

贵州省赤水市耕地富硒土壤地球化学特征

田文明^{1,2}, 牟军¹, 唐婷婷¹, 唐佐其¹, 王安华¹, 强希润¹

(1. 贵州省地质调查院, 贵州 贵阳 550081; 2. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074)

[摘要]通过1:50000耕地质量地球化学调查评价,研究了赤水市耕(园)地土壤环境质量,硒元素分布、影响因素及其生态效应。结果表明,研究区耕(园)地土壤总体以酸性为主,无重金属超标现象,土壤环境质量优良。耕(园)地土壤硒平均含量为 $0.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,富硒及硒适量的耕(园)地面积占全市耕地面积分别为47.82%、51.75%。影响土壤硒元素含量的主要因素有成土母质、土壤类型、土壤pH值及有机质含量等。区内产出天然富硒稻谷、竹笋、金钗石斛等农作物,但存在少数农作物镉元素超标现象。赤水市耕地土壤环境质量优良,并且大面积分布富硒土壤资源,开发富硒土壤和农产品具有优势和潜力,但同时应注意耕地土壤酸化趋势和个别农产品重金属超标现象。

[关键词]富硒;耕地土壤;影响因素;生态效应;贵州赤水

[中图分类号]P632;S159;O613.52 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2020)-03-0305-08

硒(Se)被世界卫生组织(WHO)认定为人体必需营养元素之一,具有抗癌防癌,抗氧化,提高免疫功能,促进机体基础代谢,拮抗砷、镉、汞等的毒性等作用(廖金凤,2002;鲍鹏等,2017;罗程等,2017;谭见安等,1991;陈亮等,2004)。适量的硒对农作物生长和产量也有促进作用,尤其对提高水稻、小麦等作物的单产、降低空秕率有明显作用(贾宏昉等,2006)。我国土壤整体贫硒,缺硒省份有22个,约占全国总面积的72%,2/3的人口硒摄入不足(酆逸根等,2005;孙国新等,2017)。因此,寻找并利用绿色富硒土地资源,开发绿色富硒农产品,具有积极的经济价值和社会价值。

笔者依托赤水市耕地质量地球化学调查评价项目,对赤水市耕(园)地表层土壤硒的地球化学特征、影响因素及生态效应进行研究,以期对赤水市绿色富硒耕地土壤资源合理有效的开发利用、优质特色农业的发展提供地球化学依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况

赤水市位于贵州省北部,东南与贵州习水县接壤,西北与四川省的古蔺、叙永、合江三县交界,地理坐标为 $105^{\circ}36'25''\text{E} \sim 106^{\circ}14'56''\text{E}$, $28^{\circ}17'02''\text{N} \sim 28^{\circ}45'58''\text{N}$,国土面积 $1\,852 \text{ km}^2$ 。全区地处四川盆地南缘,紧靠黔北大娄山北麓,海拔 $216 \sim 1\,720 \text{ m}$,地势起伏大,总体东南高、北西低。出露地层主要有侏罗系沙溪庙组(J_2sh)、遂宁组(J_3s)、蓬莱镇组(J_3p),白垩系嘉定组(K_1d),岩性均为河湖相沉积的红色、紫色泥岩、粉砂质页岩、钙质泥岩及砂岩,整体表现为不同地层砂、页岩不同比例组合。全区属亚热带湿润季风气候,湿润温和,年平均气温 18.1°C ,年均降雨量 $1\,195.7 \text{ mm}$ 。区内林地占国土面积78%,森林覆盖率高,生态环境良好;耕地占

[收稿日期]2020-03-20 **[修回日期]**2020-05-13

[基金项目]贵州省赤水市耕地质量地球化学调查评价(黔地研耕调2017-27);贵州省地矿局科研项目(黔地矿科合[2017]29号)、贵州省科技厅科技计划(黔科合支撑[2020]4Y034号)、科技计划项目(黔科合平台人才[2018]5626)贵州省地质调查院院士工作站联合资助。

