

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.04.008

引用格式:朱鑫,汪实,陈恩. 雷州半岛土壤地球化学基准值研究[J]. 华东地质, 2021, 42(4): 429-437.

雷州半岛土壤地球化学基准值研究

朱 鑫,汪 实,陈 恩

(广东省地质调查院,广东 广州 510080)

摘要: 基于珠江下游基本农田土地质量地球化学调查数据,对雷州半岛 872 件深层土壤样中的 54 项元素或指标含量进行分析,并与地壳、中国土壤 C 层元素和广东省土壤 C 层元素含量(12 项指标)进行对比,讨论了不同成土母质类型的土壤地球化学基准值特征。雷州半岛深层土壤元素变异性较大,元素地球化学基准值整体不高,不同成土母质类型的土壤地球化学基准值差异明显。深层土壤元素继承了成土母质的地球化学特征,体现了区域地质背景与成土母质类型的多样性,以火山岩类风化物为成土母质的深层土壤富集铁族元素、分散元素,花岗岩类风化物富集造岩元素、钨钼族元素、放射性元素和稀有稀土元素。

关键词: 雷州半岛;深层土壤;地球化学调查;元素地球化学基准值

中图分类号: P595

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2021)04-429-09

21 世纪是区域地球化学全面发展的时代^[1]。1:25 万土地质量地球化学调查是一项基础性、公益性、战略性的地质调查研究工作,一批科技成果迅速转化为生产要素,土地质量地球化学调查将应用实际与全球科技发展紧密联系在一起^[2-3]。合理开发利用有限的土地资源,发挥土地的最大生产潜力,对社会经济高质量发展具有重要意义^[4-5]。中国地质调查局通过组织实施 1:25 万土地质量地球化学调查,取得了较好的社会效益与经济效益^[6-8]。土地质量地球化学调查成果可助力自然资源管理、矿产资源勘查、水土污染防治,促进农业种植结构调整和区划,对于实施健康中国和乡村振兴战略、保障社会经济高质量发展均具有深远的战略意义^[9-13]。土壤地球化学基准值未受人类活动影响,是反映土壤原始沉积环境的地球化学元素指标^[14-15],研究土壤地球化学基准值,对编制土壤环境地方标准,研究农业生产布局,助力地质矿产勘查,服务区域经济社会高质量发展具有长远的研究意义^[16-18]。

本文利用珠江下游基本农田土地质量地球化学调查数据开展土壤地球化学基准值研究,为制定土壤环境背景值标准、评价和识别土壤污染程度,

开展基础地质、农业、生态环境及地方病防治等多学科研究提供基础地球化学依据。

1 研究区概况

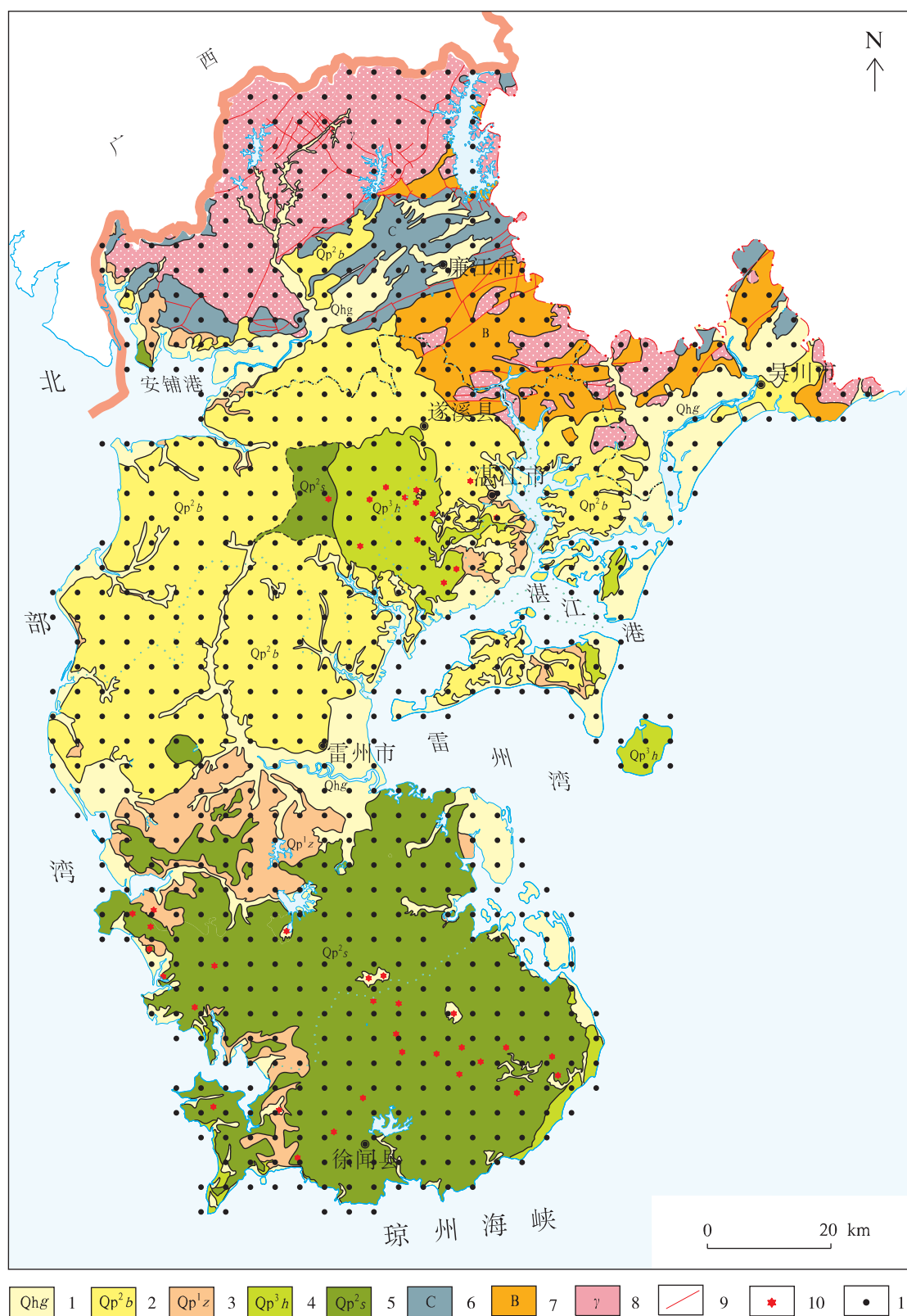
雷州半岛位于中国大陆最南端,地处粤桂琼三省交汇处,南濒南海隔琼州海峡与海南省相望,西临北部湾,背靠大西南,东与茂名市相连,地理坐标为:20°12'~21°55' N, 109°39'~110°57' E。该区较大的江河主要有鉴江、九洲江和南渡河等,流域面积为 100 km² 以上的干支流共 40 条。研究区在大地构造上属华南褶皱系,陆地大部分由半岛和岛屿组成。

