

# 秦淮河河谷平原中部土壤汞污染分布特征及其影响研究

潘永敏, 吴新民, 华 明, 廖启林, 黄顺生, 金 洋

(江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018)

**摘要:**对南京秦淮河河谷平原中部土壤 Hg 污染分布特征及其影响进行了研究。结果表明, 秦淮河河谷平原中部表层土壤 Hg 污染主要是由农田灌溉造成的, 三级土壤沿秦淮河展布, 二级土壤基本分布在平原区, 一级土壤主要分布在岗地、山地。Hg 污染主要富集在表层, 高富集区主要分布在地势相对低洼处, 有机质在本区对 Hg 的吸附有较大的亲和力, 对 Hg 的积累有一定的控制作用; 在三级土壤区域通过详查, 已存在超三级土壤。本区土壤以中性、弱酸性为主, 土壤抗酸化能力弱。随着酸雨的增多, 土壤 pH 值的降低, 土壤 Hg 向生物体迁移的数量将会加大, 会给这一地区农产品安全带来风险。

**关键词:** Hg 污染; 分布特征; 影响因素; 秦淮河; 江苏南京

**中图分类号:** S153      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1674-3636(2010)04-0358-04

## 0 引 言

2001 年—2005 年, 江苏省地质调查研究院开展了江苏省国土区域生态地球化学调查(1:25 万多目标), 调查显示, 表层土壤 Hg 元素在秦淮河河谷平原中部呈现高度富集, 这一现象引起了笔者的关注。

## 1 研究区概况及研究方法

### 1.1 研究区概况

秦淮河河谷平原中部位于南京主城区东南方向约 10km, 地貌景观为河谷平原, 平原周边为岗地、山地, 水网发育。研究区面积 591km<sup>2</sup>, 土壤种类主要为水稻土(占全区 71%), 其次为黄褐土和黄棕壤, 分别占全区 18% 和 7%, 另有小面积石灰土、火山灰土和褐土分布。以种植水稻、油菜、小麦为主, 灌排条件好, 水稻产量较高。

### 1.2 研究方法

浅层样采用方里网 1 个样/1km<sup>2</sup> 的密度, 采集深度为 0cm ~ 20cm 土壤样品, 按 1 组合样/4km<sup>2</sup> 的

密度等重量组合成分析样; 深层样采用 1 个样/16km<sup>2</sup> 的密度, 采集深度为 150cm ~ 200cm 土壤样品, 单点样分析。采样遵循避开明显有点源污染和线源污染的村庄、道路、固体垃圾堆放地原则。对 Hg 的测定用 HCl-HNO<sub>3</sub>-HF-HClO<sub>4</sub> 消化, 采用冷原子荧光光谱分析。

## 2 土壤 Hg 分布特征及成因分析

### 2.1 土壤 Hg 含量分布特征

根据国家环保局于 1995 年批准的《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995), 本区表层一级土壤面积 265km<sup>2</sup>, 占全区 45%; 二级土壤面积 287km<sup>2</sup>, 占全区 49%; 三级土壤面积 39km<sup>2</sup>, 占全区 6% (图 1)。

从图 1 可以看出: 受污染土壤有沿秦淮河水系展布的特征, 三级土壤主要位于方山南部河流交汇处附近; 二级土壤基本分布在平原区; 一级土壤主要分布在岗地、山地。研究区内表层组合分析样品数为 140 个, 含量范围在 0.039mg/kg ~ 0.83mg/kg 之间, 平均值为 0.21mg/kg, 标准差 0.17。