[作者简介]田文明(1988—),男,大学本科,工程师,主要从事地质矿产勘查、地球化学研究工作。

[通讯作者]牟军(1977—),男,高级工程师,长期从事区域地质调查、区域矿产调查和矿产资源勘查研究工作。

12.4%,面积约23 000 hm²,人均不足0.073 hm²,耕地中又以水田为主,占耕地面积64%;园地占0.72%,面积为1 340 hm²。土壤类型有紫色土、黄壤、水稻土、黄棕壤及潮土;其中紫色土分布范围最广,占全市土壤总面积的60.61%;其次为水稻土及黄壤,分别占全市土壤面积27.78%和19.2%,黄棕壤及潮土零星分布。主要农业种植为水稻、红薯、蔬菜、水果(龙眼、柚子)及中药材等,竹笋制品及金钗石斛种植为赤水市重点发展的农业产业。

1.2 样品采集

研究区开展1:50000耕地质量地球化学调查,按《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T0295-2016)要求,表层土壤采样点按照1/9平方千米的网格化布设,采样对象主要为农用耕地和园地的表层土壤,全市范围内采集表层土壤样品2316件,采样密度为9.4件/km²,采样深度0~20 cm,采样质量1 000 g,每个样品由3~5个子样组成,采样注重样品的代表性、均匀性和控制性,避开人为污染及近期堆积土。土壤样品自然风干后,过10目尼龙筛,称取筛下部分200 g装入纸口袋送实验分析,副样(重量不低于300 g)装入干净塑料瓶送样品库保存。

农作物样品采集于农作物收获期,采样对象选择该市大宗粮食作物水稻、特色农产品竹笋、金钗石斛、龙眼等农作物,在其种植区地块内优选0.1~0.2 hm²范围布置采样点。视实地情况采用梅花点法或对角线法,采集10~20株代表性农作物的可食部分进行多点取样,等量混匀组成混合样品,样品重量为1 000 g,送交实验室进行处理分析。本次工作采集稻谷48件、竹笋21件、金钗石斛20件、龙眼20件,农作物样对应采集根系土壤样。

同时选择在赤水市两河口镇西部、宝源乡中部及大同镇南部土壤富硒区域内测制土壤垂向剖面5条。

1.3 样品测试

样品的分析测试由贵州省地矿局中心实验室

所承担,测试分析过程严格按照生态地球化学评价样品分析方法和技术要求进行,采用ICP-OES(电感耦合等离子体原子发射光谱法)测定Cu、Zn、Pb、Ni、Cr等元素含量,采用ICP-MS(电感耦合等离子体质谱法)测定Cd元素含量,采用AFS(原子荧光光谱法)分析As、Se、Hg元素,采用容量法分析有机质元素,采用pH计电极法测定pH值。农作物中Se及金属元素采用ICP-MS测定。

表层土壤以国家一级土壤标准物质(GBW系列)进行准确度、精密度监控。以49件(2%)重复样和114件(5%)重复分析来评定采样和分析误差,随机抽查异常点重复性检验监控分析质量;经检查,报出率、准确度、精密度及重复样测试合格率均为100%。农产品分析选取国家标准物质GSB7进行准确度、精密度监控,对于检测结果超过《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762-2012)中规定限量的部分样品,进行第三者复检;农作物样检测质量监控指标合格率均为100%。确保了数据分析质量和全国范围的可比性。

1.4 数据处理

主要采用Excel2007和SPSS处理统计地球化学参数(平均值、标准差、变异系数等),由MapGIS软件、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、绘制表层土壤全硒含量等级图、土壤酸碱度等级图等。

2 耕地土壤地球化学特征

2.1 耕地土壤酸碱性及环境质量

赤水市耕(园)地表层土壤pH值在3.74~8.73之间,平均值5.49,总体为酸性环境。其中,强碱性、碱性、中性、酸性、强酸性土壤分别占全区耕地总面积的3.43%、16.70%、9.44%、54.08%、16.35%,耕地表层土壤以酸性、强酸性为主,占全市耕地面积70.43%,碱性、强碱性土壤仅占全区的20.13%,耕(园)地酸性土壤占比较大,总体偏酸性(图1)。