区内地层较发育(图 1),第四系分布面积最广,主要发育桂洲组、北海组及湛江组,集中分布于雷州半岛中部,其他地层出露面积较少,主要分布在廉江市、吴川市北部一带,岩性以碎屑岩为主。区内岩浆岩分布较广泛,岩浆活动较频繁,花岗岩和火山岩均有出露。花岗岩分布在雷州半岛北部廉江市、遂溪县一带,岩性以二长花岗岩为主。火山岩分布于雷州半岛南部徐闻—雷州、遂溪县南西侧一带,主要发育石卯岭组和湖光岩组。石卯岭组主

* 收稿日期:2021-07-20 修订日期:2021-10-10 责任编辑:谭桂丽

基金项目: 中国地质调查局“粤桂湘鄂 1:25 万土地质量地球化学调查”二级项目“珠江下游基本农田土地质量地球化学调查(编号:DD20160327-04)”子项目资助。

第一作者简介: 朱鑫,1983 年生,男,高级工程师,大学本科,主要从事地球化学勘查、农业地质调查与研究工作。Email:16576148@qq.com。



1. 桂洲组; 2. 北海组; 3. 湛江组; 4. 湖光岩组; 5. 石卯岭组; 6. 沉积岩; 7. 变质岩; 8. 花岗岩; 9. 断层; 10. 火山口; 11. 土壤样点位

图1 雷州半岛地质及土壤样点位图^[19]

Fig. 1 Geology and soil sample locations of Leizhou Peninsula^[19]

要岩性为深灰色-土黄色玄武质凝灰岩、集块岩与玄武岩;湖光岩组为基性火山岩,主要由玄武岩、玄武质火山角砾岩、玄武质凝灰岩组成多个火山喷发旋回或韵律。区内出露的变质岩主要为云开岩群,岩性组合为一套类复理石变质岩类夹变质火山岩、磷矿层等,主要分布于遂溪县东北部一带。

雷州半岛属于热带和亚热带季风气候,土地利用类型以耕地、林地和水域为主,地势平坦、气候湿润,是中国菠萝、香蕉、甘蔗等农产品重要产地。

2 研究方法

2.1 样品采集方法

采用1:25万土地质量地球化学调查中深层土壤作为土壤地球化学基准值研究的样品。参照《DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范1:250 000》^[20]和《DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范》^[21]要求,按照双层网格化法系统采集研究区深层土壤样品,采样密度为1个点/4 km²,每16 km²组合成1件分析样。深层土壤样品采样深度为150~200 cm,连续采集50 cm的土柱,筛取<20目的细粒级物质。样品布设时按照代表性、均匀性和合理性原则,避开基岩风化层和人为污染、近期搬运的堆积土。共完成1:25万土地质量地球化学调查面积12 490 km²,获取了深层组合分析样共872件。

2.2 样品处理与测试

土壤样品经过自然干燥,过20目尼龙筛后提取500 g分析样。土壤样品主要测定Ag、As、Au、B、Ba、Be、Bi、Br、Cd、Ce、Cl、Co、Cr、Cu、F、Ga、Ge、Hg、I、La、Li、Mn、Mo、N、Nb、Ni、P、Pb、Rb、S、Sb、Sc、Se、Sn、Sr、Th、Ti、Tl、U、V、W、Y、Zn、Zr、SiO₂、Al₂O₃、TF₂O₃、MgO、CaO、Na₂O、K₂O、TC(总碳)、Corg(有机碳)、pH值共54项元素或指标。样品分析测试在广东省地质实验测试中心完成。样品测试过程采取严格的外部 and 内部质量控制,利用国家土壤一级标准物质准确度和精密度进行监控,各元素或指标合格率100%。实验室异常点抽查和内部检查的合格率>90%,密码样抽查检查合格率>90%。

2.3 数据处理与综合研究

2.3.1 土壤地球化学基准值确定方法

参照《GB/T 4882—2001 数据的统计处理和解释 正态性检验》^[22],对深层土壤测试数据频率分布形态

开展正态检验。采用偏度峰度联合检验法判断数据频率分布形态。如果统计数据服从正态分布,用算术平均值($\bar{X}$)代表地球化学基准值;如果统计数据服从对数正态分布时,用几何平均值($\bar{X}_g$)代表地球化学基准值。统计数据经反复剔除后仍不服从正态分布或对数正态分布,当呈现偏态分布时,以剔除后的中位数代表土壤地球化学基准值。在进行酸碱度参数统计时,将土壤pH值换算成 $[H^+]$ 浓度进行统计计算,再换算成酸碱度进行统计。

