



长江三角洲表层土壤Sn元素的空间分布特征及影响因素

张 明^{1,2}, 陈国光², 刘红樱², 梁晓红², 田福金², 杨 辉²

ZHANG Ming^{1,2}, CHEN Guo-guang², LIU Hong-ying²,

LIANG Xiao-hong², TIAN Fu-jin², YANG Hui²

1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074;

2. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016

1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China

摘要:对长江三角洲地区表层土壤 Sn 含量的空间分布特征进行分析,发现土壤平均含 Sn 量为 8.35mg/kg,远远高于全国 A 层土壤 Sn 的背景值 2.6mg/kg,表层土壤中 Sn 空间分布不均匀,呈现由苏锡常、宁镇扬、杭嘉湖、宁绍等经济带增高的趋势。各种沉积环境、土壤类型中 Sn 的含量也较全国类似或同类沉积环境、土壤类型中 Sn 的含量高,显示了高背景的特点。人类活动影响强烈区表层土壤中 Sn 元素富集明显,90.39%的面积区表现出富集的特征,富集系数大于 2 的强富集区面积占 44.03%。另外,Ag、Bi、Hg、P、Pb、Sb、Se、TOC 等也与土壤 Sn 呈相关性,可能与土壤 Sn 的富集有成因联系。

关键词:Sn; 土壤; 长江三角洲; 富集系数

中图分类号: P595; X141

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)07-1147-08

Zhang M, Chen G G, Liu H Y, Liang X H, Tian F J, Yang H. Spatial distribution of tin in top soils of Yangtze River delta and influencing factors. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(7): 1147-1154

Abstract: In this paper, concentrations of tin and related elements in top soils (0~20cm) of Yangtze River delta were analyzed, and the distribution of Sn in soils was studied. It is found that soil Sn concentration of Yangtze River delta was by far higher than that of its background value of China. The average Sn concentration in the studied soils is 8.35mg/kg. It is indicated that in large and medium-sized cities and some developed regions, the concentrations of tin are much higher than those of other areas. In the same sedimentary environment of agrotyp, Sn content of the above areas is higher than that of the whole country, showing characteristics of high background. Researches show that the factors caused by human activities are much more important than other factors. The enrichment of tin in the surface soil is in a serious condition, and 90.39% area shows enrichment tendency, with the strong concentration area characterized by concentration coefficient large than 2 possessing 44.03%. In addition, Ag, Bi, Hg, P, Pb, Sb, Se, TOC and some other elements also have some influence on the distribution of Sn.

Key words: tin; soil; Yangtze River delta; concentration coefficient

Sn 是一种有毒有害的重金属元素,国内外关于有机锡化合物的来源、污染和毒性研究较多^[1-3],特

别是对于三丁基锡(TBT)的生物毒性及其对海洋污染的研究较多^[4-5],但对于无机锡的研究较少,只

收稿日期: 2010-06-25; 修订日期: 2011-05-20

资助项目: 国土资源部与国家环保部全国土壤污染现状调查及污染防治专项《长江三角洲地区多目标区域地球化学系列图编制》(编号: GZTR20060202)和《长江下游流域多目标区域地球化学系列图编制》(编号: GZTR20070205)

作者简介: 张明 (1980-), 男, 在读博士, 从事环境地球化学、勘查地球化学研究。E-mail: zhangshao_007@163.com

有少数文献初步分析了无机锡与疾病之间的关系^[6-7],至今对于土壤中 Sn 元素来源、迁移等方面的研究很少。

Sn 元素是自然界广泛存在的元素,具有亲氧、亲铁、亲硫 3 种属性,在不同物理化学条件下显示不同的化学亲和力^[8]。Sn 的地球丰度为 2.2mg/kg,地壳丰度为 1.7mg/kg,上地幔和下地幔丰度为 0.8mg/kg、0.5mg/kg,地核丰度为 70mg/kg^[8]。各类岩石中酸性岩、泥(页)岩 Sn 的丰度较高^[9]。中国 A 层土壤中 Sn 的背景值为 2.6mg/kg^[10],各地含量差异较大。

本文通过对长江三角洲地区沉积环境、土壤类型、人为活动影响、元素相互作用等方面的研究分析,基本查明了表层土壤 Sn 的含量及成因,为进一步进行 Sn 污染评价和毒性研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区范围和地质背景

长江三角洲地区包括江苏省南京、苏州、无锡、常州、南通、扬州、泰州、镇江 8 个市的全部或部分,浙江省湖州、嘉兴、杭州、绍兴、宁波 5 个市的全部或部分,上海市全域,陆域面积 68345km²,其中江苏为 42823km² (苏北 23362km²,苏南 19461km²),浙江 19182km²,上海 6340km²。区内以第四系沉积物覆盖为主,周边基岩出露区主要分布中新元古界、青白口系、南华系、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系和白垩系。区内第四纪期间曾发生了多起冷暖气候旋回,海侵海退作用频繁,使区域内第四系成因复杂。其沉积环境可分为海积、冲海积、湖积、泻湖积、冲湖积、冲积、冲洪积、湖沼积、洪积、洪坡积、残积、残坡积 12 种成因类型。土壤类型主要是水稻土、潮土、滨海盐土、红壤、黄棕壤。