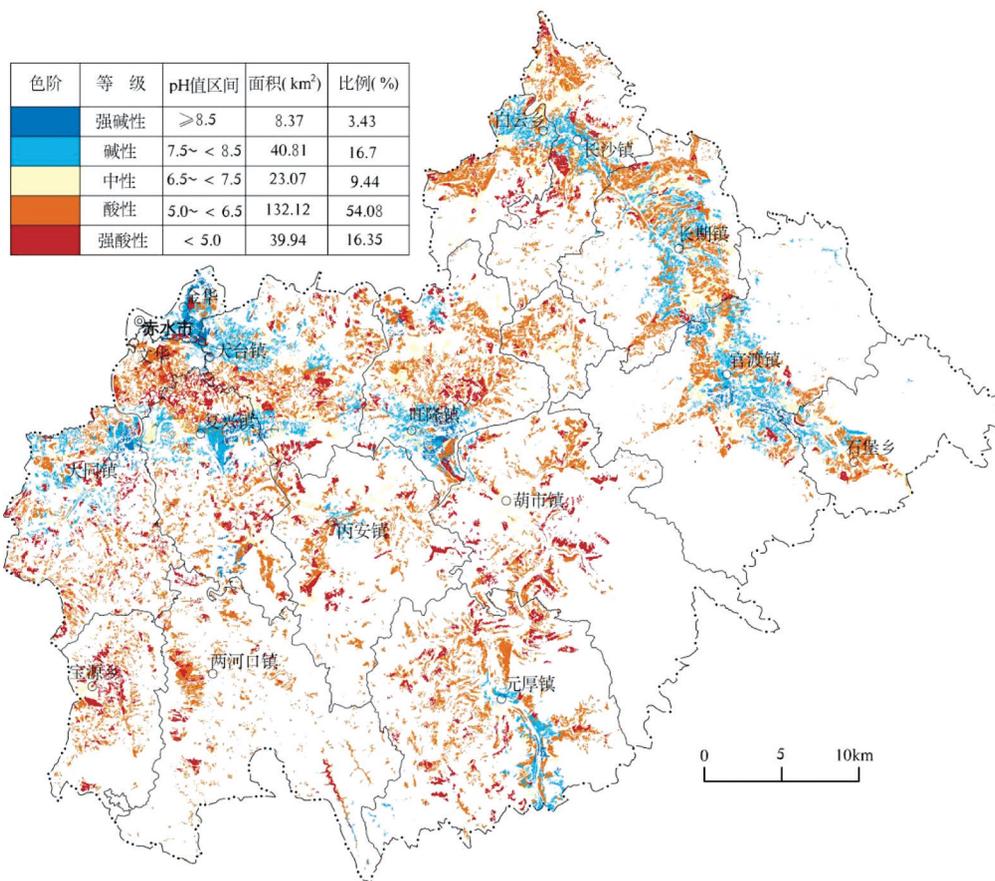


图1 赤水市耕地土壤酸碱性(pH值)分布图

Fig. 1 Distribution of soil acidity-alkalinity (pH value) in the cultivated land of Chishui

赤水市耕(园)地表层土壤环境重金属元素平均值均低于贵州省表生沉积物背景值(何邵麟,1998);Cd、Hg、Pb、Ni、Zn高于全国A层土壤均值,As、Cr、Cu明显低于全国A层土壤均值(表1)。据农用地土壤污染风险管控标准(GB15618-2018),区内环境元素最大值均未超

过污染风险管制值。综合评价结果可知,赤水市耕地土壤环境质量等级I类(优先保护类:风险无或可忽略)占全市耕地面积57.52%,II类(安全利用类:风险可控)占42.48%,无III类(严格管控类:风险较大)耕地,耕地土壤环境质量整体优良,清洁无污染。

表1 赤水市耕地表层土壤环境元素参数特征

Table 1 Characteristics of surface soil environmental element parameters of the cultivated land in Chishui

元素指标	最小值	最大值	中值	平均值	标准差	变异系数	剔除异常值(X±3S)		贵州表生沉积物背景值*	全国A层土壤均值**
							样本数	平均值		
Cd	0.05	0.76	0.29	0.30	0.11	0.38	2 305	0.29	0.313	0.09
Hg	0.02	1.04	0.08	0.09	0.05	0.58	2 262	0.09	0.103	0.04
As	0.27	45.60	5.12	5.49	2.73	0.50	2 240	5.19	14.89	10
Pb	13.40	82.60	28.20	28.00	5.70	0.20	2 302	27.90	29.39	23
Cr	22.60	102.00	59.80	59.50	13.90	0.23	2 315	59.40	79.42	65
Cu	8.04	69.80	18.90	19.81	5.97	0.30	2 294	19.58	29.43	24
Ni	8.35	56.20	25.65	26.53	8.40	0.32	2 315	26.51	32.84	26
Zn	27.60	238.00	74.40	74.40	19.60	0.26	2 312	74.20	89.94	68