2.3.2 土壤元素富集与贫化判定标准

判断土壤元素的富集特点时,参照地壳丰度、中国土壤C层^[23]、广东土壤C层^[23]为评价标准,分析研究区深层土壤的富集与贫化特点。土壤元素的富集与贫化是一个相对概念,利用评价的土壤元素含量与评价标准的比值(K)来体现,以比值 ≤ 0.6 、 $0.6 \sim 0.8$ 、 $0.8 \sim 1.2$ 、 $1.2 \sim 1.4$ 、 ≥ 1.4 为标准,将研究区土壤元素相对一定评价标准的富集贫化程度划分为强度贫化、中弱贫化、相当、中弱富集和强度富集。元素的富集或贫化程度与评价标准相关,以地壳元素含量为评价标准,分析区域土壤相对地壳土壤的富集与贫化特点。以研究区土壤地球化学基准值为评价标准,分析不同成土母质统计单元土壤元素地球化学基准值相对于区域土壤的富集或贫化特点。

2.3.3 变异系数确定方法

变异系数(C_v)是反映元素分布均匀程度的重要参数。本文采用如下经验值判别,即 $C_v < 0.25$ 时为弱变异,元素均匀分布;当 $0.25 \leq C_v < 0.5$ 时为中等程度变异,元素分布较均匀;当 $0.5 \leq C_v < 0.75$ 时为强度变异,元素分布较不均匀;当 $0.75 \leq C_v < 1$ 时为高度变异,元素分布不均匀;当 $C_v \geq 1$ 时为极度变异,元素分布极不均匀。

3 研究区土壤地球化学基准值

《DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范1:250 000》^[20]规定,土壤地球化学基准值是土壤地球化学本底的量值,反映在一定范围内深层土壤地球化学特征。

3.1 深层土壤地球化学特征

研究区深层土壤地球化学元素或指标特征统计结果见表1。深层土壤数据频率分布形态大多数元素为偏态,表明区内地质运动频繁,偏态数据为多次地质运动的叠加结果。

表 1 雷州半岛土壤地球化学基准值统计结果

Table 1 Statistics of soil geochemical reference values in Leizhou Peninsula

指标	样本数/件	算数平均值	算数标准偏差	变异系数	中位数	几何平均值	几何标准偏差	含量	分布形态	基准值	地壳平均含量
Ag	808	0.044	0.010	0.300	0.043	0.042	1.370	0.011~0.084	偏态	0.043	0.080
As	836	3.620	2.260	0.630	3.130	2.850	2.140	0.190~10.400	偏态	3.130	2.200
Au	842	0.820	0.240	0.290	0.800	0.790	1.360	0.210~1.490	偏态	0.800	4.000
B	854	46.300	26.940	0.580	46.800	36.400	2.190	1.400~124.000	偏态	46.800	13.000
Ba	852	144.000	104.400	0.730	115.000	106.000	2.340	2.000~456.000	偏态	115.000	390.000
Be	860	1.290	0.690	0.530	1.230	1.110	1.790	0.160~3.340	偏态	1.230	1.300
Bi	835	0.360	0.220	0.610	0.300	0.280	2.130	0.010~1.000	偏态	0.300	0.004
Br	807	3.300	1.680	0.510	2.900	2.800	1.730	0.700~8.300	偏态	2.900	4.400
Cd	833	0.041	0.020	0.480	0.037	0.037	1.590	0.020~0.100	偏态	0.037	0.200
Ce	837	60.200	24.260	0.400	57.300	55.200	1.540	9.800~133.000	偏态	57.300	43.000
Cl	710	60.600	26.540	0.440	53.600	55.500	1.510	21.200~140.000	偏态	53.600	280.000
Co	838	16.800	23.040	1.370	4.000	6.400	4.080	0.200~85.800	偏态	4.000	25.000
Cr	869	110.700	111.100	1.000	57.400	64.000	3.040	1.300~417.000	对数正态	64.500	110.000
Cu	871	32.500	36.730	1.130	13.000	16.900	3.230	0.500~140.000	对数正态	16.900	63.000
F	824	227.000	88.530	0.390	210.000	210.000	1.490	56.000~492.000	偏态	210.000	450.000
Ga	872	18.400	9.890	0.540	16.700	15.500	1.870	2.600~47.900	偏态	16.700	18.000
Ge	867	1.450	0.250	0.180	1.450	1.420	1.210	0.310~2.200	正态	1.450	1.400
Hg	843	0.049	0.030	0.560	0.046	0.040	2.160	0.002~0.130	偏态	0.046	0.089
I	776	3.850	3.120	0.810	3.100	2.460	3.080	0.050~13.100	偏态	3.100	0.600
La	820	25.540	10.990	0.430	23.500	23.110	1.600	2.290~58.4000	偏态	23.500	39.000
Li	786	19.000	6.970	0.370	18.000	17.800	1.460	4.200~39.500	偏态	18.000	21.000
Mn	721	184.000	225.470	1.230	79.000	99.000	2.960	6.000~911.000	偏态	79.000	1300.000
Mo	846	1.230	0.750	0.610	1.050	0.990	2.080	0.060~3.470	偏态	1.050	1.300
N	848	307.000	157.340	0.510	274.000	266.000	1.750	34.000~767.000	偏态	274.000	18.000
Nb	856	23.500	12.240	0.520	20.000	20.500	1.750	0.200~60.200	偏态	20.000	19.000
Ni	871	63.730	80.790	1.270	16.700	25.700	3.990	1.040~293.000	偏态	16.700	89.000
P	797	279.000	152.700	0.550	226.000	243.000	1.670	74.000~736.000	偏态	226.000	1200.000
Pb	815	20.000	9.980	0.500	17.000	17.800	1.640	2.800~49.900	对数正态	17.800	12.000
Rb	790	30.400	23.880	0.780	21.300	22.500	2.240	1.500~102.000	对数正态	26.700	78.000
S	623	235.000	113.740	0.480	203.000	210.000	1.610	66.000~570.000	对数正态	210.000	400.000
Sb	844	0.350	0.160	0.440	0.350	0.310	1.720	0.040~0.820	偏态	0.350	0.600
Sc	870	13.300	10.070	0.750	8.800	10.100	2.150	0.300~43.300	对数正态	10.100	18.000
Se	834	0.390	0.240	0.620	0.340	0.310	2.120	0.020~1.110	偏态	0.340	0.080
Sn	850	3.590	1.360	0.380	3.380	3.310	1.520	0.450~7.660	偏态	3.380	1.700
Sr	784	26.500	12.750	0.480	22.700	23.900	1.560	11.200~64.600	偏态	22.700	480.000
Th	833	12.300	5.950	0.480	11.100	10.800	1.740	0.700~30.000	偏态	11.100	5.800
Ti	864	0.738	0.580	0.790	0.490	0.540	2.280	0.025~2.470	偏态	0.490	0.640
Tl	840	0.230	0.120	0.500	0.210	0.200	1.810	0.010~0.580	偏态	0.210	0.480
U	807	2.300	0.950	0.410	2.120	2.090	1.580	0.240~5.030	偏态	2.120	1.700
V	870	104.400	82.010	0.790	73.200	76.500	2.260	7.900~343.000	对数正态	76.740	140.000
W	826	1.820	0.900	0.490	1.620	1.580	1.800	0.080~4.480	偏态	1.620	1.100
Y	854	23.200	6.600	0.280	22.900	22.100	1.400	3.100~42.700	偏态	22.900	24.000
Zn	870	51.800	39.490	0.760	35.400	38.000	2.270	2.500~168.000	对数正态	38.200	94.000
Zr	854	304.000	93.660	0.310	294.000	287.000	1.430	49.000~574.000	正态	304.000	130.000
SiO ₂	872	66.380	13.960	0.210	67.780	64.830	1.250	35.780~98.960	正态	66.380	62.140
Al ₂ O ₃	872	15.650	6.570	0.420	15.690	13.540	1.910	0.610~30.790	正态	15.650	15.680
TFe ₂ O ₃	870	6.240	6.080	0.970	3.290	3.870	2.750	0.180~23.540	对数正态	3.890	8.290
MgO	790	0.330	0.170	0.500	0.290	0.300	1.630	0.030~0.830	对数正态	0.300	4.670
CaO	725	0.120	0.060	0.460	0.110	0.110	1.530	0.050~0.290	偏态	0.110	7.280
Na ₂ O	725	0.090	0.040	0.470	0.080	0.080	1.610	0.010~0.220	偏态	0.080	2.950
K ₂ O	846	0.720	0.600	0.840	0.470	0.520	2.250	0.050~2.480	对数正态	0.520	2.050
TC	787	0.380	0.210	0.550	0.340	0.320	1.810	0.040~1.000	偏态	0.340	0.280
Corg	786	0.350	0.210	0.590	0.310	0.280	2.100	0.020~0.960	偏态	0.310	—
pH 值	736	5.020	0.800	0.160	5.140	5.000	1.170	4.440~9.890	偏态	5.140	10.000

