

文章编号 1001 - 7410(2005)03 - 331 - 09

# 微量元素在湖积物、土壤的垂向分布与稻谷中的分配\*

廖启林 黄顺生 范迪富 吴新民 朱伯万 翁志华  
华明 陈宝 冯金顺

(江苏省地质调查院, 南京 210018)

**摘要** 报道了“江苏省国土生态地球化学调查项目有关湖积物、土壤柱微量元素垂向分布及稻谷样元素分配研究的初步成果。通过对有关样品元素含量的分析对比,指出洪泽湖沉积柱元素垂向分布与其动荡的沉积环境关系密切,太湖局部沉积物在其目前 20cm 以上深度存在人为重金属污染,这二湖沉积物中其氮与总有机碳含量呈显著正相关;认为城市化可使当地土壤环境受重金属等污染的深度显著加大,城市土壤环境受人为活动的影响要显著高于农村;发现 Mo 易富集于稻米、重金属与营养元素易富集于稻皮,各元素在米-谷间的分配关系不确定。

**关键词** 微量元素 湖积物 土壤 稻谷 垂向变化 分配

**中图分类号** P632, P596 **文献标识码** A

## 1 引言

在传统的以探寻矿产资源为基本目的的区域地球化学调查后,作为勘查地球化学的延续与发展,多目标地球化学填图已经或正在国内外应时兴起<sup>[1~5]</sup>。我国正在实施的主要以土壤、浅层地下水及水底沉积物中元素为调查对象、以区域地球化学勘查技术为主要手段、以农林牧等地质环境为主要目的的农业地质调查工作,其目前主要任务就是多目标地球化学填图。土壤属于第四纪地层,查明土壤圈地球化学组成及其物质循环特点,科学把握农业生产、人类生存等所处的生态地质环境,为农业生产、生态环境建设、国土资源合理规划利用等提供地学服务,构成了国内当今农业地质调查,即多目标地球化学填图的基本旋律。江苏目前在全省范围内开展的国土生态地球化学调查工作是上述全国多目标地球化学填图的重要组成部分。

江苏省位于中国东部沿海,地处淮河和长江的下游,第四系地层特别发育,基岩出露范围仅占全省国土面积的 10% 左右,全省地貌以平原为主,具有开展全域多目标地球化学填图的优厚条件,实施国土生态地球化学调查已经两年多。笔者曾公开报道过该项目前期调查的部分成果资料<sup>[6,7]</sup>,在从事江苏的国土生态地球化学调查与评价实践中,深感全

国这么一项浩大的地学新事业,方法技术支撑始终未有效解决,对一些基本生态地球化学调查数据的分析与解释也急需传统地学人员进一步拓宽思路。本文将江苏开展生态地球化学调查与评价所积累的有关湖积物、土壤柱及稻谷的微量元素分布、分配资料做一初步归纳整理,发表于此,期望能为国内同行开展类似研究提供点滴借鉴,并请赐正。

## 2 研究内容及其主要方法

### 2.1 湖积物元素含量垂向的研究、采集与方法

湖泊沉积物是流域环境变化及人类对环境影响的档案记录,研究不同时段湖泊沉积物的组成与特征已成为了解局部环境演变的重要途径<sup>[8,9]</sup>。江苏省湖泊众多,太湖、洪泽湖为本省第一、第二大湖。考虑到太湖北部梅梁湾一带湖积物相对比较发育,且这一带也是入湖河道水质最差的地区<sup>[10]</sup>;洪泽湖是个过水湖,以前研究其湖积物的报道不多,于是分别在太湖梅梁湾一带和洪泽湖近中心处共选择了 3 个无扰动湖积柱进行其微量元素含量垂向变化研究,每个柱状湖积物试验样的基本情况见表 1。各湖积柱从上至下(浅-深)分割为若干个测试样品(子样):0~20cm 深度按照 2cm 间隔截取 1 个分析样品,20~150cm 深度按照 5cm 间隔截取 1 个分析

第一作者简介:廖启林 男 41 岁 高级工程师 博士 地球化学专业 E-mail: liaoqilin64@jssmail.com.cn

\*中国地质调查局与江苏省人民政府合作的“江苏省国土生态地球化学调查项目(批准号:200312300008和 200312300009-03)资助  
2005-02-10 收稿,2005-03-16 收修改稿

表 1 湖积物试验样基本特征

Table 1 The basic characteristics of relevant testing samples from lake sediments

样号	产地	采样时间和器具	地理位置	样柱长/cm	实地采样描述
TS2-1	太湖北部 梅梁湾	2003年11月,用 水上钻机平台(从 奥地利进口)采集	31°29'1"N, 120°12'5"E	192	湖水深度2.3m。样柱从上到下:0~8cm为浅黄色淤泥;8~34cm为黑色粘土层,含较高有机质;34~192cm为浅黄褐色,颜色随深度变化不明显,其中114~136cm为较稀软泥
THS	太湖北部 梅梁湾	采于2004年6 月,用重力采样器 采集	31°27'53"N, 120°9'36"E	200	湖水深2.8m。样柱从上到下:0~22cm为灰黄色夹青灰色淤泥,有机质偏高;22~62cm为青灰色含粉砂质淤泥;62~110cm为青灰色至青黑色含淤泥粉砂;110~200cm为青黑色粉砂,其中110~115cm和195~200cm柱样色稍偏黄
HZS	洪泽湖 西北偏中	采于2004年6 月,用重力采样器 采集	33°17'18"N, 118°31'29"E	200	湖水深2m。样柱从上到下:0~16cm为灰黄色淤泥,夹少量不均匀青黑色淤泥;16~58cm青灰色亚粘土,其中植物根系、腐殖质残留较多;58~200cm为灰黄色亚粘土,其中106~126cm以青灰色亚粘土为主