注:原始样本数为2316,元素含量单位均为mg·kg⁻¹; *何邵麟,1998; **鄢明才,1997。

2.2 耕地土壤硒元素地球化学特征

对全市 2316 件土壤样品硒含量进行统计(表 2),耕(园)地土壤硒含量最大值为 $1.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最小值为 $0.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,剔除异常值($X \pm 3S$)后的算术平均值为 $0.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,中值为

0.38 ,众值为 0.3 ,标准差为 0.14 ,大部分样品硒含量介于 $0.3 \sim 0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间。评价区表层土壤硒含量平均值高于世界表层土壤平均值 $0.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Fordyce F M,2013)和全国土壤 A 层平均值 $0.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (刘铮,1996)。

表 2 赤水市耕地表层土壤硒元素地球化学参数特征

Table 2 Characteristics of surface soil selenium parameters of the cultivated land in Chishui

硒元素	样本数	$\omega(\text{Se})/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$					标准差	变异系数
		最小值	最大值	中值	众数	算术平均值		
原始样本	2316	0.033	1.18	0.39	0.3	0.43	0.17	0.39
剔除异常值($X \pm 3S$)	2255	0.033	0.84	0.38	0.3	0.41	0.14	0.35

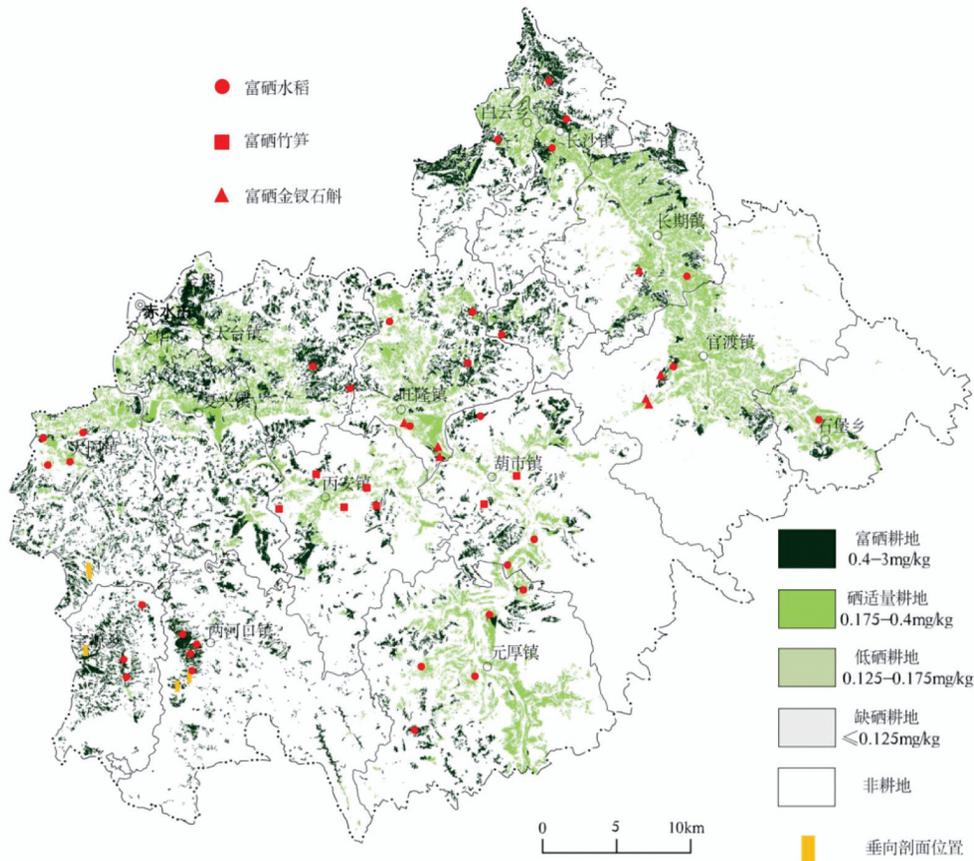


图 2 赤水市耕地土壤硒含量分级及富硒农产品分布图

Fig. 2 Classification of selenium and selenium-rich agricultural product distribution of cultivated land in Chishui

表 3 赤水市耕地土壤硒含量分级

Table 3 Classification of selenium cultivated land in Chishui

分级	总硒/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	面积/ km^2	比例/%
富硒	0.4-3	116.82	47.82
硒适量	0.175-0.4	126.44	51.75
低硒	0.125-0.175	0.56	0.23
缺硒	≤ 0.125	0.49	0.20