注: Au 单位为 10^{-9} , 氧化物、TC、Corg 单位为 %, pH 值无量纲, 其余元素单位均为 10^{-6} 。样本数为剔除后的样数, “—”表示无数据。

研究区属弱变异型元素或指标为 Ge、SiO₂, 其含量变化较小, 空间分布较均匀。属于中等程度变异的元素或指标包括 Al₂O₃、CaO、Na₂O、Ce、La、Li、Y、Zr、U、Th、W、Sn、Au、Ag、Sb、Sr、Cd、Cl、F、S, 其含量变化不大。强变异型元素或指标包括 MgO、SiO₂、Be、Nb、Mo、Bi、As、Pb、Hg、Se、Ga、Ba、Tl、Br、B、N、P, 其含量变化较大, 空间分布不均匀, 绝大部分元素或指标高含量区主要分布在花岗岩出露区。高度变异元素或指标包括 K₂O、TF_{e2}O₃、V、Rb、Sc、Ti、Zn、I, 其分异程度高, 在研究区分布极不均匀, TF_{e2}O₃、V、Sc、Ti、Zn、I 高含量区主要分布在火山岩区, Rb、K₂O 高含量区主要分布在花岗岩区。极度变异元素包括 Co、Mn、Ni、Cr、Cu, 该组元素在不同地质背景含量差异明显, 高含量区主要集中在火山岩区。综上, 深层土壤元素地球化学迁移和转化过程受多重母体控制, 体现了区域地质背景与成土母质类型的多样性, 同时成矿元素多为强度变异, 体现局部地区矿化作用强烈。

3.2 深层土壤元素富集与贫乏特征

研究区深层土壤元素富集与贫乏组合特征列于表 2。

(1) 对比地壳丰度, 研究区贫乏元素或指标共 29 项, 相对富集的元素或指标共 13 项, 与地壳丰度接近的元素或指标共 9 项。贫乏元素或指标主要是铁族元素、亲铜元素、造岩矿物元素, 主要包括 K₂O、

MgO、Na₂O、CaO、Cr、Ni、Co、TF_{e2}O₃、Mn、V、La、Sc、Rb、Sb、Cu、Au、Ag、Zn、Hg、Sr、Ba、Tl、Cd、S、F、P、Cl。富集元素或指标包括 Zr、Th、Bi、W、Sn、As、Pb、Se、N、B、I, 其中 N、I、Se 富集系数分别高达 15.2、5.2、4.3。与地壳丰度较接近的元素或指标包括 SiO₂、Al₂O₃、Nb、Be、Li、Y、Mo、Ge、Ga、TC。

(2) 与中国土壤 C 层元素含量(12 项指标)相比, 有益元素 Se 达到富集, 其富集系数为 1.38; 相对贫乏的元素包括 Pb、Ni、Cu、Zn、Cd、F、Co、As、Mn, 其富集系数分布在 0.1~0.7; 与中国土壤 C 层含量相当的元素包括 V、Cr、Hg, 其富集系数分布在 0.9~1.1。

