

文章编号: 0254-5357(2009)02-0125-06

福建沿海地区表层土壤矿物分布特征及地质和环境意义

魏为兴

(福建省地质调查研究院, 福建 福州 350012)

摘要: 对福建沿海地区表层土壤矿物组分、含量、组合以及分布特征进行了分析研究。结果表明, 不同地质背景形成的土壤其重矿物组成具有复杂性、一致性和差异性; 不同的土壤类型其矿物组合可以较好地反映土壤与成土母岩的内在成因关系; 不同沉积环境下形成的土壤矿物组成受外力影响具有一定的分选性; 平原区土壤中汞、砷等元素的区域性高异常则与土壤中辰砂、雄黄矿物存在有关。

关键词: 表层土壤; 矿物; 地质背景; 沉积环境; 福建沿海地区

中图分类号: P596; S151.9 **文献标识码:** A

Distribution of Top-layer Soil Minerals in the Coastal Area of Fujian Province and Their Geological and Environmental Significance

WEI Wei-xing

(Fujian Geological Survey Institute, Fuzhou 350012, China)

Abstract: The component, content, composition and distribution of the minerals in top-layer soils in the coastal area of Fujian Province were analyzed and studied. The results indicate that heavy minerals in the soils formed under different geological background have complexity, consistency and diversity. The mineral assemblages from different soil types can well reflect the inherent relationship of the origin between soils and their mother rocks. Influenced by external forces, the mineral assemblages in the soils formed under different sedimentary environment have certain mineral combination diversity. The regional high-anomaly for some elements such as mercury and arsenic can be related to the existence of cinnabar and realgar minerals in the soils from the plain districts.

Key words: top-layer soil; mineral; geological background; sedimentary environment; coastal area of Fujian province

福建省沿海经济带生态地球化学调查与评价项目取得的诸多成果^[1-6]之一,就是在多目标区域地球化学调查的土壤中发现了部分元素的区域性高含量异常,尤其是在冲海积平原区。但这些成果的研究着重点是土壤中元素含量的丰缺,并未对土壤地球化学特征所受成土条件、成土环境和成土母质影响作相应研究。而已有的研究发现,成壤母质对流域源岩物质成分的继承是影响土壤中元素含

量及其区域分布特征的重要因素^[7-10]。为了研究福建沿海经济带表层土壤中异常物质来源、迁移、扩散、累积过程,了解土壤母岩、沉积环境和成壤过程对元素区域性异常的影响,以及自然和人为作用对元素积累的影响,本文选用了 240 件代表性的福建沿海地区表层土壤样品,对矿物组分、含量、组合和分布进行了分析研究,探讨了矿物含量与区域性元素异常之间的关系。

收稿日期: 2008-05-08; 修订日期: 2008-07-24

基金项目: 国土资源地质大调查——福建省沿海经济带生态地球化学调查项目资助(200314200024)

作者简介: 魏为兴(1974-),男,福建平潭县人,工程师,地质矿产专业。E-mail: fjwxx@163.com。

1 概况

福建沿海地区东面临海,西靠闽中大山(鹭峰山—戴云山脉),海岸与山脉均呈北东向展布。地貌类型复杂多样,平原、台地、丘陵、山地种类齐全,从西北向东南依次为低山—丘陵—台地—平原—港湾,地势不断降低,构成西北高、东南低的阶梯状地貌。受北西向地质构造的影响,总体的阶梯状地貌被分割为多个单元,每个单元呈向东南开口的“簸箕”状。平原均属冲海积平原。地质背景以晚中生代陆相酸、中酸性火山岩及燕山期花岗岩类大面积分布而著称省内外。本研究所涉及的基岩地质单元共 37 个,其岩石类型较为齐全,有火山岩、侵入岩、沉积岩及变质岩,基岩以岩浆岩为主。岩浆岩以花岗闪长岩、花岗岩、花岗斑岩、熔岩、凝灰岩等为主,基性玄武岩等次之。采样区域共涉及的土壤类型主要有水稻土、红壤、赤红壤、滨海盐土、风砂土等,其形成的沉积环境大致可分为残坡积、冲洪积、海积和滨海风积 4 类。