样品,150cm以下深度按照10cm间隔截取1个分析样品。每个子样重量大约10g,经自然风干、揉碎、用石英研钵人工磨细至200目,统一送到同一实验室进行化验分析。3个湖积柱试验样(TS2-1, THS和HZS)中TS2-1分析项目较多,另外2个分析项目较少(主要为重金属+营养指标)。

## 2.2 典型土壤柱元素含量垂向对比的研究和方法

利用江苏省地质调查研究院自制的深层取土器,有针对性在全省范围内采集代表性土壤柱样品约50个,每个土壤柱控制深度150~250cm不等(以200cm左右深度居多),按照10~20cm间隔分取不同深度的分析子样,通常1个土壤柱约分析测试10个子样,每个分析子样经自然揉碎、混匀、过20目富集粒度筛后,取出30g左右送到实验室统一细磨至200目后再进行有关元素含量分析测试,不同时间、不同地点采集的土壤柱试验样品加工程序与测试要求完全相同(分析项目因侧重点不同可以有所差异)。本次研究选择了江苏省扬中、洪泽和南京市郊的3个分别来自城市、城市化发展很快的农村、附近无工厂之农村背景下的土壤柱。

## 2.3 稻谷中微量元素分配研究和方法

将一批成熟稻谷样品通过用清水、蒸馏水清洗干净后,自然晾干,1个样品均分为3个部分,用石英研钵人工将每份样分别加工成稻皮(不含米)、稻米(不含皮)、稻谷(皮、米混合)等3个分析子样,每个子样充分混匀、统一磨细至60目以下,然后从中分出15g样品统一送到实验室做指定项目的分析测试,确保同一个稻谷样品一个元素同时获得3个含量(分别代表米、皮、谷),然后通过这批分析数据探

讨有关稻谷样的元素分配特征。

上述样品分析测试全部由江苏省地质调查研究院测试研究所完成。

## 3 结果与讨论

### 3.1 湖积物中微量元素的垂向分布

对太湖而言,近几年国内报道其湖积物微量元素分布、分配的文献较多<sup>[11~16]</sup>。从本次在太湖、洪泽湖新获得的湖积柱之重金属与营养元素含量的垂向变化来看(图1),可发现两湖的代表性无扰动湖积柱的元素垂向分布差异比较明显。太湖北部梅梁湾湖积柱(THS)具有3个特点:1)在约15cm深度出现了多个重金属元素与大部分营养元素(N, K, 总有机碳等)的最高含量;2)约60cm深度以下大多数元素含量基本趋于平稳(无太显著突变);3)约8cm以上P含量相对偏低而至40cm以下其含量反而稳定且偏高。其第2个特点与现场观测到的62cm以下的湖积物主要为一套不同色的淤泥粉砂质相吻合(见表1),可以初步判断这一套湖积物应是未受到人为污染的;而第1个特点从现场观测描述中无法找到任何证据,但有人研究太湖重金属污染历史时认为其上部13cm的湖积物大致代表1930年以后所沉积,最早的工业来源重金属污染就始这一时期<sup>[16]</sup>,这一结论在太湖沉积物中若有一定普遍性的话,可为本次新发现的太湖约15cm深度出现多元素含量显著突变提供较合理解释;而其浅表淤泥中P含量反而偏低,这是否能反映自1998年后太湖底泥中P和N含量总体趋于降低<sup>[14]</sup>,还有待进一步证实。就洪泽湖HZS湖积柱而言,Hg, Pb, P等元素在约16cm深度以下出现显著降低,总有机碳(TOC)、

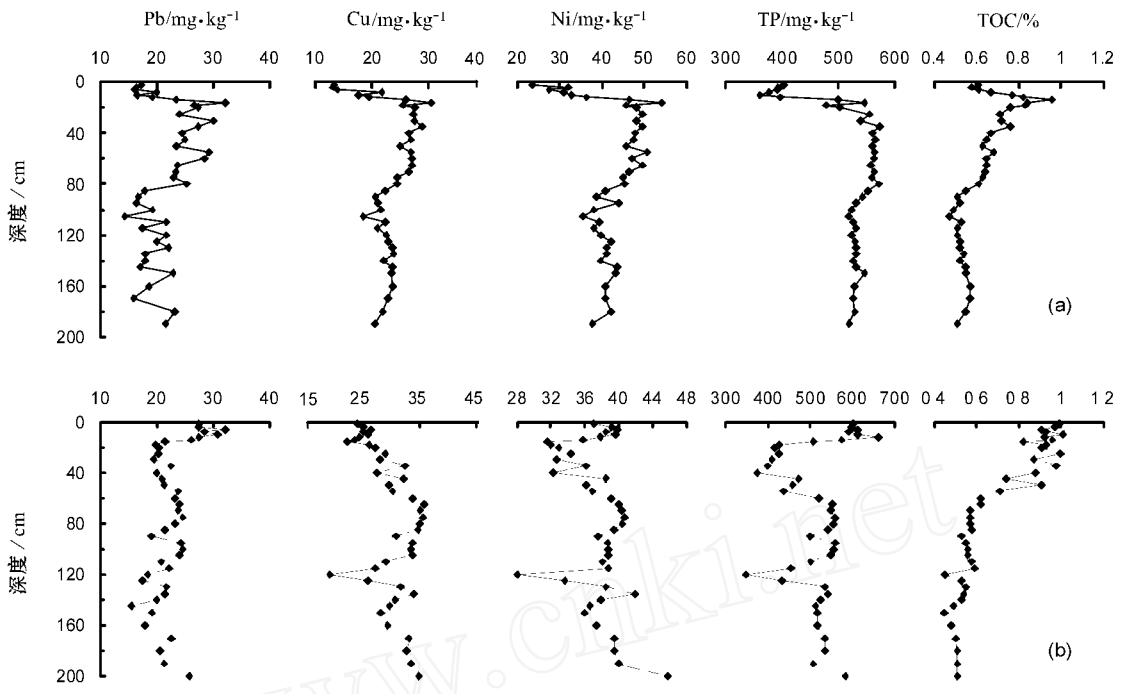


图 1 太湖、洪泽湖沉积物 Pb, Cu, Ni, TP(总磷)与 TOC(总有机碳)随深度变化趋势  
(a)太湖无扰动沉积柱 (THS) (b)洪泽湖无扰动沉积柱 (HZS)