根据规范(DZ /T0295-2016)土壤硒含量分级标准,赤水市耕(园)地表层土壤硒地球化学等级如图 2、表 3。全区含硒量 $>0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 富硒耕(园)地土壤为 116.82 km^2 ,占全市耕(园)地面积 47.82%,较集中分布于赤水市西部宝源乡、两河口镇、大同镇及复兴镇南部,在金华街道、天台镇东部、旺隆镇东北、葫市镇北部及白云乡、长沙镇亦有

较大面积富硒耕(园)地分布;硒适量耕(园)地土壤面积占比 51.75%,较集中于赤水市中部、南部及东部乡镇;低硒和缺硒等级占比为 0.23%、0.20%,零星分布于赤水市西北、中南部及东部地区。

土壤垂向剖面分析结果表明,土壤硒元素含量垂向变化明显,随深度变深依次降低,表层土壤(淋溶层)硒含量最高,母质层硒含量最低,硒元素的表生富集明显(图 3、表 4)。可能与硒元素的生物地球化学作用相关,生物生长活动对硒元素的吸附致使硒元素在表层富集。

3 土壤硒元素含量影响因素分析

土壤硒含量与表生环境中硒的迁移循环过程有关(宋明义,2011);土壤中硒的净积累受大气沉降、灌溉水、施肥(化学肥料、农用石灰等)及硒的挥发影响(孙国新等,2017);大量研究表明成土母质(地质背景)对土壤硒含量起决定作用(宋明义等,

2011;黄春雷等,2013;曾庆良等,2018)。本次研究探讨了不同成土母质、土壤类型及土壤有机质含量、pH 值等因素对赤水市土壤硒含量的影响。

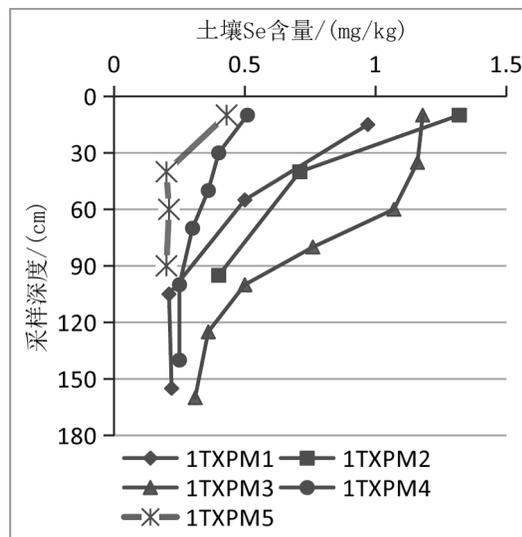


图 3 土壤硒含量垂向变化

Fig. 3 Vertical change of selenium in the soil

表 4 垂向剖面不同土层及对应成土母岩硒含量特征

Table 4 Characteristics of selenium in different soil layer and its correspond soil forming rock in the vertical section

土壤剖面	$\omega(\text{Se})/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$					平均值/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
	1TXPM1	1TXPM2	1TXPM3	1TXPM4	1TXPM5	
淋溶层	0.97	1.32	1.14	0.42	0.43	0.86
淀积层	0.355	0.71	0.54	0.28	0.21	0.42
母质层	0.22	0.40	0.31	0.25	0.2	0.28
成土母岩	0.069*	0.13**	0.068*	0.073*	0.047***	0.077

注: * Kjd(砂岩) ** Kjd(粘土岩) *** J3s(钙质粘土岩)

3.1 成土母质

据不同地层区土壤硒含量进行统计,不同地层分布区存在一定差异(图 4),其中白垩系嘉定组(K₂d)地层区表层土壤硒含量最高,平均为 0.49 mg · kg⁻¹,最低为蓬莱镇组(J₃p)地层分布区,为 0.37 mg · kg⁻¹。

在赤水市西部两河口、宝源富硒区采集的表层土壤样与在同一点位对应采集的成土母岩进行对比分析,两者具有明显正相关性(R=0.54, P<0.05, n=16),成土母岩硒含量多少影响表层土壤硒含量高低。