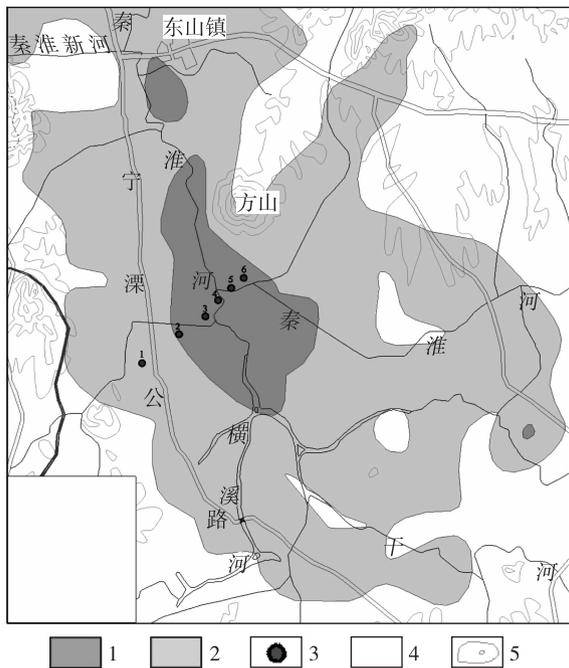


图1 秦准河河谷平原土壤 Hg 质量评价图

- 1-三级土壤;2-二级土壤;3-一级土壤;  
4-土壤详查采样点;5-地形等高线

土壤类型与 Hg 含量关系(表1),其平均含量由大到小分别为水稻土、黄棕壤、黄褐土,3种土壤 Hg 含量最小值相当,平均值中水稻土与其他两种土壤差异较大。由于水稻土基本分布在平原区,并以种植水稻为主,灌溉几率较大,地表水径流迟缓;其他种类土壤主要分布在岗地、山地,以种植旱作物或林地为主,灌溉几率较小,地表水径流快,因此 Hg 元素在本区分布与地形地貌相关性较强,与土壤类型相关性不显著。

表1 主要土壤种类 Hg 元素含量统计表

土壤名称	样品数	Hg 含量/(mg/kg)				标准差
		最小值	最大值	众数	均值	
水稻土	113	0.049	0.830	0.130	0.240	0.17
黄褐土	14	0.041	0.130	0.110	0.078	0.03
黄棕壤	6	0.064	0.210		0.128	0.06

本区土壤有机质含量在 0.83% ~ 3.5% 之间,其中含量在 1.5% ~ 2.5% 占到 74%,大于 2.5% 含量的占 21%。其中三级土壤区域内有机质含量在 1.88% ~ 3.5% 之间,平均含量为 2.74%,有机质含量最高值与 Hg 含量最高值在区内相吻合。由图2可见,Hg 元素与有机质含量呈显著相关关系,关系

方程式为  $Hg = 0.0218 \times \exp(0.9266 \times \text{有机质})$ ,相关系数  $R^2 = 0.3727$ 。说明表层土壤有机质对 Hg 的积累有一定的控制作用。有研究证明,土壤有机质含量增高可明显降低 Hg 的离子态和交换态的含量,从而减轻迁移进入农作物中 Hg 的含量。

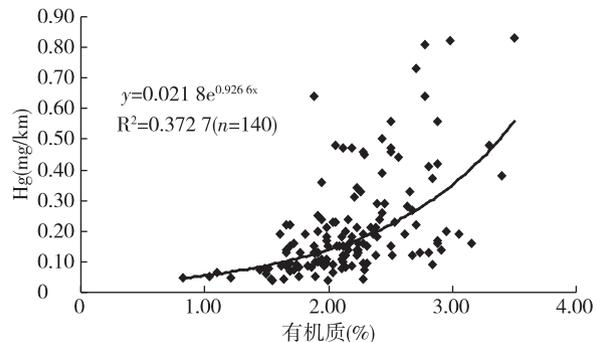


图2 土壤有机质与 Hg 元素含量相关性图

由于秦准河河谷平原区表层土壤 Hg 高度富集,本项目后期进行了详查,其中采样点 4、5、6 号样品 Hg 含量分别高达 1.26mg/kg、1.63mg/kg、1.82mg/kg,其最高值高于附近组合样最高值 2.2 倍,已超出三级土壤环境质量限量值,从而验证这一地区已存在超三级土壤。

本区深层样品有 36 个,含量范围在 0.009mg/kg ~ 0.098mg/kg 之间,平均值为 0.029mg/kg,标准差 0.19。其含量分布规律大致与表层土壤相同,即表层土壤 Hg 含量高的区域深层土壤 Hg 含量相对也高,所不同的是与河流关系更为密切,含量大于 0.039 mg/kg,均在河流附近,这可能与河床侧向渗透有关;在地下水中 Hg 元素在重金属中迁移系数最高,属强烈迁移元素。

## 2.2 土壤 Hg 空间分布特征

图3为研究区部分深层柱样剖面图,其分段采样长度为 20cm,从 3 个柱状样含量垂向变化曲线可以看出,Hg 元素主要富集在地表 60cm 以下,Hg 含量随深度变化不大,含量较低,60cm 以上,汞含量随深度变化较明显;其中 1 号深层柱样位于黄褐土区,土壤质地以粘土为主,透水性差,粘土矿物易吸附汞,因此汞主要富集在表层,含量随深度递减明显。而 2 号样和 3 号样位于潴育型水稻土区,土壤结构含有粉砂,表层土壤 Hg 易受雨水淋漓、渗透、大气释放等影响,因此,呈现出 0cm ~ 20cm Hg 含量低于 20cm ~ 40cm 的状况。