1.2 数据来源及其质量

长江三角洲地区多目标区域地球化学调查工作由江苏省地质调查研究院、浙江省地质调查研究院和上海市地质调查研究院完成。参照《区域地球化学勘查规范》(DZ/T0167-95)和《多目标区域地球化学调查规范》(DD2005-01)^①,表层土壤采样密度 1 件/km²,采取 0~20cm 连续土柱;深层样 1 件/4km²,以取样钻采取 1.5~2.0m 深度 50cm 连续土柱,城镇居民工业区适当加深到 1.8~2.3m 或 2.0~2.5m。样品经自然干燥后用木棒砸碎,过 20

目尼龙筛,按表层土壤样 1 件/4km²、深层土壤样 1 件/16km² 组合后分析。

共分析表层土壤样 18773 件、深层土壤样 4589 件。样品分析测试由江苏省地质调查研究院测试应用研究所、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室和安徽省地质实验研究所承担。样品测试过程中进行严格的质量控制^①:用于监控准确度和精密度的国家一级标准物质(GBW 系列)各元素或指标合格率 100%,实验室内部检查和异常点抽查合格率大于 97%,密码抽查合格率大于 90%。

1.3 数据处理

运用 SPSS 软件对数据总体及分区间分布状态进行分析,采用 MAPGIS 软件研究 Sn 的空间分布结构,采用泛克立格(Kring)最优插值法得到长江三角洲地区表层土壤 Sn 的分布规律,含量界线按照数据累积频率 25%、75%、95%确定。

采用陈国光等^[11]计算基准值的方法确定了各类沉积环境和土壤类型的基准值,即依据同一沉积环境、同一物质来源,满足正态分布的原则,采用迭代剔除的方法求取。

2 结果与讨论

2.1 元素的空间分布

全区表层土壤 Sn 含量在 1~2835mg/kg 之间,平均含量为 8.35mg/kg,远远高于全国 A 层土壤背景值 2.6mg/kg,变异系数为 352.22%,说明该元素区域上含量变化大,分异显著(表 1)。

从农村→城郊→城区,表层土壤 Sn 含量逐步升高(图 1),含量大于 18.3mg/kg 的 Sn 极高值区主要分布在上海、苏锡常、杭州、绍兴等大中城市的城区;含量 8.9~18.3mg/kg 的区域主要分布在上海地区、杭嘉湖平原、宁绍平原、苏锡常、宁镇、扬州-泰州-海安等工业产业经济带;含量 4.0~8.9mg/kg 的区域分布在长江三角洲广大农村及工业相对落后的地区;含量小于 4.0mg/kg 的低值区主要分布在里下河

表 1 长江三角洲表层土壤 Sn 含量特征参数统计

Table 1 Basic statistical parameters
of Sn in top soils of Yangtze River delta

样品数	算术平均值 /mg·kg ⁻¹	标准离差 /mg·kg ⁻¹	变异系数 /%	中位数 /mg·kg ⁻¹	最小值 /mg·kg ⁻¹	最大值 /mg·kg ⁻¹
18773	8.35	29.41	352.22	5.7	1.0	2835