2 样品的采集和分析

在福建沿海经济带的不同地质背景、土壤类型区布置了 240 个土壤采样点(见表 1 和图 1),各采样点大体呈线状排列,组成了从北到南的 10 条断面线。断面线选择垂直地质构造线、穿过主要地质体,同时考虑地形地貌布设。断面表层土壤样品去掉表层草根、腐殖质等,从地表连续均匀采至深度 20 cm,砂样品质量一般为 2 000 g。砂样由福建省地勘局三明矿产实验室作水漂洗后进行重砂矿物分离、鉴定,其中分离出的黏土矿物送中国地质大学(武汉)测试中心进行 X 射线衍射矿物组成测定。

表 1 样品数量分布概况^①

Table 1 Distributed overview of sampling quantity

地质背景	数量/个	地质背景	数量/个	地质背景	数量/个
全新统	83	文溪山组	3	赤红壤	21
佛昙组	4	澳角群	2	水稻土	136
石帽山群		钾长花岗岩	30	滨海盐土	7
寨下组	4	二长花岗岩	26	风砂土	5
黄坑组	7	花岗闪长岩	6	残坡积	81
小溪组	4	晶洞碱长花岗岩	7	冲洪积	123
南园群		石英闪长岩	5	海积	25
鹅宅组	28	碱长花岗岩类	3	风积	11
南园群		红壤	71		
赤水组	21				
长林组	3				
象牙群	3				

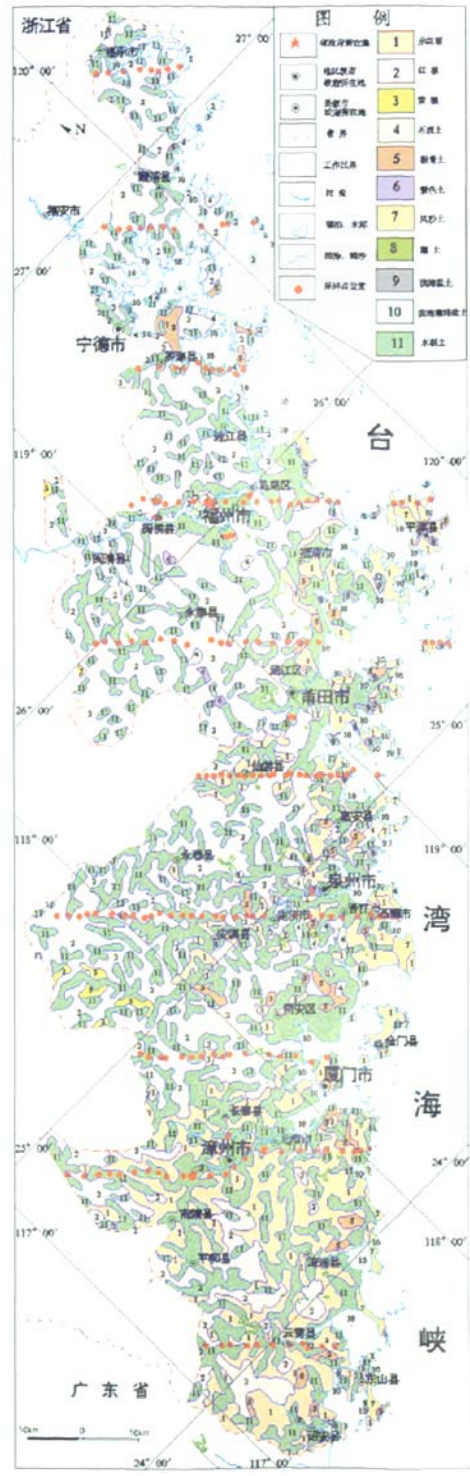


图 1 福建沿海表层土壤类型及采样点位图

Fig.1 Map showing the type of top-layer soils and sampling locations from the coastal area in Fujian

3 土壤矿物分布特征

3.1 矿物含量一般特征

对240件土壤样品进行重砂鉴定,共发现67种重砂矿物。出现频率较高的是有石英、长石、磁铁矿、钛铁矿、磁赤铁矿、锆石、锐钛矿、绿帘石、赤铁矿、绿

泥石(绢云母)、磷灰石和白钛石等矿物,少见的矿物则为方铅矿、铀矿等(见表2)。其中石英平均含量为15.53%(质量百分数 w ,下同)、长石3.70%、绿泥石(绢云母)1.76%、磁铁矿0.024%、钛铁矿0.015%、磁赤铁矿0.015%。这些矿物普遍存在于各样品中。