(3) 与广东土壤 C 层元素含量(12 项指标)相比, 无相对富集元素; 相对贫乏的元素包括 Mn、As、F、Co、Pb、Cu, 其富集系数为 0.2~0.7; 与广东土壤 C 层含量相当的元素包括 Ni、Hg、Se、Cd、Cr、V, 其富集系数为 0.9~1.1。

研究区深层土壤 pH 值为 4.44~9.89, 大多数样品 pH 值为 4.5~6.0。其中, 极强酸性土壤(pH 值<4.5)占总样数 19%; 强酸性土壤(pH 值 4.5~5.5)占总样数 53%; 酸性土壤(pH 值 5.5~6.5)占总样数 16%; 中性土壤(pH 值 6.5~7.5)占总样数 6%; 碱性土壤(pH 值 7.5~8.5)占总样数 3%; 强碱性以上土壤(pH 值>8.5)占总样数 3%。总体来说, 研究区深层土壤呈酸性、强酸性和极强酸状态。

表 2 雷州半岛深层土壤元素富集与贫乏组合特征结果

Table 2 Element enrichment and depletion characteristics of deep soil in Leizhou Peninsula

指标	强度富集(11) 1.4≤K	富集(2) 1.2<K<1.4	相当(9) 0.8≤K≤1.2	中弱贫乏(2) 0.6<K<0.8	强度贫乏(27) K≤0.6
造岩元素			SiO ₂ 、Al ₂ O ₃		K ₂ O、MgO、Na ₂ O、CaO
铁族元素				Ti	Cr、Ni、Co、TF _{e2} O ₃ 、Mn、V
稀有稀土元素	Zr	Ce	Nb、Be、Li、Y		La、Sc、Rb
放射性元素	Th	U			
钨钼族元素	Sn、W、Bi		Mo		
亲铜成矿元素	As、Pb				Sb、Cu、Au、Ag、Zn、Hg
分散元素	Se		Ge、Ga		Sr、Ba、Tl、Cd
矿化剂及卤族元素	N、B、I			Br	S、F、P、Cl

注: K 为深层土壤元素基准值与地壳丰度比值。

4 不同成土母质土壤地球化学基准值

按不同成因类型, 将雷州半岛成土母质划分为五大类, 即第四纪松散沉积物、沉积岩类风化物、变

质岩类风化物、火山岩类风化物、花岗岩类风化物。分别统计各类成土母质土壤基准值和富集系数(表 3), 并将其地球化学基准值与研究区地球化学基准值比较(图 2), 获得了不同成土母质土壤元素富集与贫乏组合特征, 结果如下。

表3 不同成土母质深层土壤基准值和富集系数统计结果

Table 3 Statistics of base value and enrichment factor of deep soil from different parent materials