3.2 土壤类型

根据土壤类型分类统计显示,赤水市不同土壤类型硒含量略有差异(表 5),可能与不同土壤中粘

粒含量及理化性质差异有关。土壤硒含量依次为黄壤>黄棕壤>水稻土>紫色土,其中黄壤硒含量最高,平均值为 0.49 mg · kg⁻¹,紫色土硒含量最低,平均值为 0.39 mg · kg⁻¹。

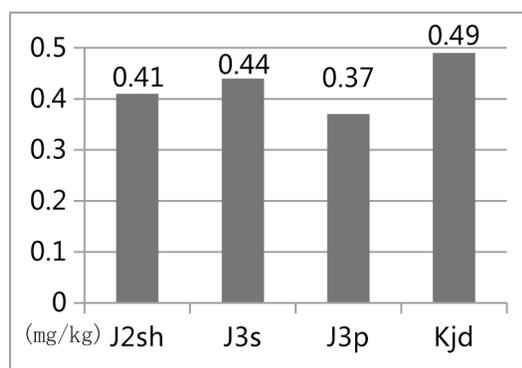


图 4 不同地层区表层土壤 Se 含量

Fig. 4 Se content in the surface soil of different layers

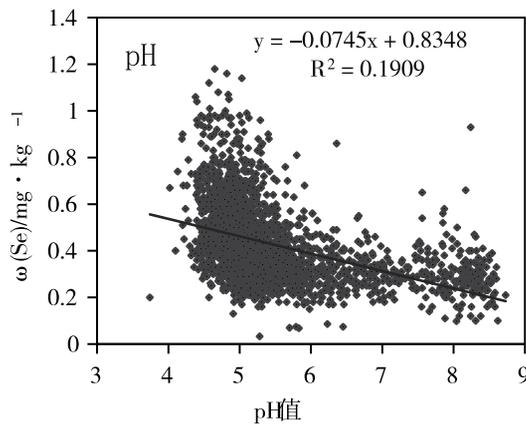
表5 不同土壤类型硒含量特征

Table 5 Characteristics of selenium of different soil

土壤类型	样本数/件	统计样本数/件	$\omega(\text{Se})/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$			标准离差	变异系数	全区平均值
			最小值	最大值	均值			
紫色土	1 473	1 439	0.03	0.8	0.39	0.137	0.35	0.41
水稻土	639	630	0.15	0.88	0.44	0.147	0.33	
黄壤	163	163	0.18	1.08	0.49	0.207	0.42	
黄棕壤	41	41	0.22	0.9	0.47	0.173	0.37	

3.3 硒与 pH 值、有机质相关性分析

对测试结果统计分析显示,土壤 Se 含量与



pH 值呈明显负相关关系 ($R = -0.44, P < 0.01$), 与有机质含量表现为显著的正相关性 ($R = 0.71, P < 0.01$) (图5)。

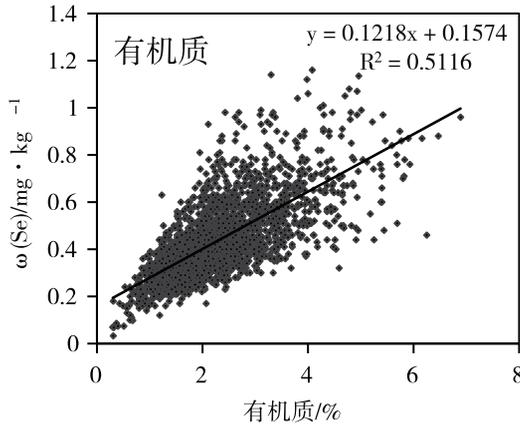


图5 赤水市耕地土壤 Se 含量与 pH、有机质相关关系

Fig. 5 Relation of selenium, pH and organic matter of cultivated land in Chishui

土壤酸碱度 (pH 值) 被认为是影响土壤硒含量的重要因素之一,通过控制土壤硒元素的活性和迁移性,进而影响土壤硒含量。这是由于在一定范围内,随着 pH 值增加, SeO_2^{-3} 转化为 SeO_2^{-4} 后溶解度增大,易流失;同时土壤 Se 的甲基化也开始加强,甲基化使土壤中的 Se 转移和挥发的可能性增加(王莹,2008),而在酸性环境中硒的甲基化弱,使土壤中硒能够稳定存在,从而使土壤硒相对富集。赤水市耕地土壤整体呈酸性,更利于硒元素在表土中的富集。