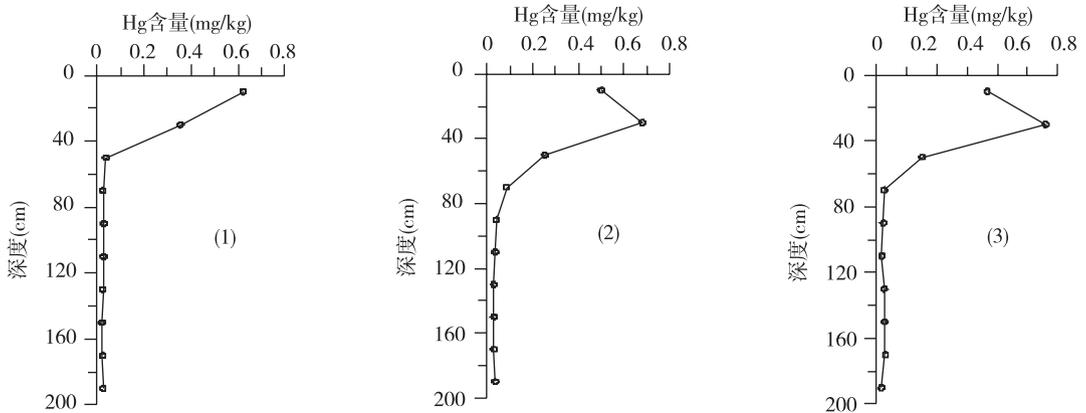


图3 秦淮河平原区 Hg 含量垂向变化特征图

### 2.3 土壤中 Hg 的成因分析

通过对深、表层土壤 Hg 元素含量分布特征的研究发现,无论深层土壤还是表层土壤 Hg 含量都有距秦淮河越近含量越高的特征,表层土壤 Hg 含量最高值(1.82mg/kg)比深层土壤 Hg 含量最高值(0.098mg/kg)高出 18.57 倍,是南京市土壤 Hg 背景值 0.12mg/kg 的 3.3 倍,说明表层土壤 Hg 元素在秦淮河河谷平原局部地区为高度富集。

秦淮河的东部源头出自句容市宝华山,南部源头出自溧水县东庐山,两个源头在江宁区的方山埭交汇。在雨水充沛季节,自南向北经东水关流入南京城。由于地势上的原因,在上游来水少的情况下,城区污水往往会形成倒流。由于重金属元素可以以悬浮物为载体在流域内大跨度迁移,以及 Hg 在地下水中也属强烈迁移元素,说明水是 Hg 的主要迁移媒介,这与研究区内土壤 Hg 含量分布特征(高富集区地势低洼)十分吻合。由于秦淮河河谷平原中部距南京主城区较近,城区污水易倒流此地,而主城区附近秦淮河水系沉积物中 Hg 含量高达 0.363mg/kg,由此可见,秦淮河水悬浮物中 Hg 的含量是相当高的。秦淮河河谷平原大多为水稻田,在春耕和旱季需用大量秦淮河水进行灌溉,灌溉加快了水的流速(扰动),促使悬浮物增加,从而造成含 Hg 悬浮物随水一道流进农田。由于 Hg 有随水迁移的习性,在地表水径流作用下逐渐向地势低洼处迁移,而秦淮河河谷平原中部地势低洼,地表水径流迟缓,主要依靠自然蒸发和人工排泄,使得水中悬浮物在此处易沉积难排泄,逐渐形成了 Hg 元素高富集区。

### 3 土壤中 Hg 对农产品安全的影响

植物对土壤中的 Hg 有吸收和累积作用,它随土壤中 Hg 浓度的增加而增高。在本次调查已发现该地区存在超三级土壤。

南京处于我国酸雨较重的区域。2002 年南京市降水平均 pH 值为 5.19,郊县发生酸雨频率为 34.7%。2005 年,酸雨发生频率为 40.4%。2006 年 11 月,南京酸雨发生频率达到了 88%,强酸雨(pH 值小于 4.5)出现频率为 25%,雨水 pH 值最低仅为 3.51。本区表层土壤 pH 值在 5.50~7.99 之间,平均值为 6.7。从土壤酸碱性分布规律分析,土壤 pH 值与成土母质有关,酸性土壤主要为黄褐土和黄棕壤,水稻土基本为中性,只在龙都至湖熟一带有弱碱性土壤分布。二级以上土壤分布区内 pH 值大于 6.0;三级土壤分布区 pH 值在 6.65~7.14 之间,属中性。过多的酸雨不仅会造成农作物减产,还会破坏土壤成分,使土壤酸化。土壤 pH 值是影响土壤中 Hg 吸附与解吸,控制其有效性与移动性的重要因素。土壤 pH 值越低, H<sup>+</sup> 越多, Hg 被解吸得越多,其活性就越强,土壤 Hg 向生物体迁移的数量将会加大。本区土壤以中性、弱酸性为主,土壤抗酸化能力弱,随着酸雨的增多,土壤 pH 值的降低,将会给这一地区农产品安全带来风险。