表2 矿物组成

Table 2 Mineral Composition

矿物类型	矿物名称		
	主要(屡见)	次要(常见)	少量(偶见)
重矿物	磁铁矿、钛铁矿、磁赤铁矿、 锆石、锐钛矿、绿帘石、 赤铁矿	白钛石、磷灰石、金红石、独居石、黄铁矿、石榴石、 褐铁矿、角闪石、榍石、钼石、重晶石、刚玉、雄黄、 红柱石、辰砂、蓝晶石等	方铅矿、铀矿、铝铅矿、雌黄、橄榄石、 黄铜矿、辉锑矿、透辉石、阳起石、 自然铜、自然银等
轻矿物	石英、长石	绿泥石(绢云母)、黑云母、白云母	

3.2 矿物含量组分差异

3.2.1 不同地质背景土壤中重矿物含量差异

土壤中的重矿物来源较为复杂,但总的来说,它们主要与各种地质体、矿(化)体密切相关。不同地质背景形成的土壤其重矿物含量特征各有不同(见表3)。

(1)地质背景为不同侵入岩体的土壤,其重矿物含量有所差异。碱长花岗岩斑岩类岩体重矿物总量相对较低,石英闪长岩类含量相对较高。不同的岩体形成的土壤,其优势矿物(含量>10%,下同)也各不相同。钾长花岗岩以钛铁矿-磁赤铁矿-赤铁矿-绿帘石-磁铁矿为主,二长花岗岩则以磁铁矿-钛铁矿-磁赤铁矿-角闪石为主,花岗闪长岩是磁赤铁矿-绿帘石-磁铁矿,晶洞碱长花岗岩的优势矿物则只有钛铁矿和锆石,石英闪长岩为磁铁矿-磁赤铁矿-角闪石,碱长花岗岩斑岩是磁赤铁矿-绿帘石。另外,把各种岩性不同的侵入岩体按所形成时代进行综合对比研究,结果则表明不同期次侵入岩体形成的土壤,其重矿物含量也有所不同。燕山早期黑云母花岗岩体中的重矿物,较其他侵入岩相同重矿物占有较高的比例;其他侵入岩体矿物中,仅某些重矿物占有较大的份量,如燕山早期细粒花岗岩中的钛铁矿、独居石、铅族矿物,加里东期混合花岗岩中的钼石、独居石,燕山早期花岗岩斑岩的金红石,燕山晚期石英闪长岩中的铜族矿物。

(2)以火山岩为背景的土壤,其重矿物含量总体差异不明显。统计表明,南园群的赤水组与鹅宅组的重矿物含量相对较低。赤水组的优势矿物为绿帘石-赤铁矿-钛铁矿,鹅宅组则为赤铁矿-钛铁矿-绿帘石,黄坑组是绿帘石-赤铁矿-钛铁矿-磁赤铁矿,褐铁矿-磁铁矿-钛铁矿则是寨下组的优势矿物,佛昙组(为玄武岩类)富含磁铁矿。

(3)以不同时代地层为背景的土壤,重砂矿物含量一般较低。长林组则出现了锆石-磁铁矿为主的重矿物组合,文宾山组的钛铁矿占居了近一半的含量;而象牙群的角闪石和绿帘石组合,含量则超过50%。全新统地层的优势矿物则为磁铁矿-绿帘石-角闪石。

(4)变质岩(澳角群)为背景的土壤,磁铁矿和磁赤铁矿组合其含量占近九成,其他重矿物含量都甚微。

总体而言,土壤中的重矿物含量,不论成土母质岩性如何,也不论其时代,其优势矿物绝大多数为不透明矿物(铁氧化物类)和绿帘石,区别只在于含量的多少。而福建省广布富铁土则与表层土壤富含铁氧化物类矿物有直接关系。

3.2.2 不同土壤类型矿物含量特征

不同土壤类型矿物含量特征见表4。数据表明,在花岗岩区发育的土壤中,轻矿物占绝对优势;采自全新统背景区的样品,其土壤轻矿物含量都较高;采自火山岩为背景区的样品,轻矿物含量都较低。研究表明,福建沿海表层土壤轻矿物含量中石英和长石占大多数,土壤中的轻矿物实际是以这两种矿物为主。

重矿物含量方面,红壤的优势矿物组合为钛铁矿-绿帘石-赤铁矿-磁铁矿,含量在60%左右;而全新统为背景的红壤其优势矿物则为角闪石-磁铁矿-绿帘石,不稳定矿物明显占优。水稻土以钛铁矿-磁铁矿-赤铁矿为优势矿物组合,不透明矿物含量占多数;发育于小溪组的水稻土其不透明矿物含量超过80%。赤红壤中的钛铁矿含量较高,不同的地质背景优势矿物组合有所差异,全新统区域的赤红壤绿帘石较高,钾长花岗岩区的赤红壤其钛铁矿含量接近50%。风砂土中相对不稳定矿物含量约占一半。