Fig 1 Vertical distribution of lead, copper, nickel, total phosphorus, and total organic carbon in sediments from Taihu and Hongzhu Lake

N含量在约 60cm 深度以下渐趋稳定,在约 120cm 深度附近出现了多个元素一致的低含量拐点。在本湖积柱以上 3个深度附近都能找到部分沉积物存在自然分界的特征(见表 1)。因该湖为一过水湖,沉积环境更不稳定,使得其沉积物元素垂向分布显示了更多的来回变动特征。

对同产于太湖北部梅梁湾地区两个沉积柱 (THS和 TS2 - 1)的 Co和 N含量垂向分布对比发

现(图 2),其两个湖积柱的元素含量总体垂向变化趋势一致,而同一样品的不同元素比不同样品的同一元素含量变化趋势更加接近。这两个点相距甚近(距离相差约 4.2km,但 TS2 - 1更靠近入河口)、采样时间仅差半年(TS2 - 1早采半年),其元素含量变化曲线基本相似是正常的,两次的结果都表明在太湖的梅梁湾一带湖积物 20cm 以上深度存在一个元素含量突变点,与前述的重金属与营养元素的垂向

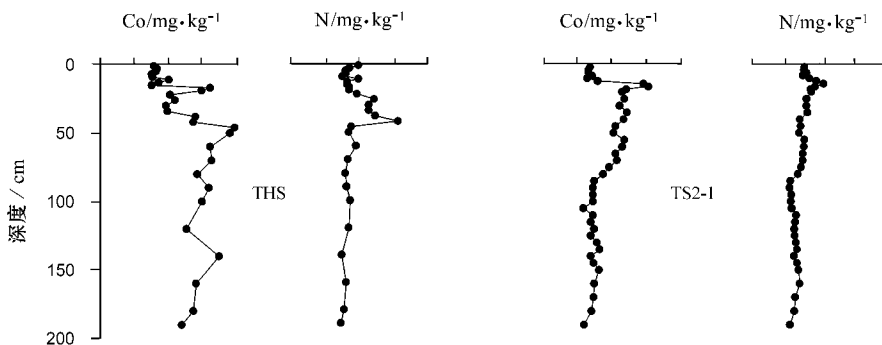


图 2 太湖梅梁湾地区两个沉积柱样 (THS和 TS2 - 1) Co和 N含量垂向变化

Fig 2 Vertical characteristics of cobalt and nitrogen for core samples (Na THS and Na TS2 - 1) of bottom sediments from the Meiliangwan areas in Taihu Lake

分析结果吻合,可以初步认为本地湖积物在 20cm 深度以上与其余部位在污染物来源与成因上的确存在差异。

对比太湖 TS2 - 1号湖积柱 Th, U, Sc, La 等元素的垂向变化特点发现(图 3),这 4 个元素在 40cm 以上深度稍显一定的变化起伏,而在 40cm 以下深度其含量总体趋于平稳,这与肉眼观察该湖积柱在 34cm 深度附近出现清晰的颜色变化、粘土矿物含量也发生了明显变化(见表 1)是基本对应的。因为正

常情况下这些元素在沉积过程中受人为污染的可能性比较小,更能够反映湖积物沉积过程中的物源特性,而 Th, U, Sc, La 等元素含量在该沉积柱 20cm 以上深度未出现明显的突变,说明这一时期沉积的基本物质来源未有明显改变(经肉眼现场观察也基本如此),而重金属、营养元素等在这一时期却出现了明显的含量增加,由此可大致判断太湖内梅梁湾一带湖积物受人为污染主要集中在 20cm 以上深度。

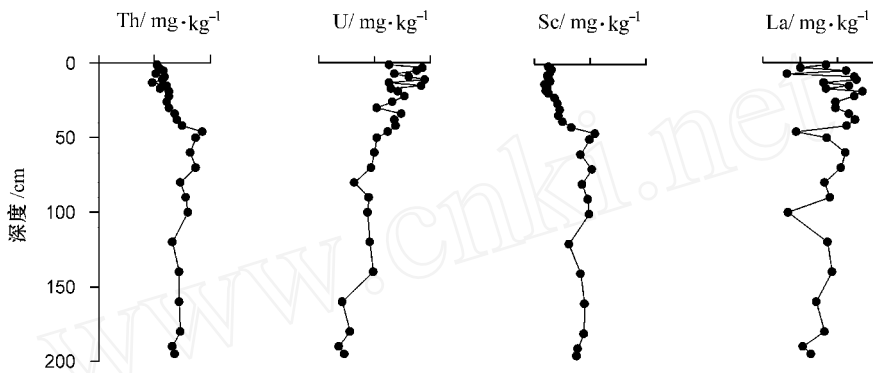


图 3 TS2 - 1号湖积柱 Th, U, Sc 和 La 含量垂向变化

Fig 3 Vertical characteristics of thorium, uranium, scandium and lanthanum for core sample No. TS2 - 1 of bottom sediments in Taihu Lake