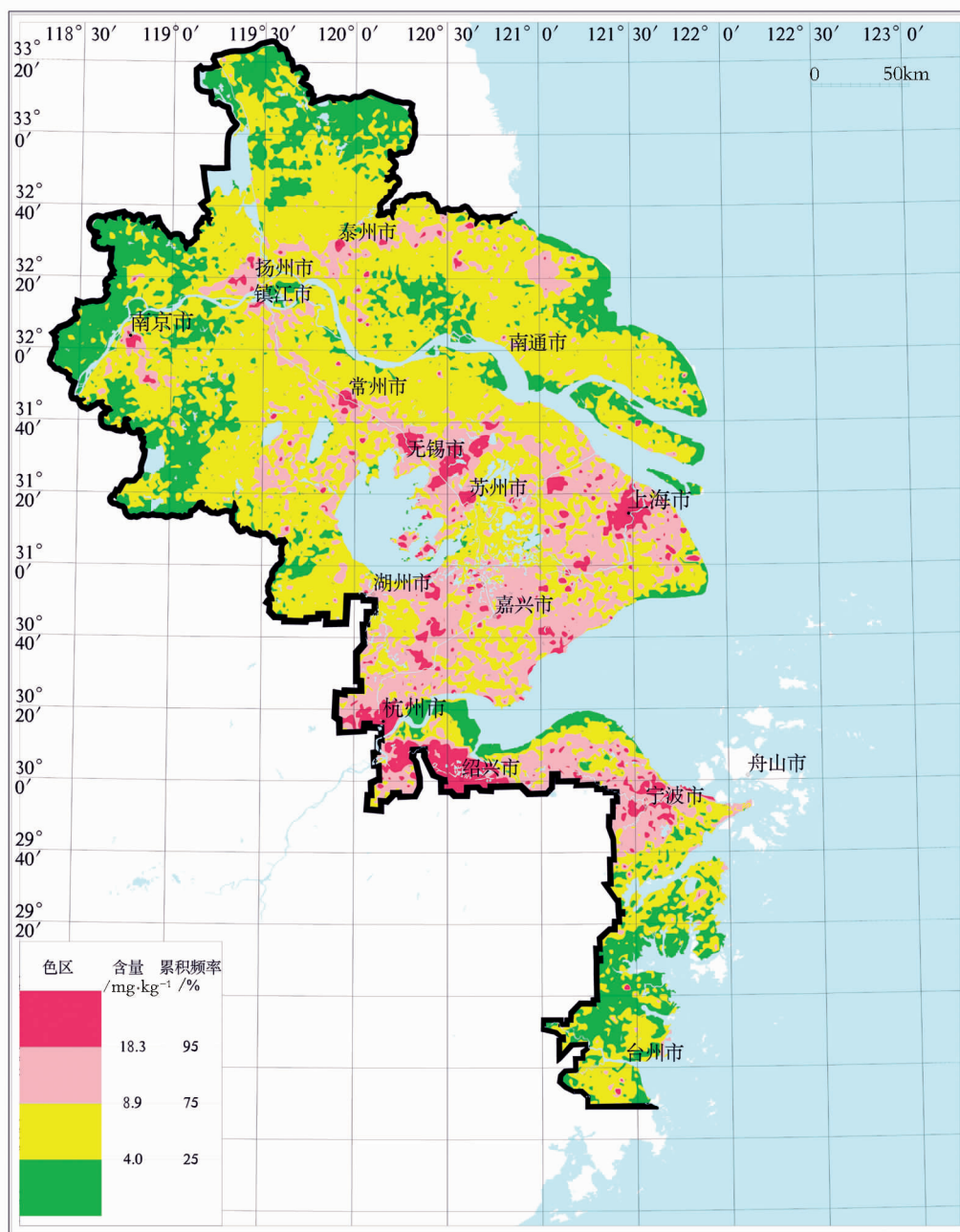


图 1 长江三角洲表层土壤 Sn 含量分布图

Fig. 1 Distribution of Sn in top soils of Yangtze River delta

平原北部、宁镇低山丘陵区西部、浙江东部沿海平原、杭州湾南岸、南通沿海等地,为农业区、丘陵山地及沿海新沉积区,经济相对落后,污染相对较轻。

2.2 元素统计分析

根据 Sn 的空间分布特征,为了能够全面了解数据总体规律和不同含量区间的规律,运用 SPSS 软件进行了 Sn 含量的正态分布检验。检验结果显示(图

2、图 3),总体数据和各个区间均表现出不同程度的偏移,其中总体数据和含量大于 4.0mg/kg 的 3 个区间数据组都表现为正偏,含量大于 18.3mg/kg 数据组正偏尤为明显,其峰度和偏度较大。前人的研究结果表明,环境地球化学变量,尤其是微量元素呈现正态分布或者对数正态分布,在自然背景下含量较低,而在人为污染严重的情况下概率分布正偏^[12-13]。在

含量小于 4.0mg/kg 区间数据表现出了负偏,初步推断可能由淋滤或者其它人为活动造成该区域 Sn 元素的贫化所致。

全部数据和含量大于 18.3mg/mg 区间的峰度、偏度都较大(图 2、图 3-D),结合 Sn 的空间分布特征,说明在长江三角洲地区 Sn 含量大于 18.3mg/mg 的区域,Sn 含量变化受城市和工业发展的影响较大。在 4~8.9mg/g 和 8.9~18.3mg/kg 两个数据区间峰度为负值,数据分布较为分散,并且偏度不太大,说明这 2 个数据分布区 Sn 的含量受城市和工业发展的影响相对较弱。在含量小于 4.0mg/kg 的区间数据组峰度接近于正态分布,说明在该区域内 Sn 含量和自然背景值相差不大。

2.3 不同沉积环境与土壤类型中 Sn 的含量特征

长江三角洲地区表层和深层土壤的元素含量有一定的相关性,说明表层土壤中 Sn 的含量在一定程度上受到母质中 Sn 含量的影响。为了进一步了解该区域表层土壤 Sn 的成因来源,对比了沉积环境和土壤类型中 Sn 的背景值。