表3 不同地质背景^①土壤部分重矿物含量^②特征

Table 3 Content characteristics of some heavy minerals in soils with different geological backgrounds

矿物名称	地质背景																		
	全新统	佛恩组	寨下组	黄坑组	小溪组	鹅宅组	赤水组	长林组	象牙群	文宾山组	澳角群	钾长	二长	花岗	晶洞	石英	碱斑		
重矿物 总量	3.42	2.57	2.72	3.13	3.72	1.44	1.81	0.72	5.25	1.64	3.69	1.94	4.46	4.54	0.99	8.88	1.05		
褐铁矿	2.1	4.1	32.1	3.9	1.1	2.7	3.8	1.7	0.7	2.4	1.0	2.3	3.9	1.1	1.7	0.2	4.4		
赤铁矿	3.8	0.9	5.1	17.1	6.9	23.0	18.0	1.5	0.3	0.9	1.4	11.8	3.6	3.3	6.1	2.0	7.9		
磁铁矿	21.2	62.2	21.4	2.8	18.8	4.4	9.3	13.9	9.5	11.2	70.3	10.2	30.1	12.4	4.0	50.8	7.9		
磁赤铁矿	7.5	0.7	2.2	10.1	2.3	5.3	5.3	4.2	0.6	3.7	12.4	15.3	13.7	35.2	5.7	18.5	28.1		
钛铁矿	11.2	9.3	19.2	13.4	55.8	17.6	15.9	6.7	18.8	46.8	2.2	23.2	16.8	6.9	26.4	4.0	7.9		
绿帘石	20.2	2.6	3.4	32.3	3.8	16.2	21.5	5.6	20.9	9.3	0.3	11.6	5.7	26.2	7.0	3.7	14.1		
锆石	4.6	1.5	1.4	2.8	1.9	9.2	8.0	26.1	6.4	5.0	1.3	6.2	3.6	3.8	15.4	2.2	3.5		
白钛石	1.6	0.8	7.6	2.6	1.0	4.5	2.8	9.9	0.3	1.9	1.1	2.4	1.0	0.6	4.5	1.5	1.4		
黄铁矿	0.9	0.6	0.8	1.5	1.2	2.6	2.2	1.7	0.7	1.9	0.3	1.8	0.8	0.9	3.6	0.5	3.1		
榍石	2.2	1.6	少量	少量	0.5	少量	少量	4.2	1.3	1.5	1.1	2	0.9	0.9	3.5	0.4	1.7		
锐铁矿	1.2	1.5	1.6	1.2	1.1	3.4	1.8	7.0	0.9	1.1	1.1	3.1	0.8	1.1	3.9	0.7	3.2		
石榴石	1.2	1.0	1.2	1.1	1.1	2.4	1.5	2.1	0.5	1.0	0.3	1.4	0.9	0.6	3.4	0.3	2.1		
角闪石	13.2	1.2	1.2	1.9	0.7	2.6	4.8		33.7	2.7	2.4	1.7	13.2	2.5	1.6	13.4	1.8		
红柱石	1.1	1.4	少量			少量	少量		1.2	2.4	0.3	少量	少量	1.2	少量	少量			
独居石	0.8	2.3	0.4	1.3	0.7	1.8	1.3	1.4	0.6	0.9	0.3	1.6	1.1	0.4	3.8	0.3	2.8		
磷灰石	0.9	1.2	1.0	1.1	0.5	1.9	1.2	2.8	0.6	1.8	0.3	1.5	0.6	0.6	3.7	0.2	5.2		
电气石	1.6	少量			1.7	少量	少量		0.4	1.8		少量	少量	少量	少量	0.8	2.1		
金红石	1.0	1.7	1.4		0.9	2.3	1.6	1.7	0.3	1.5	0.3	1.5	0.8	0.7	2.3	0.1	2.1		
重晶石	0.7	0.8		少量	少量	少量	1.0	2.8	0.8	0.9	0.3	少量	0.5	0.6	1.5	0.2	2.1		
刚玉	0.8		少量		少量	少量	少量		0.3	1.2	0.3	1.2	0.8	少量	少量	少量			
褐帘石	0.8	少量	少量			少量	少量	2.8	0.6		0.5	少量	0.6		1.8	少量	5.2		
钼石	0.6	1.2		少量	少量	少量	少量		0.8	少量		1.4	0.7	0.5	少量	少量	1.5		