土壤有机质增加,能改善土壤结构,促进团粒结构的形成,增加黏结力,加大对硒的吸附与固定作用,同时微生物的还原作用促使大部分亚硒酸

盐被地表土固定,硒优先进入低分子量的腐殖质组分中,与金属腐殖质复合体一起呈现出无机复合状态,因此有机质对土壤中硒起吸附和固定作用,从而使硒富集在土壤中(曾庆良等,2018)。

4 硒的生态效应

通过农作物的采样、测试分析表明,区内能产出天然富硒稻谷、富硒竹笋及富硒金钗石斛(图2、表6)。采集的稻谷样中硒平均含量为 $0.054 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,含量范围在 $0.017 \sim 0.202 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,稻谷硒含量达到富硒标准的有 33 件,富硒率 68.75%,富硒稻谷硒平均含量为 $0.066 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

表6 赤水市富硒农产品标准及富硒率

Table 6 Criterion and selenium-rich rate of selenium-rich agricultural product in Chishui

农作物	标准 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	样本数 (件)	富硒样本数 (件)	富硒样本平均硒含量 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	富硒率 (%)
稻谷	0.04-0.30*	48	33	0.066	68.75
竹笋	0.02-0.10**	21	7	0.030	33.33
金钗石斛	0.02-0.30**	20	7	0.039	35
龙眼	0.01-0.50**	20	0	-	-

注: *《富硒稻谷》(GB/T22499-2008)国家标准; **《富硒农产品》(DB50/T705-2015)重庆地方标准

富硒稻谷中有9件重金属镉元素超标(标准:GB2762-2017),主要分布于赤水市东部及南部,其中有3件水稻样镉含量大于3倍限量值(位于东北部长沙镇)应引起重视。竹笋样硒元素含量范围 $0.009 \sim 0.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均含量 $0.019 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,达到富硒标准的有7件样品,富硒率33.33%。金钗石斛中硒平均含量 $0.021 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,含量范围 $0.008 \sim 0.052 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,作为代用茶使用有7件达到富硒标准,富硒率35%。龙眼有1件硒含量为 $0.008 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其余19件样品硒含量小于 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

通过对不同类型农产品硒含量特征和硒富集系数的统计显示(表7),区内稻谷硒含量及硒富集系数均为最高,其次为金钗石斛,竹笋较低,龙眼最低。综合富硒作物分布特征、农作物安全性、土壤硒含量分布特征及土地开发利用现状,认为在赤水市西部宝源、大同、两河口三镇富硒土壤集中且产清洁富硒稻谷,适宜大面积的开发富硒稻谷产业;富硒竹笋可集中在中西部地区发展;旺隆镇、官渡镇金钗石斛产业园产富硒石斛,可进一步开发以提升相应作物的品牌价值和经济效益。

表7 不同农产品硒含量及硒生物富集系数

Table 7 Selenium content and selenium biological concentration factor of different agricultural product

农产品种类	样本数 (件)	农作物硒($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		根系土壤硒($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		富集系数(%)	
		含量范围	平均值	含量范围	平均值	范围	均值
稻谷	48	0.017-0.202	0.054	0.19-0.76	0.444	4.65-29.71	12.16
竹笋	21	0.009-0.060	0.019	0.40-1.46	0.852	1.10-9.38	2.23
金钗石斛	20	0.008-0.052	0.021	0.13-0.77*	0.364*	1.79-29.35	5.77
龙眼	20	<0.005-0.008	-	0.18-0.55	0.359	-	-

注:*金钗石斛生长环境特殊,均种植或生长于砂岩石之上,对应根系土指岩石原地半风化松散产物。

5 结论

(1)赤水市耕(园)地土壤总体以酸性为主,土壤重金属含量较低,无超污染风险管制值现象,土壤环境质量优良。

(2)赤水市富硒土壤资源丰富,耕(园)地表层土壤硒平均含量 $0.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,富硒耕(园)地面积占全市耕(园)地面积47.82%。土壤垂向剖面统计分析显示,硒元素表生富集明显。

(2)不同成土母岩、土壤类型、土壤pH值及有机质含量是影响赤水市土壤硒含量的重要因素。土壤硒含量与pH呈负相关关系,土壤酸化有利于Se元素在土壤中富集;与有机质呈明显正相关关系。

(4)赤水市能产出天然富硒稻谷、竹笋、金钗石斛,在不同类型农作物中水稻稻谷硒含量及富集系数最高,其次为金钗石斛,竹笋较低。区内可分区开发不同富硒农产品,有利于提升农产品品牌价值和经济效益。但个别农产品有重金属镉元素超标情况,应引起重视,注意监测。