2.3.1 不同沉积环境

土壤是在漫长的地质年代里在物理化学和生物作用下由基岩风化的各种松散沉积物(成土母质)发育形成的自然介质^[14]。土壤元素组成受多种因素的控制,成土母质是控制土壤元素含量最根本的因素之一^[15],从成土母质、沉积类型角度分析土壤元素含量可以为元素成因推断提供重要依据。

采用陈国光等^[14]计算基准值的方法,求出长江三角洲各沉积环境单元表层土壤 Sn 的背景值。

分析发现,以湖相、海相为主的沉积环境 Sn 含量较高,以冲积、残积为主的沉积环境 Sn 含量较低。全国 A 层土壤背景值也显示海积、湖积沉积环境 Sn 背景值大于冲积环境,说明长江三角洲地区和全国有相同的趋势。对比全国 A 层土壤背景值和长江三角洲地区土壤背景值,发现由相同沉积母质形成的土壤,长江三角洲地区的背景值高于全国的背景值(表 2)。

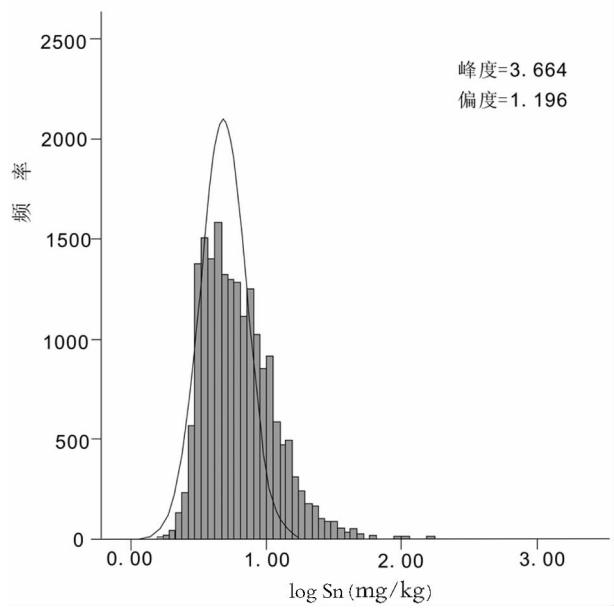


图 2 长江三角洲表层土壤中 Sn 含量对数直方图
Fig. 2 Histogram for Sn content in top soils of Yangtze River delta

2.3.2 不同土壤类型

土壤元素组成受多种因素的联合控制,不同母质中元素的组成不同;土壤是各种成土因素,包括气候、生物、地形、母质、时间等综合作用的产物,相同母质由于风化、气候、人为影响的不同也会出现元素含量的差异^[16]。因此,研究对比各类土壤中元素含量的差异性具有重要的意义。

长江三角洲地区土壤类型多样,按土类划分为 15 种,分布最广的土类为水稻土,其次是潮土、滨海盐土、红壤。从表 3 可以看出,水稻土和红壤中 Sn 的含量最高,盐土和潮土含量最低。

采用基准值^[14]的计算方法,求出长江三角洲地区表层土壤以土壤类型为单元的 Sn 的背景值。

从表 4 可以看出,在相同土壤类型中 Sn 的背景值长江三角洲地区明显高于全国,而不同土壤类型中 Sn 的含量变化长江三角洲地区和全国是保持一致的。

表 2 不同沉积环境土壤 Sn 地球化学背景值

Table 2 Background values of Sn in soils of different types of sedimentary environments

沉积环境	海积	泻湖积	冲海积	湖积	湖沼积	冲湖积	冲积	冲洪积	洪积	洪坡积	残积	残坡积
长江三角洲	7.34	8.20*	4.80*	7.13	7.90*	5.53	3.88	4.60*	4.90*	4.10*	3.33	5.80*
全 国	4.4	3.2	2.5									

注:元素背景值的单位为 mg/kg; *为中值代替的单元背景值,全国土壤背景值引自参考文献[10]