指标	第四系		沉积岩		变质岩		火山岩		花岗岩	
	基准值	K	基准值	K	基准值	K	基准值	K	基准值	K
Ag	0.040	0.930	0.080	1.740	0.056	1.300	0.050	1.050	0.056	1.300
As	4.230	1.350	5.850	1.870	2.800	0.890	2.620	0.840	1.350	0.430
Au	0.760	0.950	1.140	1.430	1.070	1.340	0.910	1.140	0.580	0.730
B	60.800	1.300	72.000	1.540	62.000	1.320	18.700	0.400	13.800	0.290
Ba	87.000	0.760	217.000	1.890	272.000	2.370	103.000	0.900	217.000	1.890
Be	0.800	0.650	1.560	1.270	1.790	1.460	1.420	1.150	1.700	1.380
Bi	0.370	1.230	0.530	1.770	0.470	1.570	0.210	0.700	0.510	1.700
Br	3.100	1.070	2.700	0.930	2.100	0.720	3.300	1.140	2.000	0.690
Cd	0.031	0.840	0.060	1.700	0.030	0.810	0.050	1.460	0.024	0.650
Ce	48.900	0.850	64.300	1.120	70.700	1.230	65.900	1.150	92.600	1.620
Cl	53.900	1.010	37.700	0.700	43.700	0.820	80.200	1.500	39.000	0.730
Co	2.300	0.580	5.500	1.380	3.600	0.900	57.000	14.250	2.200	0.550
Cr	47.600	0.740	46.700	0.720	45.800	0.710	275.000	4.260	15.800	0.240
Cu	9.400	0.560	11.500	0.680	12.400	0.730	88.200	5.220	6.600	0.390
F	171.000	0.810	378.000	1.800	297.000	1.410	240.000	1.140	320.000	1.520
Ga	12.600	0.750	15.100	0.900	15.600	0.930	29.800	1.780	19.800	1.190
Ge	1.370	0.940	1.490	1.030	1.550	1.070	1.520	1.050	1.620	1.120
Hg	0.044	0.960	0.050	1.110	0.037	0.800	0.050	1.130	0.044	0.960
I	2.750	0.890	2.400	0.770	1.260	0.410	10.300	3.320	2.350	0.760
La	19.900	0.850	32.280	1.370	37.690	1.600	26.000	1.110	47.070	2.000
Li	16.800	0.930	31.500	1.750	24.600	1.370	17.500	0.970	22.900	1.270
Mn	61.000	0.770	78.000	0.990	73.000	0.920	1042.000	13.190	75.000	0.950
Mo	0.880	0.840	0.710	0.680	0.780	0.740	1.880	1.790	0.890	0.850
N	250.000	0.910	254.000	0.930	207.000	0.760	412.000	1.500	240.000	0.880
Nb	18.000	0.900	16.200	0.810	17.900	0.900	39.600	1.980	17.200	0.860
Ni	12.100	0.720	13.670	0.820	12.400	0.740	186.000	11.140	6.500	0.390
P	205.000	0.910	218.000	0.960	196.000	0.870	557.000	2.460	163.000	0.720
Pb	16.100	0.900	34.900	1.960	35.500	1.990	15.800	0.890	43.500	2.440
Rb	27.000	1.010	64.400	2.410	62.800	2.350	12.000	0.450	78.300	2.930
S	207.000	0.990	135.000	0.640	161.000	0.770	385.000	1.830	155.000	0.740
Sb	0.390	1.110	0.860	2.460	0.380	1.090	0.340	0.970	0.140	0.400
Sc	7.100	0.700	9.000	0.890	9.000	0.890	28.100	2.780	6.200	0.610
Se	0.300	0.880	0.310	0.910	0.320	0.940	0.530	1.560	0.330	0.970
Sn	3.350	0.990	3.930	1.160	4.640	1.370	3.060	0.910	5.190	1.540
Sr	19.900	0.880	26.100	1.150	26.600	1.170	24.800	1.090	35.900	1.580
Th	11.800	1.060	14.900	1.340	20.600	1.860	8.800	0.790	24.400	2.200
Ti	0.430	0.880	0.410	0.830	0.422	0.860	1.570	3.190	0.286	0.580
Tl	0.210	1.000	0.260	1.240	0.260	1.240	0.200	0.950	0.300	1.430
U	2.080	0.980	2.890	1.360	3.440	1.620	1.930	0.910	4.180	1.970
V	61.900	0.810	64.980	0.850	67.670	0.880	228.500	2.980	33.830	0.440
W	1.840	1.140	3.160	1.950	2.550	1.570	1.280	0.790	2.470	1.520
Y	22.300	0.970	22.100	0.970	26.100	1.140	24.300	1.060	25.700	1.120
Zn	22.000	0.580	36.700	0.960	34.500	0.900	106.000	2.770	34.500	0.900
Zr	328.000	1.080	333.000	1.100	321.000	1.060	272.000	0.890	271.000	0.890
SiO ₂	73.920	1.110	71.030	1.070	70.280	1.060	47.150	0.710	67.330	1.010
Al ₂ O ₃	12.260	0.780	14.420	0.920	14.850	0.950	22.450	1.430	18.270	1.170
TF ₂ O ₃	2.520	0.650	3.200	0.820	2.760	0.710	15.000	3.860	1.950	0.500
MgO	0.260	0.870	0.480	1.600	0.410	1.370	0.350	1.170	0.250	0.830
CaO	0.090	0.820	0.180	1.640	0.110	1.000	0.170	1.550	0.120	1.090
Na ₂ O	0.080	1.000	0.100	1.250	0.090	1.130	0.060	0.750	0.110	1.380
K ₂ O	0.540	1.040	1.210	2.330	1.490	2.870	0.260	0.500	1.400	2.690
TC	0.280	0.820	0.260	0.760	0.300	0.880	0.480	1.410	0.350	1.030
Corg	0.280	0.900	0.250	0.810	0.350	1.130	0.420	1.350	0.390	1.260
pH值	5.020	0.980	5.330	1.040	5.090	0.990	5.540	1.080	5.010	0.970

注: Au单位为 10^{-9} , 氧化物、TC、Corg单位为%, pH值无量纲, 其余元素单位均为 10^{-6} 。K为富集系数, K=不同成土母质土壤基准值/研究区土壤基准值。

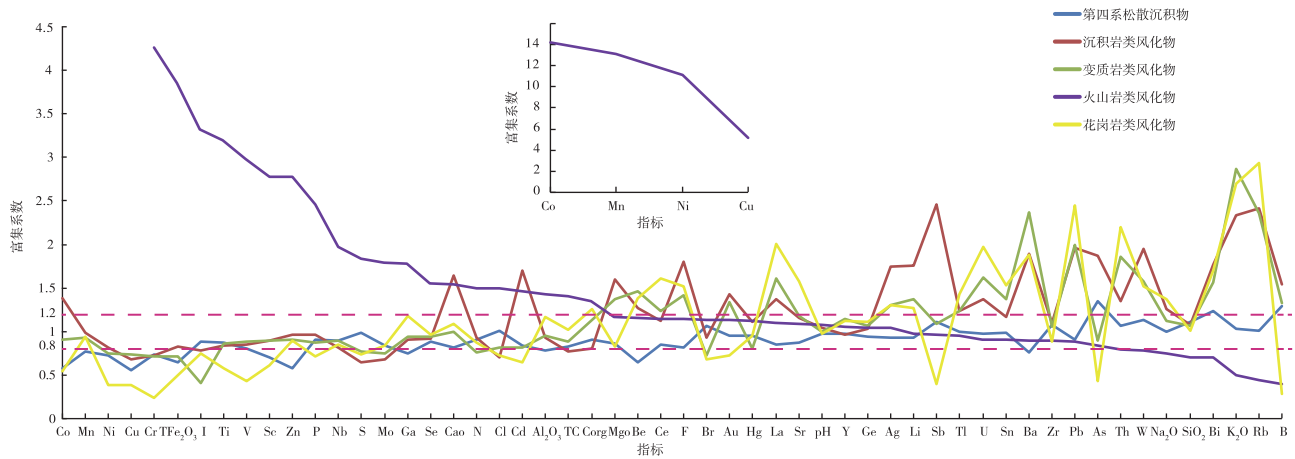


图 2 不同土母质土壤元素(指标)富集系数折线图

Fig. 2 Broken line graph of enrichment factors of soil elements (indexes) from different parent materials

4.1 第四纪松散沉积物元素地球化学基准值

第四纪松散沉积物指第四纪时期因地质作用所沉积的物质,一般呈松散状态,具有分布广、物质来源较复杂等特点。与研究区土壤基准值相比,第四纪松散沉积物相对富集的元素包括 B、Bi、As,相对贫乏的元素或指标包括 Zn、Co、 TFe_2O_3 、Cr、Sc、Be、Cu、Ga、 Al_2O_3 、Ni、Ba、Mn,其余 39 个元素或指标的基准值与研究区基准值相当。B 最富集,其富集系数为 1.35, Zn、Co、Cu 最贫乏,属强度贫乏元素。