国外学者曾发现湖积物中重金属元素含量与其有机质含量存在较大相关性<sup>[17, 18]</sup>,前人也发现太湖沉积物中大多数微量元素与有机质含量存在显著正相关<sup>[15]</sup>,但本次对比太湖、洪泽湖两个沉积柱样(THS和HZS)各个元素与 TOC 的相关性时(图 4)发现,仅重金属元素 Hg 与 TOC 存在一定正相关关系,其他重金属元素与 TOC 的正相关性总体不明显(有个别负相关的),这是否因本次所采湖积柱样比较深(近 200cm)、前人研究的太湖沉积物元素含量报道多未超过 120cm 深度<sup>[13, 15]</sup>有一定关系。但这次却发现了太湖和洪泽湖沉积柱中总氮(TN)与 TOC 都存在显著正相关,并从上到下如此(见图 4)。国内最近在武汉东湖也有其湖积物中 TN 与 TOC 存在显著正相关的报道<sup>[19]</sup>,看来这一现象并非偶然。

### 3.2 典型土壤柱有关元素垂向分布对比研究结果

江苏省是最先完成其全部国土土壤地球化学调查的省份,研究不同背景下土壤柱的元素含量变化对于揭示全省土壤地球化学调查数据中所蕴涵的信息具有非常意义。国内曾就城市化进程中土壤环境质量演化,尤其是对其微量元素的变化做过不少研

究<sup>[20~23]</sup>,本次通过对江苏省扬中、洪泽和南京市郊 3 个代表性土壤柱重金属元素垂向分布对比研究,发现了城市化对局部土壤重金属的垂向迁移富集具有显著影响。图 5 为 3 个代表性土壤柱的有关重金属元素垂向分布,每个土壤柱产地周边环境概况列于表 2。

从 Cd, Hg, Cr 和 As 共 4 个元素的含量变化来看,产自典型农业区的洪泽地区土壤柱从上至下基本没明显变化,以 Hg 最为明显,其含量从表到浅非常接近,不同深度近乎 1 个含量。

南京市郊工业区的土壤柱元素含量随深度变化异常明显,该土壤柱取自一大型冶金企业所在地主风向侧,该企业兴建已经超过 30 年,每天经过气、水、废等渠道排向其周边土壤的重金属元素(Cu, Pb, Zn, As, Cr, Ni 等)数量不能忽视。其局部土壤环境中重金属元素长期积累并逐步向深部土壤转移是自然的,使得该土壤柱 4 种元素 Cd, Hg, Cr 和 As 出现第 1 个突变点的深度都超过了 50cm,而 Cr 和 As 出现最高含量的土壤深度已经达到 100cm,前人也曾报道过在南京市区土壤环境中其部分重金属的最大影响深度已超过 100cm<sup>[21, 22]</sup>,可见人类活动对局

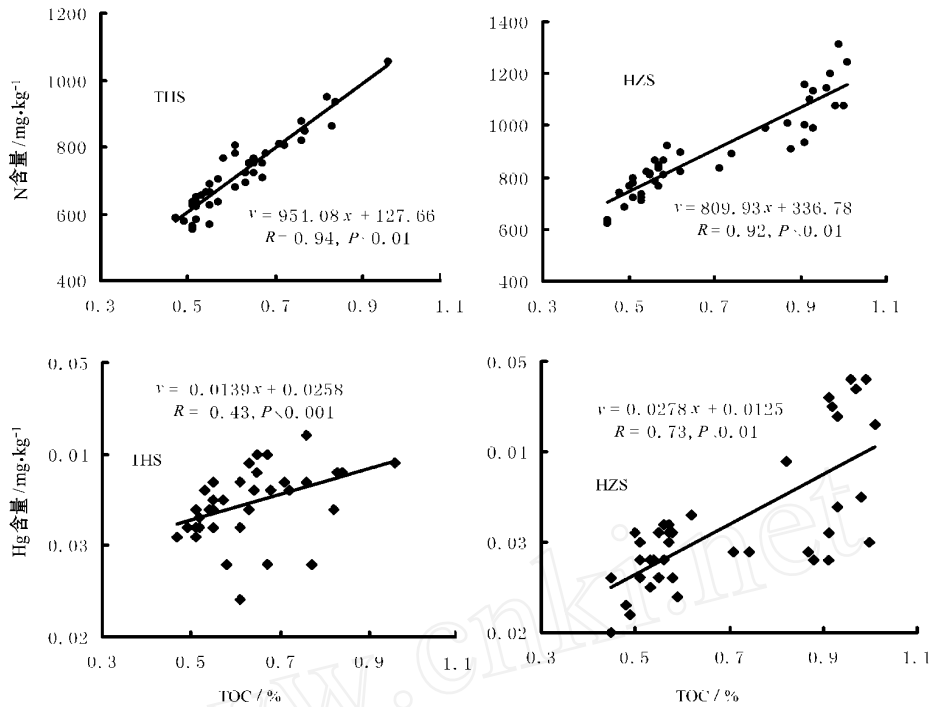


图 4 太湖 (THS)、洪泽湖 (HZS) 沉积物有机碳与 N 和 Hg 的相关性

Fig 4 Correlations of organic carbon vs nitrogen and mercury in sediments from Taihu and Hongze Lake