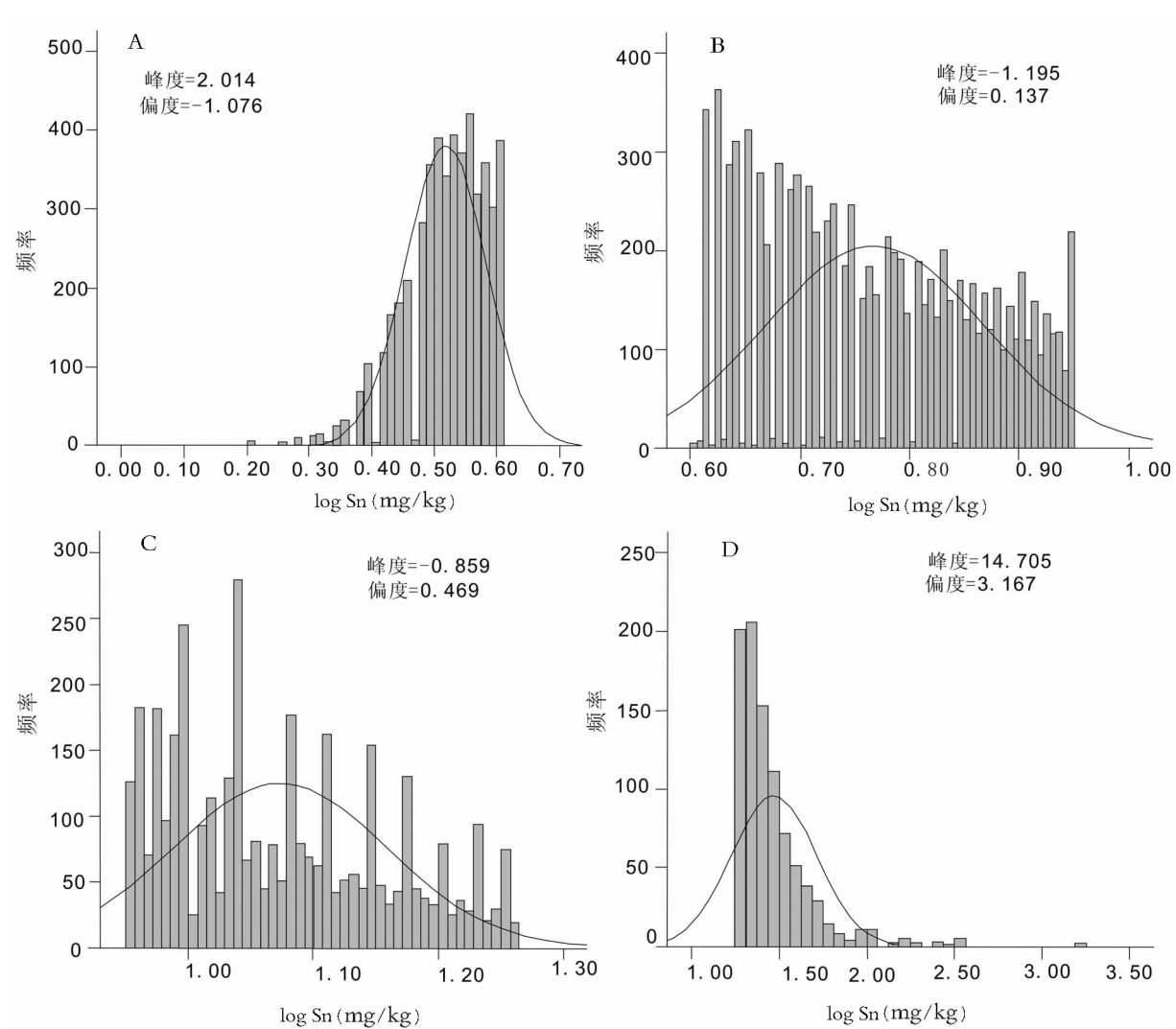


图 3 长江三角洲表层土壤 Sn 不同含量直方图

Fig. 3 Histogram for different Sn concentrations in top soils in Yangtze River delta
A—含量小于 4mg/kg; B—含量为 4~8.9mg/kg; C—含量为 8.9~18.3mg/kg; D—含量大于 18.3mg/kg

对长江三角洲地区土壤不同沉积环境和土壤类型中 Sn 含量变化的分析表明,在该区域内以湖相、海相为主的沉积环境和水稻土、石灰岩土等土壤类型中 Sn 表现出高含量;在以冲积、残积为主的沉积环境和盐土、沼泽土等土壤类型中 Sn 含量较低。在该区域内土壤中 Sn 含量在湖相、海相沉积环境和水稻土、石灰岩土等地区表现出高背景值,而在冲积、残积环境和盐土、沼泽土等地区表现出低背景值。

一个地区或一个流域的环境要素主要取决于其所处的地质地球化学背景,尤其是土壤中元素含量

表 3 不同土壤类型中 Sn 的背景值

Table 3 Background content of Sn in soils of different agrotypes								
土壤类型	盐土	黄壤	沼泽土	黄棕壤	红壤	潮土	灰岩土	水稻土
全 国	2.3	3.5	2.5	3	3.8	2.6	3.1	4.7
长江三角洲	3.28	3.49	3.59	3.79	4.44	4.75	5.51	6.35

注:元素背景值的单位为 mg/kg;全国土壤背景值引自参考文献[10]

的高低和存在形态的变化从根本上受控于自然地质地球化学过程^[17]。该地区经历了数次海岸变迁、长江河道变迁、太湖变迁等地质历史事件,具有特殊的地质环境,可能是造成该地区 Sn 含量高的原因之一。

