

# 扬中地区农田土壤重金属污染调查与评价

黄顺生, 廖启林, 吴新民, 朱佰万, 颜朝阳, 张祥云, 陈宝

(江苏省地质调查研究院, 南京 210018)

**摘要:** 对扬中地区主要农田土壤进行了采样监测, 按照国家无公害农产品产地的环境质量标准, 采用单项污染指数法和尼梅罗综合指数法对土壤的 8 个重金属污染指标进行了环境质量评价。结果表明, 扬中农田土壤均受到重金属轻污染, 其中 Cd、Hg 污染主要与化肥、农药等大量施用有关; As、Pb、Cu、Zn 污染可能与工厂废气及汽车尾气排放有关; 而 Cr、Ni 污染主要与长江石灰性冲积母质特征有关。结合 1990 年的土壤数据, 计算了重金属的累积速率, 反映近年来重金属的不断输入。污染区的农产品生态效应研究表明, 重金属污染已经威胁到农产品安全。

**关键词:** 农田土壤; 重金属; 评价; 扬中地区

**中图分类号:** X131.3

重金属是具有潜在危害的重要污染物, 它引起特别关注之处在于它的环境危害持久性、地球化学循环性和生态风险性<sup>[1]</sup>。在农田生态系统中, 土壤重金属通过迁移、转化、富集从而影响农产品的质量和品质, 最终可能危害人体健康<sup>[2-3]</sup>。随着我国国民经济的快速发展, 无公害农产品生产地土壤重金属污染以及食物链安全问题已成为普遍关注的热点<sup>[4-6]</sup>。本文采集扬中地区典型农田土壤浅、深层土壤以及农作物样品进行重金属元素等全量分析, 查明这些元素时间的变化特征, 综合评价土壤环境质量状况, 旨在为该地区无公害农产品基地建设以及污染防治提供科学依据。

## 1 调查区背景

扬中市是位于江苏省南部长江之中的冲积沙洲, 组成沙洲的沉积物主要是第四系的海陆交互相的砾石, 含砾石细砂及粉砂质黏土, 其厚度可达 200 余 m。地表主要由长江沉积相, 全新统黄土状亚黏土、亚砂土组成, 土地肥沃, 植被发育。调查区内土壤为长江石灰性冲积母质上发育的水稻土<sup>[7]</sup>。

扬中市地理位置为东经 119°42'~119°58', 北纬 30°00'~32°19', 总面积 332 km<sup>2</sup>, 人口 28 万。境内地势低洼平坦, 河网纵横、沟渠交错。属北亚热带季风气候区, 气候温和、湿润, 雨量充沛, 是江苏

省重要的粮、蔬菜生产基地<sup>[7]</sup>。20 世纪 70 年代起, 由于农业上大量施用农药和化肥, 农田污染渐趋严重。1997 年全市已完成了由农业经济主导型向工业经济主导型的转化, 工业比较发达, 已形成机械、电子、冶金等 26 个行业, 工业排污加剧了环境污染。

## 2 样品采集与分析

参照《区域地球化学勘查规范》(DZ/T 0167-1995), 扬中市土壤表层样采集于水稻土耕作层 (0~20 cm), 1~2 件/km<sup>2</sup>, 每件样品由周围 100 m 以内 2~3 个子样组合而成; 深层样 1 件/16 km<sup>2</sup>, 采取 150~200 cm 深度 30 cm 连续土柱; 剖面样为 0~200 cm 内 10 cm 连续取样。样品自然风干, 用木棒击碎, 研磨过 200 目尼龙筛, 采用四分法取 50 g 作分析样装袋送实验室, 剩余样作为副样保存。在农田采集的农作物样品, 用塑料袋密封迅速送回实验室, 用蒸馏水冲洗, 剪成碎块, 于 40 ℃ 下烘干到恒重, 立即粉碎、磨细后装瓶备测。

分析指标有 As、Hg、Cd、Cu、Ni、Cr、Zn、Pb、Co、Fe、K、Mg、Mn、有机 C, 其中 Fe、K、Mg、Cu、Cr、Mn、Ni、Zn、Pb、Co 采用 X 荧光分析; As、Hg 采用原子荧光分析; Cd 采用石墨炉原子吸收分析; 有机 C 采用容量法分析。样品分析测试由江苏省地质调查研究院测试所完成, 采用国

①基金项目: 中国地质调查局与江苏省合作开展的“江苏省国土生态地球化学调查”项目(200312300008)资助。

作者简介: 黄顺生(1975—), 男, 江西婺源人, 硕士, 工程师, 主要从事表生地球化学研究。E-mail: shunshengh@mail.edu.cn

家分析一级标准物质进行控制, 每 500 件样品中密码插入 12GBW 标准物质进行分析, 每种元素的每次分析结果单独计算测定值与标准值对数差, 对数差的允许限要在分析标准准确度、精密度要求范围内。

### 3 结果与分析

#### 3.1 农田土壤重金属含量

扬中地区农田土壤重金属含量见表 1。由表 1 可见, 表层土壤除 As、Cr 外, 重金属含量均高于扬中背景值, 表明扬中地区表层土壤已受到一定程度的重金属叠加。此外, 由表 1 还可看出扬中地区背景值均低于国家土壤背景值。