① “钾长”指钾长花岗岩;“二长”指二长花岗岩;“花岗”指花岗闪长岩;“晶洞”指晶洞碱长花岗岩;“石英”指石英闪长岩;“碱斑”指碱长花岗岩。② 表中数据的单位:重矿物总量为 g/kg,其余为占总量的质量分数(%)。

表4 不同土壤类型部分矿物含量^①特征

Table 4 Content characteristics of some minerals in different type of soils

矿物名称	红壤									水稻土						赤红壤			滨海盐土	风砂土	
	全新统	寨下组	黄坑组	鹅宅组	赤水组	钾长	二长	晶洞		全新统	小溪组	鹅宅组	赤水组	钾长	二长	花岗	全新统	钾长	二长	全新统	全新统
轻矿物	总量473.3	114	182.3	196.3	160.1	224.1	304.5	379.2		212.3	228.5	165.4	151.5	254.6	272.5	112.5	375.3	325.5	187.7	415.4	848.3
绿泥石	7.5	24.3	43.9	27.6	14.2	6.6	0.7	2.7	7.4	42.8	20.6	17.0	5.0	8.9	26.1		2.6	0.2	5.2	0.7	2.3
长石	8.4	32.7	10.6	18.0	12.7	17.3	16.4	26.3	18.5	5.6	29.3	22.5	13.6	11.7	47.4		12.2	39.8	28.3	31.4	13.0
石英	84.1	43.0	45.5	54.3	73.1	76.1	82.9	71.0	73.7	51.6	50.0	60.5	81.4	79.5	26.4		85.2	59.9	66.5	67.8	84.6
重矿物	总量3.72	2.2	3.21	1.64	2.16	2.07	1.52	0.92	2.49	3.72	1.25	1.56	1.94	3.19	6.25		3.59	1.63	3.80	5.85	17.46
角闪石	21.5	1.5	1.7	2.5	6.9			1.4	2.8	0.7	2.5	2.3	1.9	3.9	1.8		4.7	1.5	少量	6.2	46.6
绿帘石	16.2	4.2	39.2	18	38.9	18.1	7.8	6.5	22.1	3.8	12.0	7.8	8.2	7.5	15.3		27.5	6.4	13.3	22.4	12.9
磷灰石	0.9	1.2	1.2	2	1.2	1.5	0.9	3.7	1.3	0.5	1.7	1.3	1.5	0.9	0.5		0.8	1.4	0.7	0.4	0.2
石榴石	1.0	1.5	1.0	1.9	1.3	1.3	1.8	3.4	1.7	1.1	3.0	1.7	1.4	1.2	0.3		1.0	1.3	1.6	0.7	0.1
褐铁矿	7.8	39.6	5.7	2.4	4.8	1.9	1.1	2.2	2.2	1.1	3.1	3.5	2.2	1.4	0.9		0.8	4.5	22.3	1.2	0.4
赤铁矿	4.5	6.3	19.2	27.3	5.7	12.7	7.2	6.6	5.6	6.9	14.0	30.8	12.6	5.0	3.4		1.3	1.3	2.0	2.9	0.2
磁铁矿	19.6	3.1	1.9	3.3	3.5	13.4	23.2	4.5	18.3	18.8	6.1	11.7	9.1	31.8	14.5		8.8	3.6	19.8	39.6	30.8
磁赤铁矿	6.3	2.8	5.8	5.5	4.2	19.9	14.4	6.8	9.2	2.3	4.6	5.1	14.1	10	47.9		8.5	2.7	16.6	6.7	3.6
白钛石	1.2	9.4	1.7	3.9	1.7	2.2	3.0	4.8	2.0	1.0	5.4	3.7	2.4	1.0	0.3		3.4	3	1.6	0.5	0.4
黄铁矿	1.1	1.0	1.6	2.3	1.9	1.1	1.1	4.0	1.3	1.2	2.8	2.5	2	1.4	0.5		0.7	2.5	0.6	0.5	0.1
榍石	1.4	少量	少量	少量	少量	1.6		4.8	2.8	0.5	3	少量	2.2	1.4	0.6		3.2	1.5	0.7	0.6	1.8
锐铁矿	1.4	1.9	1.4	2.4	1.5	3.1	1.4	3.9	1.5	1.1	5.0	1.9	3.1	1.3	1.0		1.0	3.2	0.7	1.4	0.2
钼石	0.9		0.6	少量	少量	1.3	1.6	少量	0.7	少量	少量	少量	1.4	1.0	0.4		0.8	1.2	少量	0.8	0.1
独居石	0.9	0.5	少量	1.4	1.0	1.4	1.6	4.0	1.0	0.7	2.4	1.4	1.8	1.3	0.3		0.6	1.5	1.5	0.7	0.2
钛铁矿	6.8	23.6	14.9	16.2	17.4	13.3	28.7	21.0	16.1	55.8	19	15.9	25.4	23.1	5.6		11.5	49.2	15.6	7.6	0.9
金红石	0.7	1.7	1.6	0.2	1.4	1.4	1.6	2.6	1.3	0.9	2.6	1.8	1.5	1.0	0.3		1.7	2.2	0.7	0.5	0.2
锆石	3.3	1.8	2.4	7.7	8.6	5.7	4.7	13.8	5.5	1.9	11.1	7.5	5.6	4.6	4.0		4.1	6.7	1.3	5.4	0.9