4.2 沉积岩类风化物元素地球化学基准值

沉积岩主要分布在廉江市北部及西部。与研究区土壤基准值相比,富集 As、MgO、Au、B、CaO、Ag、F、Pb、Bi、Cd、Li、W、Ba、Rb、Sb、 K_2O 、Co、U、Tl、Th、Be、 Na_2O 、La,贫乏 Cr、Cl、S、Mo、TC、I、Cu,其余元素或指标的基准值与研究区相当。富集元素或指标共 23 个,其中以 Rb、Sb、 K_2O 富集最为明显,其富集系数分别为 2.4、2.5、2.3。S 元素富集系数为 0.6,属强度贫乏元素。

4.3 变质岩类风化物元素地球化学基准值

变质岩主要分布在研究区北东部。与研究区基准值相比,富集 Be、F、W、Bi、U、Ba、La、Th、Pb、Rb、Sn、Li、MgO、Au、B、Ag、Tl、Ce,贫乏 I、Cr、S、N、Ni、Mo、Br、Cu、 TFe_2O_3 ,其余元素或指标的地球化学基准值与研究区地球化学基准值相当。其中 Pb、Ba、Rb、 K_2O 富集明显,富集系数分别为 2.0、2.4、2.4、2.9;I 元素富集系数为 0.4,属强度贫乏元

素。与沉积岩类风化物地球化学基准值相比,变质岩类风化物富集 K_2O 、Ba、Th、Corg,贫乏 Li、I、Br、As、CaO、Cd、Sb、F、Br、Ag、Hg、Co 等元素或指标。

4.4 火山岩类风化物元素地球化学基准值

火山岩主要分布在研究区中部及南部地区。与研究区地球化学基准值相比,火山岩类风化物富集 Corg、N、Ti、Cd、Cl、TC、CaO、Ga、Mo、Se、Nb、S、P、Zn、Sc、V、 TFe_2O_3 、I、Cr、Cu、Ni、Co、Mn,贫乏 Bi、 SiO_2 、 Na_2O 、Th、W、B、Rb、 K_2O ,其余指标地球化学基准值与研究区地球化学基准值相当。富集系数 >3 的元素或指标包括 TFe_2O_3 、I、Cr、Cu、Ni、Co、Mn、Ti、V,以 Co、Mn、Ni 等元素富集最为明显,其富集系数分别为 14.3、13.2、11.1。B 最贫乏,其富集系数为 0.4。结果表明,以火山岩类风化物为成土母质的深层土壤富集多种元素。

与沉积岩类风化物地球化学基准值相比,火山岩类风化物富集元素较多,Cu、Cr、 TFe_2O_3 、I、Ti、V、Sc、Ni、Mn、Co 等元素或指标含量是相应沉积岩类风化物含量的 3 倍以上;相对贫乏的元素亦较多,Ba、As、Pb、Sb、W、Bi、B、 K_2O 、Rb 等元素或指标含量仅为相应沉积岩类风化物含量的 20%~50%。与花岗岩类风化物地球化学基准值相比,火山岩类风化物明显富集 Cr、Cu、 TFe_2O_3 、V、Ti、I、Sc、Zn,是相应花岗岩类风化物含量的 3 倍以上,Ni、Mn、Co 是相应花岗岩类风化物含量的 10 倍以上,火山岩类风化物铁族元素富集明显;相对贫乏的元素表现突出,Ba、B、W、Bi、Pb、Th 等元素或指标含量仅为相应花岗岩类风化物含量的 50%以下, K_2O 、Rb

仅为相应花岗岩类风化物含量的 20% 以下。

4.5 花岗岩类风化物元素地球化学基准值

研究区花岗岩主要形成于侏罗—白垩纪, 岩性多为二长花岗岩, 分布在研究区北部。与研究区地球化学基准值相比, 花岗岩类风化物富集 Ti 、 F 、 W 、 Sn 、 Sr 、 Ce 、 Bi 、 Ba 、 U 、 La 、 Th 、 Pb 、 Rb 、 K_2O 、 Be 、 Na_2O 、 Ag 、 Li 、 Corg , 贫乏 I 、 S 、 Cl 、 Au 、 P 、 Br 、 Cd 、 Sc 、 Ti 、 Co 、 TFe_2O_3 、 V 、 As 、 Sb 、 Cu 、 Ni 、 B 、 Cr , 其余元素或指标基准值与研究区基准值相当。富集系数 > 2 的元素或指标基准值包括 Th 、 Pb 、 Rb 、 K_2O 、 La , 其富集最为明显; Cr 、 B 表现最为贫乏, 其富集系数分别为 0.24 和 0.29, 表明以花岗岩类风化物为成土母质的深层土壤富集造岩元素、钨钼族元素、放射性元素、稀有稀土元素等。与沉积岩类风化物基准值相比, 花岗岩类风化物富集 Th 、 La 、 Pb 、 U 、 Ce 、 Rb 、 Ga 、 Sn 、 Corg 、 Sr 、 TC 、 Al_2O_3 、 Mo 等元素, 贫乏 Co 、 Cr 、 As 、 B 、 Sb 、 Cd 、 Ni 等元素(富集系数 0.2~0.5)。

5 结论

(1) 雷州半岛深层土壤多数元素或指标变异性较大, 在研究区分布不均匀, 分异明显, 指示了研究区多种成土母质对土壤元素继承、迁移、转化作用的差异性。高度变异元素包括 Sc 、 Zn 、 Rb 、 Ti 、 V 、 I 、 K_2O 、 TFe_2O_3 等 8 个元素或指标, 极度变异元素包括 Cr 、 Cu 、 Mn 、 Ni 、 Co 。