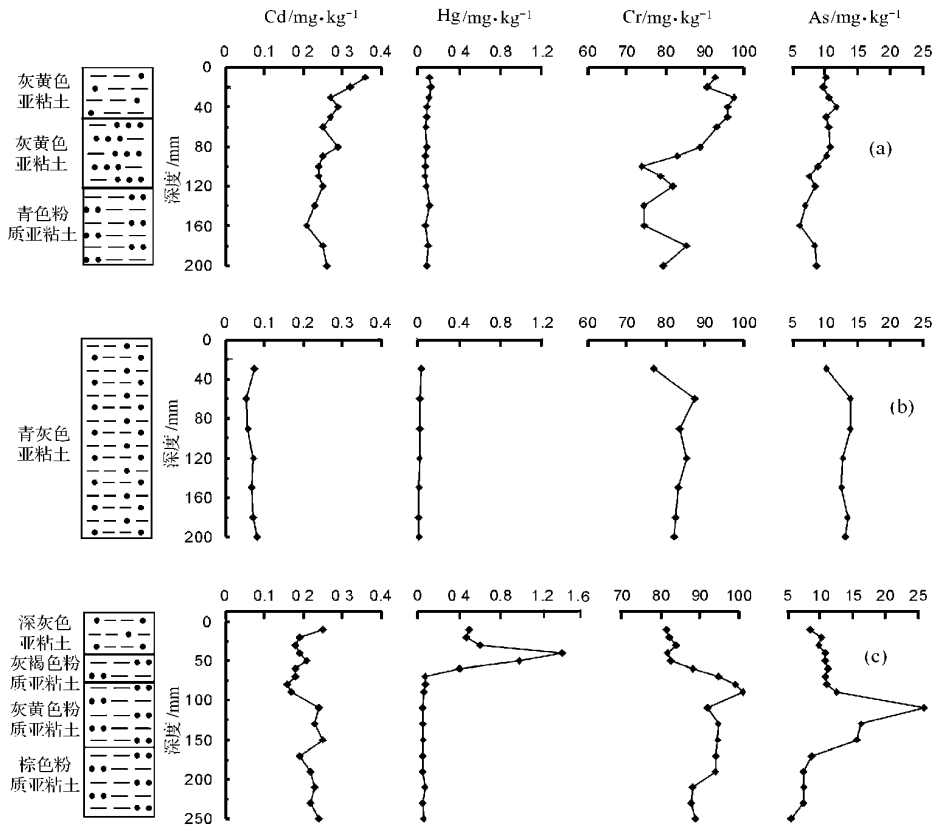


图 5 江苏省不同地区土壤中 Cd, Hg, Cr 和 As 随深度变化趋势

(a) 扬中土壤柱 (b) 洪泽土壤柱 (c) 南京市郊土壤柱

Fig 5 Vertical changes of Cd, Hg, Cr and As within soils from different areas in Jiangsu

表 2 3 个试验土壤柱样产出环境对比

Table 2 Relevant background for the producing areas of 3 testing soil-column samples

样名	产地	第四系沉积背景	成土母质	土壤类型与利用现状	周边工业
扬中土壤柱	镇江扬中市三茅镇附近(长江上一“江心岛”)	周边地势平坦、四周为长江,划属全新统地层、下部土壤含砂较高	长江冲积层	水稻土,乡镇企业发达地的农田、种植粮食	城市化进程快、乡镇企业林立、附近曾有电镀厂等
洪泽土壤柱	洪泽湖东侧洪泽县城东双沟乡	淮河入海冲积盆地、从上到下为一色清灰色亚粘土,划属全新统地层	淮河流域外来冲、洪积物	水稻土,典型农业区农田、种植粮食等	附近无工厂
南京市郊土壤柱	南京市江宁区梅山冶金集团下风口处	靠近长江南岸宁-芜盆地一低洼处,属全新统地层,可分不同色亚粘土	长江冲积层	水稻土,城市郊区附近的农田、种植蔬菜、水稻	靠近大型冶金企业下风口、附近蔬菜地污染严重

部土壤环境重金属等元素向深部富集是显然的。

扬中市土壤柱的情况刚好介于上述二者之间,一方面当地受城市化影响较明显,乡镇企业发达,小型电镀厂曾在当地比较流行、人口密度较大;另一方面当地还种植大片农作物、农田还占有一定规模,从而导致该土壤柱的重金属等元素垂向分布特点刚好介于洪泽和南京市郊土壤柱之间,Cr, Cd, Pb等元素在40cm左右深度内出现了明显富集,而As, Hg等元素基本保持自然分布状态。

以上对比说明,城市化发展对当地土壤环境的改变是不可忽视的,伴随城市化的一些人类活动不仅增加了当地土壤环境中重金属等污染物的总量、而且也使得当地土壤的受污染深度显著加大,城市化可以使当地土壤环境中重金属元素发生快速富集,前几年在江苏吴县(今苏州市吴中区)也有报道<sup>[23]</sup>。这一发现还提示我们,目前国内推行的采集20cm以上深度土壤样品反映人为活动土壤环境的现状<sup>[6,7]</sup>,这在一些城市化强烈的局部地区是不够全面的。

### 3.3 微量元素在稻谷中的分配

对产于苏南不同地区的一批稻谷样进行了其稻米、稻皮、稻谷三者有关元素含量的单独分析测试,总共分析了14个稻谷样品,每个稻谷样品同时具备其稻米、稻皮、稻谷的元素含量数据,其代表性样品的分析数据见表3。

比较上述稻谷样品的元素含量数据后发现,Mo更倾向于在稻米中富集;Se总体而言是稻皮高于稻米,但当稻谷中Se含量超过2mg/kg时,稻米中含Se与稻皮接近甚至偏高,说明正常情况下,稻皮比稻米更容易吸收富集Se,但当在特殊的富硒环境下、具有充足硒源时,若稻皮中吸收Se达到“饱和”

后,有可能使充足的Se为稻米所吸收,以至最后在极富Se稻谷中出现米含Se比稻皮还高的现象;Ca, Fe, Mn, Co, Ni, Cd, Pb等元素普遍呈现为稻皮的含量明显高于稻米,说明一些有益元素与有毒重金属元素都更倾向于富集于稻皮;Zn, Mg, Cu等元素表现为稻米中含量普遍低于稻皮,但其稻米与稻谷含量总体差异不是太显著;As在稻米、稻皮中的分配总得说来是稻皮含As普遍高于米,但也有部分样品则显得二者含量接近,甚至在个别样品中出现米含As超过稻皮的现象。对每个样品各元素含量的稻米/稻谷值进行对比后,发现这批样品中各元素在稻米、稻谷含量之间都不存在一个比较接近的分配系数,设想用测定稻谷的元素含量来求取其稻米元素含量的思路未找到有力依据。