① 表中数据单位:总量为 g/kg,其余为占总量的质量分数(%)。

通过研究发现,只要成土母质岩性相同,不论时代,其土壤矿物组合亦大致相同。如采自二长花岗岩背景区的样品,砂矿物组合无显著差别,以富含磁铁矿、钛铁矿及磁赤铁矿为特征。采自多源的水稻土样品,砂矿物组合亦反映了多源土的特征,

除具有小溪组为背景土壤的特征(钛铁矿较多,含量超过50%),又具有二长花岗岩、花岗闪长岩的特征(赤铁矿、磁赤铁矿较多)。

从上述结果可见,土壤矿物组合较好地反映土壤与成土母岩的内在成因关系,为研究土壤的发生

起源提供了较精确的证据;另一方面,土壤矿物组合的成分,其复杂程度亦可间接地反映土壤中元素的富集程度。

3.2.3 不同沉积环境土壤矿物含量特征

对所有样品按不同的沉积环境下、不同的矿物粒径进行分类统计表明(表5),粒径大于1 mm的矿物几乎全为轻矿物,重矿物只含极少量的褐铁矿和赤铁矿。不同粒径的土壤样品中,沉积环境为风积的其轻矿物与重矿物含量都是4类沉积环境中最高的,而海积环境都是最低的。这二者中的矿物量相差较大,如1~0.125 mm粒径的矿物量,风积环境重矿物总量有4.16 g/kg,而海积环境中只有0.239 g/kg,相差近18倍。这与海积土颗粒相对较细小,而风积土颗粒相对较粗大有关。

数据表明,不同粒径(<0.125 mm和1~0.125 mm)重矿物含量特征表现出某种一致性,风积成因的土壤其所含不稳定矿物角闪石含量较高,占总量的40%以上。4种沉积环境所形成的土壤,冲洪积成因的土壤中较稳定矿物绿帘石与石榴石含量较高,稳定矿物含量较高的是残坡积成因土

壤,而海积成因土中极稳定矿物含量较高。

矿物组合方面,以稳定矿物+较稳定矿物为主(风积环境则是不稳定矿物+较稳定矿物+稳定矿物)。重矿物方面,冲洪积成因土壤以磁铁矿-钛铁矿-绿帘石-磁赤铁矿4种矿物组合为主;风积成因土壤中角闪石-绿帘石-磁铁矿3种矿物组合占优,它们的含量都超过70%,而在1~0.125 mm粒径区间的含量总和则超过80%。

综上所述,在不同的沉积环境下,从坡积→冲积→海陆交互相到滨海相土壤中,矿物种类、含量呈倍数增加,粒度却在不断地减小。在上游坡积土壤中,粗粒的矿物较多,而细粒的较少;在下游滨海、海陆交互相土壤中,细粒的含量相对较多,粗粒的相对较少。显然,矿物受水力分选明显,矿物在向下游迁移的过程中,粗粒在后(上游),细粒在前(下游)。同一种矿物,在上游冲积土壤中,粗粒磁铁矿矿物较多;在下游海陆交互相土壤中,钛铁矿矿物较多。在矿物稳定性方面,极稳定矿物含量也是从上游向下游增高。显示出矿物在水力作用下,在向下游迁移过程中,粒度变小,颗粒增多,稳定性增强。