(2) 与地壳丰度相比, 研究区多数元素或指标较为贫乏, 仅 Zr 、 Th 、 Bi 、 W 、 Sn 、 As 、 Pb 、 Se 、 N 、 B 、 I 等元素富集, 其组合反映出区内土壤的酸性地球化学特征—富集与中酸性岩类有关的元素, 贫乏与基性岩有关的元素; 与中国土壤 C 层元素含量相比, 有益元素 Se 达到富集; 与广东土壤 C 层元素含量相比, 研究区无相对富集元素。

(3) 对研究区主要成土母质地球化学基准值的研究表明, 土壤元素地球化学基准值主要继承了成土母岩的元素地球化学组合特征, 不同成土母质地球化学基准值特征差异明显, 以火山岩类风化物 and 花岗岩类风化物最为典型。其中火山岩类风化物成土母质的深层土壤富集铁族元素、分散元素, 花岗岩类风化物富集造岩元素、钨钼族元素、放射性元素和稀有稀土元素。

参考文献

[1] 奚小环. 自然资源时期: 大数据与地球系统科学——再

论全面发展时期的勘查地球化学[J]. 物探与化探, 2019, 43(3): 449-460.

[2] 王运, 邹勇军, 王鹤, 等. 江西信丰油山地区土壤硒及重金属元素地球化学特征[J]. 华东地质, 2019, 40(2): 152-160.

[3] 黄炎, 陈国光, 李雪平. 武夷山茶叶品质与土壤地球化学背景特征关系探讨[J]. 华东地质, 2020, 41(2): 166-176.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 贾黎黎, 朱鑫, 赵艺, 等. 雷州半岛土壤碳储量及其有机碳时空变化规律[J]. 华南地质与矿产, 2019, 35(3): 373-379.

[7] 朱鑫, 汪实, 李婷婷. 雷州半岛土壤地球化学背景值研究[J]. 华南地质与矿产, 2021, 37(1): 103-112.

[8] 陈国光, 奚小环, 梁晓红, 等. 长江三角洲地区土壤地球化学基准值及其应用探讨[J]. 现代地质, 2008, 22(6): 1041-1048.

[9] FORDYCE F M, ZHANG G D, GREEN K. Soil, grain and water chemistry in relation to human selenium-responsive diseases in Enshi District, China[J]. Applied Geochemistry, 2000, 15(1): 117-132.

[10] 庞绪贵, 代杰瑞, 胡雪平, 等. 山东省土壤地球化学基准值[J]. 山东国土资源, 2018, 34(1): 39-43.

[11] 陈兴仁, 陈富荣, 贾十军, 等. 安徽省江淮流域土壤地球化学基准值与基准值研究[J]. 中国地质, 2012, 39(2): 302-310.

[12] 任蕊, 王会锋, 卢婷, 等. 关中平原土壤地球化学基准值与基准值研究[J]. 西北大学学报: 自然科学版, 2013, 43(5): 742-748.

[13] 罗思亮. 广东省阳江-茂名地区土壤地球化学基准值与基准值分析[J]. 云南化工, 2018, 45(2): 89-92.

[14] 张伟, 刘子宁, 贾磊, 等. 广东韶关地区土壤地球化学基准值研究[J]. 华南地质与矿产, 2020, 36(2): 153-161.

[15] 张秀芝, 杨志宏, 马忠社, 等. 地球化学背景值与地球化学基准值研究[J]. 地质通报, 2006, 25(5): 626-629.

[16] 袁建新, 王云. 我国土壤环境质量标准现存问题与建议[J]. 中国环境监测, 2000, 16(5): 41-44.

[17] 周国华, 秦绪文, 董岩翔. 土壤环境质量标准的制定原则与方法[J]. 地质通报, 2005, 24(8): 721-727.

[18] 陶春军, 周天健, 李朋飞, 等. 安徽省岳西县来榜地区土地质量地球化学评价[J]. 华东地质, 2020, 41(1): 62-69.

- [19] 朱鑫,罗思亮,黎旭荣,等.珠江下游基本农田土地质量地球化学调查报告[R].广州:广东省地质调查院,2019.
- [20] 中华人民共和国国土资源部.DZ/T 0258—2014 多目标区域地球化学调查规范(1:250 000)[S].2014.
- [21] 中华人民共和国国土资源部.DZ/T 0295—2016 土地质量地球化学评价规范[S].2006.
- [22] 国家质量技术监督局.GB/T4882—2001 数据的统计处理和解释正态性检验[S].2001.
- [23] 迟清华,焉明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007.

Study on soil geochemical reference value in Leizhou Peninsula

ZHU Xin, WANG Shi, CHEN En

(Guangdong Geologic Survey Institute, Guangzhou 510080, Guangdong, China)

Abstract: Based on the geochemical survey data of basic farmland's soil quality in the lower reaches of the Pearl River, the contents of 54 elements/indexes in 872 deep soil samples from Leizhou Peninsula were analyzed. Compared with crustal abundance, element content in layer C of the soil in China and element content in layer C of the soil in Guangdong Province (only 12 indexes), the characteristics of soil geochemical reference values of different soil parent materials were discussed. The concentrations of elements in deep soil in Leizhou Peninsula vary greatly with not high element geochemical reference values as a whole, and the soil geochemical reference values of different parent material types have obvious differences. The deep soil elements inherit the geochemical characteristics of the soil parent material and reflect the diversity of regional geological background and soil parent material types. The deep soil with volcanic rock weathering as the soil parent material is enriches with iron group elements and dispersed elements, while the granite-weathering soil is enriches with rock forming elements, tungsten molybdenum group elements, radioactive elements and rare earth elements.

Key words: Leizhou Peninsula; deep soil; geochemical survey; element geochemical reference value