### 4 结 语

综上所述,秦淮河河谷平原表层土壤 Hg 污染主要是由农田污水灌溉造成的,其含量分布特征与地形

和有机质相关,Hg元素高富集区往往处在地形相对低洼有机质含量较高的地区。在三级土壤区内通过详查,证明已存在超三级土壤,土壤有机质和pH值是影响土壤中Hg吸附与解吸、有效性与移动性的重要因素。因此,在Hg含量高的区域应增施有机肥,施撒生石灰等防治土壤酸化的措施,从而减轻土壤中离子交换态Hg的含有量,提高农产品的安全性。

灌溉水水质是造成秦淮河中下游农田Hg污染的主要因素,因此,加大对秦淮河的污染监测、治理,防止灌溉水对农田进一步的污染非常必要。对土壤Hg含量较高,且已威胁到农产品安全的区域,可以进行生物修复。凤眼莲、芦苇、加拿大杨、纸皮桦等植物对土壤中Hg的吸收及储存能力极强。通过这些植物对Hg的吸收积累,可降低土壤中的Hg污染,而积累污染物的植物体也能得到有效利用,同样可以带来一定的经济效益。利用微生物对某些Hg的吸收、沉积、氧化和还原等作用,减少植物摄取,从而降低Hg的毒性,是当前治理土壤Hg污染具有发展前景的一种方法。

## 5 致 谢

参与本项目调查研究工作的成员还有朱佰万、

翁志华、陈宝、毕葵森、范迪富等,在此一并致谢!

### 参考文献:

- [1] 中国地质科学院水文地质工程地质研究所. 专门水文地质学[M]. 北京:地质出版社,1977.
- [2] 中国科学院土壤背景协作组. 北京、南京地区土壤中若干元素的自然背景值[J]. 土壤学报,1979,16(4): 319-328.
- [3] 赵传东. 长江流域沿江镉异常源追踪与定量评估的方法技术研究:以长江流域安徽段为例[J]. 地学前缘,2008,15(5):179-177.
- [4] 南京市环保局. 南京市环境质量报告书[R]. 2002.
- [5] GB 2762—1994,食品中汞允许量标准[S].
- [6] GB 15618—1995,土壤环境质量标准[S].
- [7] 沈启. 南京是酸雨“重灾区”11月,10场有9场是酸雨[N]. 现代快报,2006-12-11(A7).
- [8] 王荔娟,胡恭任. 土壤/沉积物中汞污染地球化学及污染防治措施研究[J]. 岩石矿物学,2007,26(5):453-458.

## On distribution characteristics and influences of soil Hg pollution in plain along Qinhuai River in Nanjing

PAN Yong-min, WU Xin-min, HUA Ming, LIAO Qi-lin, HUANG Shun-sheng, JIN Yang

(Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China)

**Abstract:** The authors studied the distribution and affecting factors of Hg pollution in soil in the middle plain along Qinhuai River in Nanjing. The research showed that farmland irrigation was the major cause for topsoil Hg pollution along the middle and lower reaches of Qinhuai River. Along the Qinhuai River, there was a zonal extension of the third-level soil according to the national standard quality of soil environment; there were mostly second-level soil in the plain area; the hilly area and mountainous area mainly had first-level soils. Mercury was mainly concentrated in topsoil, and areas with high Hg concentration were mostly low-lying lands. With a quite strong absorption force in the studied area, organic matter was in some ways a dominant cause for Hg accumulation. The authors improved the density of sampling in areas with third-level soil. According to the analysis of these samples, soil whose mercury exceeded the third level existed in these areas. The soil in this area was mainly neutral or mildly acid, so it was hardly able to defend itself from acidification. With the increase of acid rain, the decrease of pH value of such soil consequently increased the transfer of mercury from the soil to living beings. This would bring risk to the security of farm products in this area.

**Keywords:** Hg pollution; Distribution characteristics; Affecting factors; Qinhuai River; Nanjing, Jiangsu