表 4 表层和深层土壤 Sn 不同含量范围的相关性

Table 4 Relevance of Sn in top soils and
in deep soils of Yangtze River delta

含量区间/mg kg ⁻¹	相关性	统计数量	相关系数临界值
小于 4.0	0.09*	785	0.088
4.0~8.9	0.163**	2348	0.062
8.9~18.3	0.125**	997	0.088
大于 18.3	0.07	204	0.138

注:**表示在 0.01 水平下显著;*表示在 0.05 水平下显著

2.4 影响因素分析

2.4.1 表层和深层土壤 Sn 含量的相关性

Sn 是地球化学活动性很强的元素。Sn 含量的变化和空间分布特征,首先是以自然成因为基础,人为活动也在很大程度上改变了其固有的空间分布特征,使其发生局部富集或贫化。

由于在成土过程中底部成壤作用较弱,深部物质组成接近成土母质^[5],因此用深层土壤和表层土壤中 Sn 的相关性来进一步探讨土壤自然成因对于表层土壤 Sn 的影响。利用 SPSS 软件对长江三角洲地区 4334 个表层和深层土壤样品分含量区间进行相关性分析。

由表 4 可见,在表层土壤 Sn 的含量小于 18.3mg/kg 的 3 个范围区间内,其相关性系数均大于相关系数临界值,说明 Sn 元素表层土壤的含量和深层土壤的含量具有一定的同源性,但相关性不强,可能是有一定外源输入所致;而 Sn 含量大于 18.3mg/kg 的土壤二者相关性系数远远小于其临界值,说明在此含量区间有强烈的外源输入。

2.4.2 人为作用的影响

随着工业化的发展,锡及其化合物、合金等被越来越多地用于生产和生活中,环境 Sn 污染也随之而来。自然风化、锡冶炼加工、含锡废弃物等都在向环境输送 Sn。环境 Sn 污染来源主要有:①燃煤、石油及固体废物,②工业或民用含 Sn 固体和液体,③锡工厂的废水,④有机锡化合物稳定剂的各种塑料制品和包装材料,⑤船舶含 Sn 防腐漆,⑥含有机锡的杀虫剂和海产品制成的磷肥,⑦其它含 Sn 的废弃物^[7]。

为了研究外源叠加情况引入土壤中元素的人为活动环境富集系数^[18-19](以下简称环境富集系数),

需要研究人为活动引起的长江三角洲地区表层土壤中 Sn 的变化情况。分析大区域性的元素富集规律采用每 16km² 深层土壤样的元素含量为该范围的深部土壤(代表未受人类活动影响的第一环境即自然环境土壤)元素含量值,将其对应的这 16km² 上部的表层土壤 4 个分析样同一元素的平均含量作为其表层土壤(代表受人类活动影响的第二环境即人为环境土壤)的元素含量值^[18],计算富集系数共得到研究区土壤 Sn 的 4553 个环境富集系数。

根据 Sn 的分布、分异特征,结合前人文献^[18-19]关于富集的分类,Sn 元素环境富集系数大于 2 者表示发生了强烈富集,小于 0.6 者表示发生了显著贫化,计分为 6 个区间(表 5)。

从表 5 的统计结果可以看出,该地区 90.39% 的土地面积都显示 Sn 的表层富集现象,环境富集系数大于 2 的强富集区域达到 44.03%,主要沿着苏锡常、宁镇扬、杭嘉湖、宁绍等经济带分布;环境富集系数大于 4 的极强富集区主要分布在上海、苏州、南京、杭州等城区范围。环境富集系数小于 1.15 的地区主要分布在山区和沿海人为活动相对较少的地区。说明长江三角洲地区 Sn 元素在表层土壤中的富集与贫化规律与工农业发展等人类活动密切相关。

2.5 元素相互作用

通过对研究区表层土壤中 Sn 与其它元素的相关性分析(表 6),发现表层土壤中 Sn 和 Ag、Bi、Hg、P、Pb、Sb、Se 等元素及 TOC 相关性非常显著,前人研究^[14-15,20]表明,Hg、Pb、Sb 等元素在表层土壤中都表现出富集趋势,这与 Sn 在表层土壤中的富集趋势一致。

为深入探讨研究区表层土壤中 Sn 与其它元素

表 5 土壤中 Sn 的环境富集系数分类
Table 5 Classification of environmental
concentration coefficients of Sn in soils

表层富集系数	富集程度	面积百分比/%
>4.0	极强富集	6.47
2~4.0	强富集	36.64
1.15~2	弱富集	47.28
0.85~1.15	背景(基本自然状态)	8.82
0.6~0.85	弱贫化	0.75
<0.6	强贫化	0.04