(5)赤水市森林覆盖率大,耕地稀少,生态环境优越,耕地土壤环境质量优良且大面积天然富

硒,富硒农产品丰富,具有良好的开发前景和经济意义;建议地方政府及有关部门重视和利用好本市的富硒土壤资源,做到科学规划、合理利用。

[参考文献]

- 鲍鹏,李国祥. 2017. 硒抗肿瘤机理研究进展和展望[J]. 生物技术进展,7(5):506-510.
- 陈亮,李桃. 2004. 元素硒与人体健康[J]. 微量元素与健康研究,21(3):58.
- 何邵麟. 1998. 贵州表生沉积物地球化学背景特征[J]. 贵州地质,15(2):149-156.
- 黄春雷,宋明义,魏迎春. 2013. 浙中典型富硒土壤区土壤硒含量的影响因素探讨[J]. 环境科学,34(11):4405-4410.
- 贾宏昉,宋家永,王海红,等. 2006. 硒对作物生理、生长发育及产量、品质的影响研究进展[J]. 河南农业大学学报,40(4):449-456.
- 郦逸根,董岩翔,郑洁,等. 2005. 浙江富硒土壤资源调查与评价[J]. 第四纪研究,25(3):323-330.
- 廖鑫凤. 2002. 土壤环境中的硒对人和动物健康的影响[J]. 广东微量元素科学,9(3):20-23.
- 刘铮. 1996. 中国土壤微量元素[M]. 南京:江苏科学技术出版社.
- 罗程,陈梁凯,王晓倩,等. 2017. 硒与疾病的流行病学研究及展望[J]. 生物技术进展,7(5):493-500.
- 宋明义,蔡子华,胡艳华,等. 2011. 杭嘉湖平原区富硒土壤特征与成因分析[J]. 广东微量元素科学,18(8):20-26.
- 孙国新,李媛,李刚,等. 2017. 我国土壤低硒带的气候成因研究

[J]. 生物技术进展,7(5):387-394.
 谭见安,朱文郁. 1991. 克山病与环境硒等生命元素的关系[J]. 中国地方病学杂志,10(5):269-274.
 王莹. 2008. 硒的土壤地球化学特征[J]. 现代农业科技,(17): 233-236.
 鄢明才,顾铁新,迟清华,等. 1997. 中国土壤地球化学元素丰度与表生地球化学特征[J]. 物探与化探,21(3):161-167.
 曾庆良,余涛,王锐. 2018. 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,32(1):105-112.
 Fordyce F M. 2013. Selenium deficiency and toxicity in the environment[G]//Selinus O. Essentials of Medical Geology: Revised Edition, Elsevier.

Geochemical Characteristics of Selenium-rich Soil in Chishui City, Guizhou Province

TIAN Wen-ming^{1,2}, MOU Jun¹, TANG Ting-ting¹, TANG Zuo-qi¹,
 WANG An-hua¹, ZHANG Xi-run¹

(1. Guizhou Geological Survey, Guiyang 550081, Guizhou, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China)

[**Abstract**] Soil environment quality, soil selenium content distribution characteristics, influencing factors and ecological effects of selenium in cultivated land in Chishui county were studied by means of 1:50000 geochemical investigation and evaluation of cultivated land quality. The results showed that the soils in the cultivated area were mainly acidic, no heavy metal contamination, and the soil environment quality was excellent. The average surface soil selenium content of cultivated land is 0.41 mg · kg⁻¹. The cultivated land area rich in selenium and the cultivated land area with proper amount of selenium account for 47.82% and 51.75% of the cultivated land area of the county. It is found that soil parent material, soil type, soil pH value and organic matter content are important factors affecting soil selenium content. Natural selenium-rich rice, bamboo shoots, dendrobium and other crops were produced in the area, but a few crops exceeded the standard of cadmium. The soil environment quality of cultivated land in Chishushui county is good, and the soil resources rich in selenium are distributed in a large area. The development of selenium-rich soil and agricultural products has advantages and potential, but the trend of soil acidification and the phenomenon of excessive heavy metals in some agricultural products should be paid attention to.

[**Key Words**] Selenium-rich; Cultivated soil; Influencing factors; Ecological effect; Chishui, Guizhou