表5 不同沉积环境土壤部分矿物含量特征^①
Table 5 Content characteristics of some minerals in soils with the different deposit environment conditions

矿物		沉积环境											
		矿物粒径>1 mm				矿物粒径1~0.125 mm				矿物粒径<0.125 mm			
		残坡积	冲洪积	海积	风积	残坡积	冲洪积	海积	风积	残坡积	冲洪积	海积	风积
轻矿物	轻矿物总量	63.8	38.1	29.6	70.7	176.5	222.6	89.1	549.3	32.2	67.3	21.3	128.8
	石英	81.2	77.3	66.3	89.9	74.7	76.4	82.3	82.5	69.0	69.0	71.6	76.8
	长石	10.4	12.6	19.2	10.1	16.7	19.2	10.7	14.0	18.3	17.0	18.5	18.3
	绿泥石	8.3	1.0	14.5		8.6	4.0	6.9	3.5	12.3	13.9	9.9	4.9
	重矿物总量					0.98	0.59	0.24	4.16	1.33	1.88	0.47	4.43
重矿物	角闪石 [△]					1.9	3.2	1.6	49.1	9.6	7.3	1.4	40.0
	绿帘石 [*]					4.3	20.5	6.4	11.9	13.4	25.9	23.0	20.3
	石榴石 [*]					0.5	1.3	0.5	0.1	少量	0.5	0.2	0.3
	小计					4.8	21.9	7.0	12.0	13.4	26.4	23.2	20.6
	磁铁矿					36.1	26.2	16.9	27.5	30.6	16.0	8.4	18.0
	褐铁矿	少量	少量	少量	少量	8.4	3.6	2.4	0.3	0.9	0.8	1.1	0.3
	钛铁矿					14.9	16.7	21.2	2.0	15.2	19.2	25.5	5.7
	榍石					0.3	0.4	0.1	2.6		1.6	少量	1.5
	磁赤铁矿					21.0	17.7	31.2	4.4	11.9	10.1	11.3	6.9
	锐钛矿					0.1	0.6	0.3	0.1	0.8	1.7	3.3	0.3
	赤铁矿	少量	少量	少量		11.1	5.2	11.2	0.2	8.1	5.4	8.6	0.3
	白钛石					1.3	2.0	4.2	0.8	1.3	1.1	2.8	1.7
	刚玉						0.1	0.3			少量	0.2	少量
	小计					93.1	72.5	87.8	37.8	68.9	55.9	61.2	34.9
极稳定矿物	独居石							少量		0.6	0.3	0.8	少量
	红柱石						0.4	0.7	0.1		0.5	0.2	少量
	金红石					少量	0.3	0.1	0.2	0.1	0.4	1.2	0.6
	电气石						1.2	2.7	0.7		1.0	1.5	1.3
	锆石					0.1	0.7	0.1	0.1	7.3	8.2	10.1	2.5
	小计					0.2	2.5	3.6	1.0	8.0	10.3	13.8	4.4

① 表中带“△”为不稳定矿物,带“*”为较稳定矿物;表中数据单位:总量为g/kg,其余为占总量的质量分数(%)。

3.3 硫化物矿物含量特征

土壤矿物中,出现的硫化物矿物有辰砂、雄黄、黄铁矿和辉钼矿等。

3.3.1 辰砂和雄黄

由于福建沿海冲海积平原地区如福州、漳州等地表层土壤中元素 Hg、As 含量普遍较高^[6],因此 Hg 和 As 矿物对土壤生态地球化学评价具有重要意义。在本次选用的 240 件样品中,87 件样品中含有辰砂,占样品总数的 36.25%;118 件样品中含有雄黄,占样品总数的 49.17%。在福州平原和漳州平原所取土壤样品中普遍含有辰砂和雄黄矿物,且含量较高。辰砂的化学组成为 HgS, Hg 含量 86.21%;雄黄矿物主要成分为 As₂S₃,As 含量 70%^[11]。

由此可见,福建沿海平原区表层土壤调查结果显示元素 Hg、As 含量高,与土壤中辰砂、雄黄矿物形式存在有关。辰砂、雄黄均为在地表十分稳定的矿物,可以长距离搬运,在硫化物矿出露区常有辰砂、雄黄重砂异常。在表生条件下 Hg 元素是否能与 S 结合形成辰砂,目前难以定论;但以稳定的矿物形式存在于土壤中的 Hg 和 As,对生态环境不会构成大的威胁^[12],这对沿海平原表层土壤样品中 Hg、As 元素含量异常的地球化学生态评价具有一定的参考价值。