表 6 研究区表层土壤中 Sn 与其它元素的相关系数

Table 6 Correlation coefficients of Sn and other elements in top soils in the study area

元素	Ag	Bi	Hg	P	Pb	Sb	Se	TOC
相关系数	0.27**	0.31**	0.20**	0.14**	0.61**	0.89**	0.23**	0.12**

注:样品数为 18773;**表示在 0.01 水平下显著相关

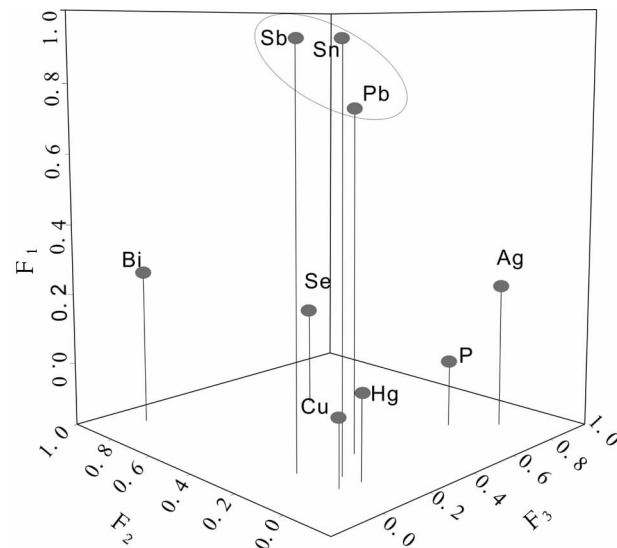


图 4 研究区土壤中元素的载荷分布

Fig. 4 Distribution of factor loadings of elements in soils in the study area

表 7 研究区土壤中 9 种元素经极大方差法旋转后的因子载荷

Table 7 Factor loading of 9 elements in soils of Yangtze River delta after varimax rotation

元素	主 因 子				
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Ag	0.228	0.791	0.017	0.009	0.037
Bi	0.262	-0.014	0.873	0.117	0.031
Cu	0.016	0.038	0.024	0.025	0.998
Hg	0.029	0.671	0.133	0.413	0.016
P	0.066	0.116	0.009	0.934	0.024
Pb	0.761	0.264	0.178	-0.025	0.033
Sb	0.938	0.031	0.190	0.035	0.005
Se	0.123	0.518	0.633	-0.156	-0.002
Sn	0.926	0.104	0.075	0.098	-0.006

注:因子提取方法为主成分分析法,采用方差极大法旋转

之间的相互关系,对研究区表层土壤中的 9 种元素进行了因子分析和聚类分析,得到了元素载荷分布图(图4),并用方差极大法旋转求得元素的最终因子载荷(表 7),表 8 列出了各因子的特征值及其贡献率。由表 7、表 8 可知,特征值大于 1 的主因子有 5 个,其中第一主因子(F₁)的特征值为 2.458,因子贡献率为 27.311 %,因子载荷大于 0.6 的有 Sn、Sb、Pb 3 种元素(图 4),这与聚类分析结果一致(图 5)。按照戈尔德施密特的分类体系,Pb、Sb 等均属亲铜元素,具有相似的地球化学性质,易于在金属硫化物、硫酸盐矿床中伴生富集^[8],在成土过程中都表现出相似的富集规律^[14-15,20]。基本上显示了这几个元素具有原始共生组合关系。

3 结 论

(1)对长江三角洲地区表层土壤 Sn 元素总体数和分区间统计分析显示,在该地区表层土壤 Sn 分布不均匀,分异性较强,显示有一定外源输入。

(2)长江三角洲地区表层土壤 Sn 含量整体高于全国土壤背景值,空间分布不均匀,高含量带沿着苏锡常、宁镇扬、杭嘉湖、宁绍等经济带和城区分布趋势显著。

(3)对研究区不同沉积环境区土壤和土壤类型中 Sn 的含量变化分析显示,区域内湖相、海相沉积环境和水稻土、石灰岩土等土壤类型中 Sn 表现出高含量;在以冲积、残积为主的沉积环境和盐土、沼泽土等土壤中 Sn 含量较低。