## 4 结论

通过对江苏省湖积物、土壤柱微量元素垂向分布及稻谷样元素分配的生态地球化学调查和研究,得到以下结论:

(1)太湖、洪泽湖代表性无扰动沉积物的元素垂向分布特征存在一定差异。洪泽湖沉积柱的元素垂向分布基本与其沉积物的可见分界线相吻合,反映其湖积柱微量元素含量垂向变化总体受自然沉积过程的差异所控制;太湖梅梁湾地区沉积柱存在较清晰的人为重金属(也包括部分营养元素)污染线索,其人为污染物主要集中在其目前20cm深度上部的沉积物中,其沉积物中重金属元素与有机碳含量的相关性总体不明显。太湖与洪泽湖代表性湖积柱元素分配中都呈现了一致的氮与总有机碳含量的显著正相关。

(2)典型土壤柱有关元素垂向分布对比研究表明城市化不仅增加了当地土壤环境中重金属等污染

表3 有关稻谷试验样微量元素分析结果\*

Table 3 The trace element contents of some testing samples of paddy

样品号	As	Se	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Zn	Co	Ni	Mo	Cd	Pb
DY36(米)	0.18	0.10	227	3.08	33.7	959	13.6	17.4	11.4	419	529	21.9	264
DY36(皮)	0.71	0.16	2 683	4.11	247	2 003	58.8	32.9	88.2	867	334	50.3	1 774
DY36(谷)	0.35	0.12	894	4.06	208	1 353	32.4	21.7	42.1	1 974	500	30.8	787
该样米/谷	0.51	0.83	0.25	0.76	0.16	0.71	0.42	0.80	0.27	0.21	1.06	0.71	0.34
DY38(米)	0.24	0.43	240	2.60	37	919	37.2	15.7	12.8	365	682	18.0	254
DY38(皮)	0.89	0.56	2 208	3.20	283	818	193	27.7	102	646	499	47.4	1 762
DY38(谷)	0.29	0.45	537	2.96	56.4	779	69.8	15.5	24.2	199	638	23.6	430
该样米/谷	0.83	0.96	0.45	0.88	0.66	1.18	0.53	1.01	0.53	1.83	1.07	0.76	0.59
DY39(米)	0.20	0.15	420	3.29	53.9	954	34.1	23.0	20.1	322	545	21.2	338
DY39(皮)	0.93	0.16	3 525	3.34	237	1 241	169	25.5	116	772	366	43.9	1 449
DY39(谷)	0.25	0.17	1 139	3.74	68.8	1 003	78.3	20.9	34.1	428	453	24.8	393
该样米/谷	0.80	0.88	0.37	0.88	0.78	0.95	0.44	1.10	0.59	0.75	1.20	0.85	0.86
DY40(米)	0.18	0.20	151	2.40	20.8	799	30.6	16.5	11.5	265	549	57.8	249
DY40(皮)	0.85	0.28	2 394	4.21	327	1 163	253	31.2	139	1 132	480	91.0	1 729
DY40(谷)	0.22	0.22	498	3.49	41.0	1 093	96.2	23.5	26.6	380	459	76.6	428
该样米/谷	0.82	0.91	0.30	0.69	0.51	0.73	0.32	0.70	0.43	0.70	1.20	0.75	0.58
DY43(米)	0.17	2.77	194	3.04	28.9	754	31.6	16.4	11.2	235	581	20.2	210
DY43(皮)	0.37	2.59	1 851	3.47	188	1 369	185	27.9	92.1	581	482	46.8	1 328
DY43(谷)	0.26	2.70	394	3.27	60.4	646	57.4	15.9	26.6	514	542	25.1	379
该样米/谷	0.65	1.03	0.49	0.93	0.48	1.17	0.55	1.03	0.42	0.46	1.07	0.80	0.55
DY46(米)	0.18	2.78	178	2.14	17.6	795	20.0	19.1	8.3	143	590	13.4	149
DY46(皮)	0.42	2.01	3 542	2.88	285	1 142	145	28.0	125	1 976	460	51.2	1 571
DY46(谷)	0.25	2.67	690	2.76	70.5	946	46.3	20.5	32.9	345	549	21.5	423
该样米/谷	0.72	1.04	0.26	0.78	0.25	0.84	0.43	0.93	0.25	0.41	1.07	0.62	0.35
PJ607(米)	0.22	0.066	159	3.88	39.8	1 048	30.4	18.6	12.1	294	493	39.3	275
PJ607(皮)	0.35	0.077	1 384	4.47	104	1 202	186	32.7	54.6	810	354	48.5	1 770
PJ607(谷)	0.23	0.078	360	4.92	51.1	1 082	74.9	21.8	22.7	428	448	41.7	500
该样米/谷	0.96	0.85	0.44	0.79	0.78	0.97	0.41	0.85	0.53	0.69	1.10	0.94	0.55
PJ676(米)	0.23	0.057	148	1.86	24.2	1 165	25.4	19.0	8.4	247	423	17.4	229
PJ676(皮)	0.53	0.067	1 125	2.38	88.0	1 377	83.7	29.0	37.7	439	250	42.4	1 364
PJ676(谷)	0.34	0.065	387	2.44	47.7	1 138	46.2	21.9	21.2	276	349	27.4	409
该样米/谷	0.68	0.88	0.38	0.76	0.51	1.02	0.55	0.87	0.40	0.89	1.21	0.64	0.56

