted out. A total of 5355 topsoil samples from 1:50000 cultivated land mass geochemical data were analyzed. Then the geochemical index was used to evaluate the geochemical grade of selenium in the whole region. Based on SPSS software, cluster analysis and correlation analysis were carried out on the test results of samples. The results are shown below. Firstly, the cultivated land rich in selenium is relatively rich in the region. The cultivated land rich in selenium has soil of 533 600 mu, accounting for 66.81% of the cultivated land area in the region. Secondly, the associated relationship between selenium and cadmium is closely related to the geological background. Cadmium is easy to be enriched in the selenium-rich areas of carbonate rocks, while the content of cadmium in the selenium-rich areas such as mud shale, coal measures and siliceous rocks is relatively low. The research results can not only provide theoretical basis for the safe utilization of selenium-rich cultivated land in the region, but also promote the development of high-quality selenium-rich agricultural products in the region, promote the benign adjustment of local agricultural industrial structure, and accelerate the development of local economy.

[Key Words] Selenium-rich soil; Characteristics of element combinations; Geochemistry; Cultivated soil; Ziyun county; Guizhou province

---

(上接第 538 页)

was higher in the carbonate lithologic overlying soil and yellow soil in Kaili area, which were 0.077 mg/kg and 0.079 mg/kg respectively. Among the 144 crop samples studied, the average Se content of rice seeds was 0.068 mg/kg, which was the highest among the crops studied in the same period of last year. Moreover, the Se content of rice seeds and its corresponding root soil was also strongly correlated in the same period of last year. According to the geological background, stratum and lithology of Kaili city, local traffic conditions and residents' crop planting, selenium-rich agricultural products can be developed in Zhouxi Town and selenium-rich rice in Longchang Town.

[Key Words] Kaili City; Seeds; The root soil; Selenium