(4)长江三角洲地区不同沉积环境区土壤和土

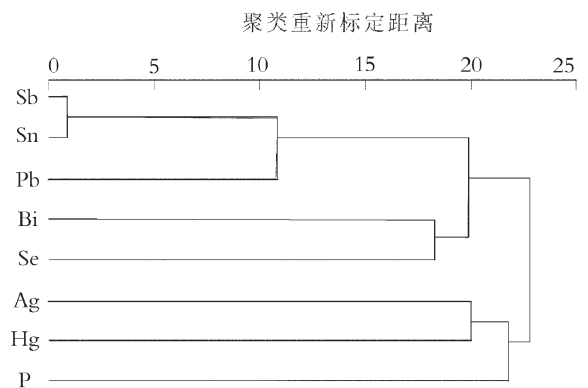


图 5 长江三角洲浅层土壤中元素聚类分析谱系图

Fig. 5 Cluster analysis results of elements in top soil of Yangtze River delta

表 8 土壤中元素的因子结构

Table 8 Factor configuration of elements in soils of Yangtze River delta

主因子	总体	特 征 值		因子构成
		方差贡献率/%	累计方差贡献率/%	
F ₁	2.458	27.311	27.311	Sn、Sb、Pb
F ₂	1.441	16.009	43.32	Ag、Hg
F ₃	1.255	13.942	57.262	Bi、Se
F ₄	1.094	12.154	69.416	P
F ₅	1.001	11.117	80.533	Cu

壤类型中 Sn 元素背景值大于全国土壤背景值,高背景也是造成表层高含量的重要因素。

(5)表层、深层土壤 Sn 含量有一定的相关性,但是相关性不强烈,特别是在含量大于 18.3mg/kg 的区间内相关性小于临界值。这也显示了外源输入对长江三角洲表层土壤中 Sn 含量的强烈影响。

(6)长江三角洲表层土壤中 Sn 元素人为影响严重,元素富集明显,90.39%的土地面积富集 Sn,环境富集系数大于 2 的强富集区面积达 44.03%,沿苏锡常、宁镇扬、杭嘉湖、宁绍等经济带分布。

(7)元素相关分析表明,长江三角洲表层土壤中 Sn 与 Ag、Bi、Hg、P、Pb、Sb、Se、TOC 等有显著正相关关系。因子分析和聚类分析发现,研究区表层土壤 Sn、Sb、Pb 具有相似的成因,Sb、Pb 等元素对表层土壤 Sn 的分布有一定的影响。

参考文献

[1]王家林,葛斌,刘丽丽.海洋环境中的三丁基锡污染[J].环境监测管理与技术,2009,21(6):15-19.
[2]王珊珊,冯流.有机锡化合物的毒性效应及其影响因素[J].安全与环境学报,2005,5(3):12-15.

[3]Jenkins S M, Ehman K, Barone S Jr. Structure-activity comparison of organotin species : dibutyltin is a developmental neurotoxicant in vitro and in vivo[J]. Brain. Res. Dev. Brain. Res., 2004,151(1/2):1-12.
[4]Ciesielski T, Wasik A, Kuklik L, et al. Organotin compounds in the liver tissue of marine mammals from the polish coast of the Baltic sea [J]. Environ. Sci. Technol. ,2004 ,38 (5) :1415-1420.
[5]周名江,李正炎,颜天,等.海洋环境中的有机锡及其对海洋生物的影响[J]. 环境科学进展,1994,2(4):67-74.
[6]曾昭华,曾雪萍.癌症与土壤环境中 Sn 元素的关系[J].土壤与环境,1999,8(4):241-244.
[7]李桃,詹晓黎.微量元素锡与健康[J].广东微量元素科学,2003,10(11): 7-12.
[8]刘英俊,曹励明,李兆麟,等.元素地球化学[M].北京:科学出版社,1984.
[9]迟清华,酆明才.应用地球化学元素丰度数据手册[M].北京:地质出版社,2007.
[10]中国环境监测总站.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990.
[11]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.
[12]夏学齐,陈骏,廖启林,等.南京地区表土镉汞铅含量空间统计分析[J].地球化学,2006,35(1):1-5.
[13]杨志斌,杨忠芳,冯海英,等.沈阳市新城子区土壤重金属元素的空间变异性[J].地质通报,2007,26(11):1480-1485.
[14]黄昌勇.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2000.
[15]周国华,马生明,喻劲松,等.土壤剖面元素分布及其地质、环境意义[J].地质与勘探,2002,38(6):70-75.
[16]杨忠芳,成杭新,奚小环,等.区域生态地球化学评价思路及建议[J].地质通报,2005,24(8):687-693.
[17]朱立新,马生明,周国华,等.冲积平原区土壤组成特征及示踪作用[J].地质与勘探, 2002, 38(4):56-59.
[18]廖启林,林金洋,吴新民,等.南京地区土壤元素的人为活动环境富集系数研究[J].中国地质,2005,32(1):141-147.
[19]孙志国,姚德,梁宏峰,等.多金属结核微层中元素的富集系数特征及其成因[J].海洋地质与第四纪地质,1996, 16(2):65-74.
[20]郭平,张毅军,万婷婷,等.长春市土壤中 Pb 含量、化学形态和空间分布及其影响因素[J].吉林大学学报(地球科学版),2006,36(增刊):113-118.
① 中国地质调查局.多目标区域地球化学调查规范(DD2005-01)、区域地球化学勘查规范(1:200000)(DZ/T 0167-1995).