\* 单位:Co,Ni,Mo,Cd和Pb为 $10^{-9}$ 或 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,其余为 $10^{-6}$ 或 $\text{mg}/\text{kg}$ ;米/谷为无量纲

物的总量,而且也使得当地土壤受到重金属等污染的程度显著加大。城市土壤环境受人为活动的影响深度要显著高于农村,一些城市化发展很快的局部地区,选取其上部20cm深度的土壤样品代表其人为活动影响下的表层土壤环境现状是欠全面的。

(3)微量元素在稻谷中的分配研究表明,Mo更倾向于在稻米中富集;Se总体优先选择富集于稻米;Ca,Fe,Mn,Co,Ni,Cd,Pb等元素普遍呈现为稻皮的含量明显高于稻米;Zn,Mg,Cu,As等元素表现为稻米中含量普遍低于稻皮,但差异不太显著。各

元素在稻米、稻谷含量之间分配关系不确定。

致谢 本文是在“江苏省国土生态地球化学调查”项目前期部分研究资料的基础上加工整理而成,直接参加该项目研究工作的还有金洋、毕葵森、张祥云、葛云、潘永敏、仇慎平、颜朝阳、孙磊等同志,薛水根教授作为项目技术顾问参与了该项目有关研究工作,成文中得到南京大学地球科学系吴昀昭博士诸多帮助,江苏省地质调查院的领导及江苏省国土资源厅的分管领导对该项目工作给予了诸多关怀

指教,在此一并诚致谢忱!

### 参考文献 (References)

- 1 谢学锦. 进入 21 世纪的勘查地球化学. 中国地质, 2001, 28 (4): 11 ~ 18  
Xie Xuejing Exploration geochemistry into 21st century. *Chinese Geology*, 2001, 28 (4): 11 ~ 18
- 2 Borrego J, Morales J A, Torre M L *et al* Geochemical characteristics of heavy metal pollution in surface sediments of Tinto and Odiel River estuary (Southwestern Spain). *Environmental Geology*, 2002, 41: 785 ~ 796
- 3 Koval P V, Burenkov E K, Golovin A A. Introduction to the program "Multipurpose geochemical mapping of Russia". *Journal of Geochemical Exploration*, 1995, 55 (1 ~ 3): 115 ~ 123
- 4 Burenkov E K, Golovin A A, Morozova I A *et al* Multipurpose geochemical mapping (1: 1 000 000) as a basis for the integrated assessment of natural resources and ecological problems. *Journal of Geochemical Exploration*, 1999, 66 (1 ~ 2): 159 ~ 172
- 5 Damley A G. International geochemical mapping—A review. *Journal of Geochemical Exploration*, 1995, 55 (1 ~ 3): 5 ~ 10
- 6 廖启林, 吴新民, 翁志华等. 南京地区多目标地球化学调查基本成果及其相关问题初探. 中国地质, 2004, 31 (1): 70 ~ 77  
Liao Qilin, Wu Xinmin, Weng Zhihua *et al* Basic results of multi-target geochemical survey in the Nanjing area and its relevant problems. *Geology in China*, 2004, 31 (1): 70 ~ 77
- 7 廖启林, 吴新民, 金 洋. 南京 - 镇江地区多目标地球化学调查初步成果. 物探与化探, 2004, 28 (3): 257 ~ 260  
Liao Qilin, Wu Xinmin, Jin Yang Preliminary achievements of multi-objective geochemical survey in Nanjing-Zhenjiang area. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 2004, 28 (3): 257 ~ 260
- 8 von Gunten H R, Stum M, Moser R N. 200-years record of metals in lake sediments and nature background concentrations. *Environmental Science and Technology*, 1997, 31: 2 193 ~ 2 197
- 9 刘 强, 游海涛, 刘嘉麒. 湖泊沉积物年纹层的研究方法及其意义. 第四纪研究, 2004, 24 (6): 683 ~ 694  
Liu Qiang, You Haitao, Liu Jiaqi Methodology of studying on varved lake sediments and its significance. *Quaternary Sciences*, 2004, 24 (6): 683 ~ 694
- 10 刘兆德, 虞孝感, 王志宪. 太湖流域水环境污染现状与治理的新建议. 自然资源学报, 2003, 18 (4): 467 ~ 474  
Liu Zhaode, Yu Xiaogan, Wang Zhixian The current water pollution of Taihu drainage basin and the new management proposals. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18 (4): 467 ~ 474
- 11 戴秀丽, 孙 成. 太湖沉积物中重金属污染状况及分布特征探讨. 上海环境科学, 2001, 20 (2): 71 ~ 74  
Dai Xiuli, Sun Cheng The characteristics of heavy metals distribution and pollution in sediment from Lake Taihu. *Shanghai Environmental Sciences*, 2001, 20 (2): 71 ~ 74
- 12 王 海, 王春霞, 王子健. 太湖表层沉积物中重金属的形态分析. 环境化学, 2002, 21 (5): 430 ~ 435  
Wang Hai, Wang Chunxia, Wang Zijian Speciations of heavy metals in surface sediment of Taihu Lake. *Environmental Chemistry*, 2002, 21 (5): 430 ~ 435
- 13 袁旭音, 陈 骏, 季峻峰等. 太湖沉积物和湖岸土壤的污染元素特征及环境变化效应. 沉积学报, 2002, 20 (3): 427 ~ 434  
Yuan Xuyin, Chen Jun, Ji Junfeng *et al* Characteristics and environmental changes of pollution elements in Taihu sediments and soils near the lake. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2002, 20 (3): 427 ~ 434
- 14 袁旭音, 陈 骏, 陶于祥等. 太湖北部底泥中氮、磷的空间变化和环境意义. 地球化学, 2002, 31 (4): 321 ~ 328  
Yuan Xuyin, Chen Jun, Tao Yuxiang *et al* Spatial characteristics and environmental implication of nitrogen and phosphorus from bottom sediments in northern Taihu Lake. *Geochimica*, 2002, 31 (4): 321 ~ 328
- 15 袁旭音, 陈 骏, 吕宝源等. 太湖沉积物微量元素特征和变化: 自然与人类活动的影响. 地质论评, 2003, 49 (5): 552 ~ 560  
Yuan Xuyin, Chen Jun, Lü Baoyuan *et al* Characteristics and variation of trace elements in sediments from Taihu Lake: Effects of natural processes and human activities. *Geological Review*, 2003, 49 (5): 552 ~ 560
- 16 刘恩峰, 沈 吉, 朱育新等. 太湖沉积物重金属及营养盐污染研究. 沉积学报, 2004, 22 (3): 507 ~ 512  
Liu Enfeng, Shen Ji, Zhu Yuxin *et al* Heavy metals and nutrients pollution in sediments of Taihu Lake. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22 (3): 507 ~ 512
- 17 Rasmussen P E, Villard D J, Gardner H D *et al* Mercury in lake sediments of Precambrian Shield near Huntsville, Ontario, Canada. *Environmental Geology*, 1998, 33: 170 ~ 181
- 18 Bilali L E, Rasmussen P E, Hall G E M *et al* Role of sediment composition in trace metal distribution in lake sediments. *Applied Geochemistry*, 2002, 17 (9): 1 171 ~ 1 181
- 19 杨 洪, 易朝路, 谢 平等. 武汉东湖沉积物碳氮磷垂向分布研究. 地球化学, 2004, 33 (5): 507 ~ 514  
Yang Hong, Yi Chaolu, Xie Ping *et al* Vertical distribution of carbon, nitrogen and phosphorus of sediments at Stations and in Lake Donghu, Wuhan. *Geochimica*, 2004, 33 (5): 507 ~ 514
- 20 张甘霖, 朱永官, 傅伯杰. 城市土壤质量演变及其生态环境效应. 生态学报, 2003, 23 (3): 539 ~ 546  
Zhang Ganlin, Zhu Yongguan, Fu Bojie Quality changes of soils in urban and suburban areas and its eco-environmental impacts—A review. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (3): 539 ~ 546
- 21 张甘霖, 卢 瑛, 龚子同等. 南京市城市土壤某些元素的富集特征及其对浅层地下水的影响. 第四纪研究, 2003, 23 (4): 446 ~ 455  
Zhang Ganlin, Lu Ying, Gong Zitong *et al* Enrichment of some elements in urban soils of Nanjing and its impact on groundwater. *Quaternary Sciences*, 2003, 23 (4): 446 ~ 455
- 22 杨凤根, 张甘霖, 龚子同等. 南京市历史文化层中土壤重金属元素的分布规律初探. 第四纪研究, 2004, 24 (2): 203 ~ 212  
Yang Fenggen, Zhang Ganlin, Gong Zitong *et al* Distribution of heavy metals in cultural layers of urban soils in Nanjing. *Quaternary Sciences*, 2004, 24 (2): 203 ~ 212