3.3.2 黄铁矿

黄铁矿是在表生环境下不稳定的矿物,在氧化环境下易氧化为褐铁矿。在 216 件样品中含有黄铁矿,占样品总数的 90%。表层土壤中普遍存在黄铁矿,反映本研究区土壤的搬运距离或形成时间较短。在两种粒级重砂中,黄铁矿含量顺序一致,为海陆交互相>坡积相>滨海风积>冲洪积相。冲洪积相中黄铁矿含量极少,而海陆交互相、滨海风积中黄铁矿相对较多,可能说明其与物源区距离较近。

3.4 黏土矿物

大量的黏土矿物是在表生风化作用中形成的,在沉积作用和埋藏作用的过程中经常发生转变,其结晶形态和化学成分等特征为源区母岩岩性和形成时的风化环境所控制,而黏土矿物物理等特性则可在环境演变方面发挥着重要作用^[13]。福建沿海表层土壤中黏土矿物主要为高岭石,平均含量 58.29%;其次为伊利石和绿泥石,平均含量分别为 20.04%、15.38%;少量样品出现蒙脱石和伊蒙混层矿物。土壤中富含高岭石与福建沿海所处环境有关。福建沿海地处亚热带,季风气候显著,热量丰富,雨量充沛,日照充足,这种温湿同季的季风气候对土壤的形成和发育起着重要的支配作用。一般认为,高岭石是在潮湿气候酸性介质中岩石被强

烈淋滤的条件下形成的^[13],而在福建亚热带潮湿温暖的季风气候条件下,淋滤和化学作用较强,母岩风化后,一些碱金属、碱土金属元素容易被淋滤流失,易于形成和保存高岭石。黏土矿物的吸附性对元素(尤其是重金属元素)的富集起着一定的作用,土壤中元素的高异常与此也有相应的关系。

4 结语

土壤中矿物是基岩风化和成土母质经成土作用残余和新生成的矿物,其组成受源区母岩类型、环境等因素的影响,而矿物的扩散、迁移则受母岩类型、矿物的物理性质和化学性质、外界的流水条件和地貌等因素控制。研究土壤物源区自然地理环境及成壤母岩的矿物组成与土壤中元素含量的关系,对解释区域性地球化学异常具有重要意义,尤其是在解释冲海积平原区重金属元素异常效果更加明显。

致谢:感谢詹玉亭高级工程师、陆森钦工程师在野外工作与室内数据整理给予的大力支持和帮助!

5 参考文献

- [1] 林才浩,许美辉,杨军华.福建省沿海经济带生态地球化学调查与评价[J].地质通报,2007,26(5):605-612.
- [2] 林才浩.福建省沿海土壤地球化学分类及基准值研究[J].第四纪研究,2005,25(3):347-354.
- [3] 杨军华.福建沿海地区农业土壤全量养分丰缺评价[J].第四纪研究,2005,25(3):340-346.
- [4] 魏为兴.福州市表层土壤农业生态环境质量评价[J].中国地质,2007,34(2):354-358.
- [5] 杨军华.福建沿海地区芦柑的地质环境适宜性评价[J].岩矿测试,2007,26(4):269-274.
- [6] 林才浩.福建省沿海经济带多目标地球化学调查成果及应用前景[J].福建地质,2005,24(1):1-11.
- [7] 鲁安怀.土壤重金属环境质量矿物学评价方法[J].地质通报,2005,24(8):715-720.
- [8] 王之峰,马生明,朱立新,吴昆明.冲积平原区重金属元素异常解析中的矿物学方法[J].岩石矿物学杂志,2003,22(4):437-441.
- [9] 杨守业,李从先.长江与黄河沉积物元素组成及地质背景[J].海洋地质与第四纪地质,1999,19(2):19-25.
- [10] 李小虎,张新虎,郑朋,张铭杰.土壤矿物学研究综述[J].甘肃地质学报,2003,12(1):37-42.
- [11] 吴良士,白鸽,袁忠信.矿物与岩石[M].北京:化学工业出版社,2005:63-216.
- [12] 马生明,朱立新,汤丽玲,王之峰.城镇周边土壤 Hg 异常成因机理研究[J].地质学报,2007,81(4):570-576.
- [13] 汤艳杰,贾建业,谢先德.粘土矿物的环境意义[J].地学前缘,2002,9(2):337-342.