- 23 潘根兴, 成杰民, 高建琴等. 江苏吴县土壤环境中某些重金属元素的变化. 长江流域资源与环境, 2000, 9(1): 51~55  
 Pan Genxing, Chen Jiemín, Gao Jianqin *et al*. On the change of status of some heavy metal elements in soil environment under intensive economical development. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2000, 9(1): 51~55

## VERTICAL DISTRIBUTION IN LAKE SEDIMENTS AND SOILS AND PARTITION WITHIN PADDY FOR RELEVANT TRACE ELEMENTS: PRELIMINARY TESTING RESULTS FROM ECO-GEOCHEMICAL SURVEY IN JIANGSU

Liao Qilin    Huang Shunsheng    Fan Difu    Wu Ximin    Zhu Bowan  
 Weng Zihua    Hua Ming    Chen Bao    Feng Jinshun

(Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018)

### Abstract

The preliminary testing results obtained through ecological geochemical survey and assessment of Jiangsu Province include vertical distribution of relevant trace elements in part lake sediments, vertical variability of some element contents with depth within typical soil samples, and trace element partition between rice and husks in the paddy. By analyzing and contrasting elements' contents and its change within relevant studied samples, basic conclusions have been obtained as the following: (1) vertical distribution of relevant trace elements of bottom sediments is mainly controlled by changing depositing environment in Hongzehu Lake, and there is a obvious relative enrichment trend of heavy metals at about 20cm deep ranges in upper sediments in Taihu Lake, so it is thought that there is obvious artificial pollution of heavy metals in its present upper 0~20cm depth sediments from some local areas of Taihu Lake, and there is a distinct positive correlation between nitrogen and total organic carbon in sediments from Taihu and Hongzehu Lake; (2) vertical characteristics of heavy metal elements within typical soil columns shows urbanization resulted in more complicated variation of element contents at different soil depths and made soil depth polluted by heavy metals become deeper sharply in some urban and its suburb, and the human activity has more influences on environmental change of soil on urban than on rural ones; (3) experimental data from some testing samples of paddy point out that molybdenum is liable to enrichment in rice, and other heavy metal and health-giving trace elements, for example for Zn, Co, Ni, Cd, Pb, As, Se, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, and so on, are liable to enriched in husk of paddy at most, there is not a very obvious and constant partition relationship between rice and paddy for every elements in total 14 testing samples. Above stated studying experiences and its information can provide a part of helpful clues and suggestions for present developing agro-geological survey in our nation.

**Key words**    trace elements, lake sediments, soils, paddy, vertical distribution, partition