#### 3.2 农田土壤重金属污染评价

**3.2.1 评价模式** 按照农田土壤环境监测技术规范<sup>[9]</sup>, 土壤重金属污染评价采用单项污染指数法和综合污染指数法。

(1) 单项污染指数法: 单项污染指数法计算公式:

$$P_i = C_i/S_i \quad (1)$$

式中:  $P_i$  为土壤环境中污染物  $i$  的单项污染指数;  $C_i$  为土壤环境中污染物  $i$  的实测数据;  $S_i$  依据国家环保局颁布的《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)<sup>[10]</sup>中各元素的一级土壤含量上限确定。

(2) 综合污染指数法: 尼梅罗综合污染指数法计算公式:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(\overline{P_i})^2 + (P_{\text{max}})^2}{2}} \quad (2)$$

式中:  $P_{\text{综}}$  为尼梅罗综合污染指数;  $P_{\text{max}}$  为土壤所有污染物中最大污染指数;  $\overline{P_i}$  为土壤所有单项污染指数的平均值。

**3.2.2 评价结果** 对照国家规定的无公害农产品产地的环境质量标准<sup>[11]</sup> (表 2), 分别计算得到  $P_i$  和  $P_{\text{综}}$ , 结果表明所有样点的尼梅罗综合污染指数均  $>1$ , 按污染等级划分, 轻污染 59 个, 占 98.3%; 中污染 1 个, 仅占 1.7%, 表明扬中农田土壤已受到不同程度的重金属污染。

表 1 扬中地区农田土壤重金属含量及统计参数 (mg/kg)

Table 1 Contents and statistic parameters of heavy metals in cropland soil in Yangzhong area

参数 (样品数)	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
置信区间 (60)	10.2 ± 1.3	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1	35.7 ± 3.8	77.2 ± 6.8	33.9 ± 5.9	38.5 ± 4.4	98.1 ± 10.5
最大值	12.9	0.4	0.6	42.5	91.0	52.1	46.8	133.0
最小值	6.0	0.1	0.2	28.3	65.2	23.1	31.6	77.2
扬中背景值 (21)	12.0	0.1	0.2	26.7	80.9	32.1	33.4	79.4
国家自然背景值 <sup>[8]</sup>	15.0	0.2	0.2	35.0	90.0	35.0	40.0	100.0

表 2 农田土壤污染分级标准

Table 2 Grades of soil pollution of cropland

等级划分	综合污染指数	污染等级	污染程度描述
1	$P_{\text{综}} \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P_{\text{综}} \leq 1.0$	警戒限	尚清洁
3	$1.0 < P_{\text{综}} \leq 2.0$	轻污染	土壤污染物含量超标, 视为轻污染, 农作物开始受污染
4	$2.0 < P_{\text{综}} \leq 3.0$	中污染	土壤、农作物受中度污染
5	$P_{\text{综}} > 3.0$	重污染	土壤、农作物受严重污染

**3.2.3 农田土壤主要污染因子与来源** 按土壤污染贡献率<sup>[9]</sup> (土壤中某项污染指数占各项污染指数总和的百分数) 分析, 扬中地区农田土壤重金属贡献率的排序为: Cd (18.9%) > Hg (16.0%) > Pb (12.4%) > Zn (11.9%) > Cu (11.7%) = Ni (11.7%) > Cr (10.4%) > As (7.0%)。综合评价表明, 扬中农田土壤以 Cd、Hg 为主要污染因子。

土壤在形成过程中受母岩继承性和人为作用的双重影响, 往往表现出一定元素组合特征, 利用聚类分析方法可以反映出这些元素的组合特征。对所测元素进行 R 型聚类分析 (图 1), 由图 1 可见, 所有分析元素可分两组: 第一组元素包括 Hg、Cd、有机 C, 它们在土壤剖面图上的变化具有较好的一致性, 均表现出表层的明显富集 (图 2)。第二组元素

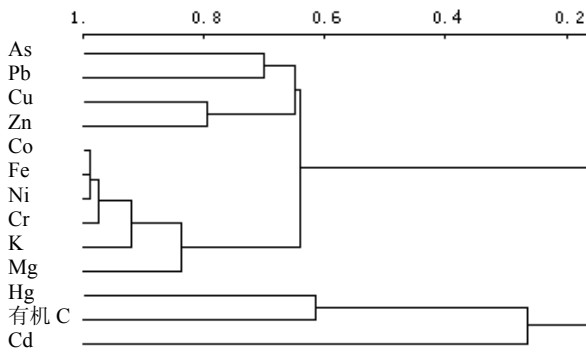


图 1 土壤测试指标的 R 型聚类分析

Fig. 1 R-hierarchic dendrograms of indices for soil test

可分为两类，一是代表成土母质的主要矿物组分元素，如 Fe、Mg、K 以及微量元素 Co、Cr、Ni 等，这类元素在柱状剖面图上基本无变化（图 2）；二是 As、Pb、Cu、Zn 等。

根据农业技术推广中心统计，扬中地区自 20 世纪 80—90 年代以来，农药、化肥等大量施用，每公顷农田化肥、农药用量分别高达 3975 kg 和 90 kg。据测定，P 肥、N 肥以及某些复合肥料中都含有一定量的 Cd、Hg 等重金属<sup>[12]</sup>。扬中地区曾经大量利用化肥等来改良土壤<sup>[7]</sup>，长期大量施用化肥导致重金属在土壤中累积。

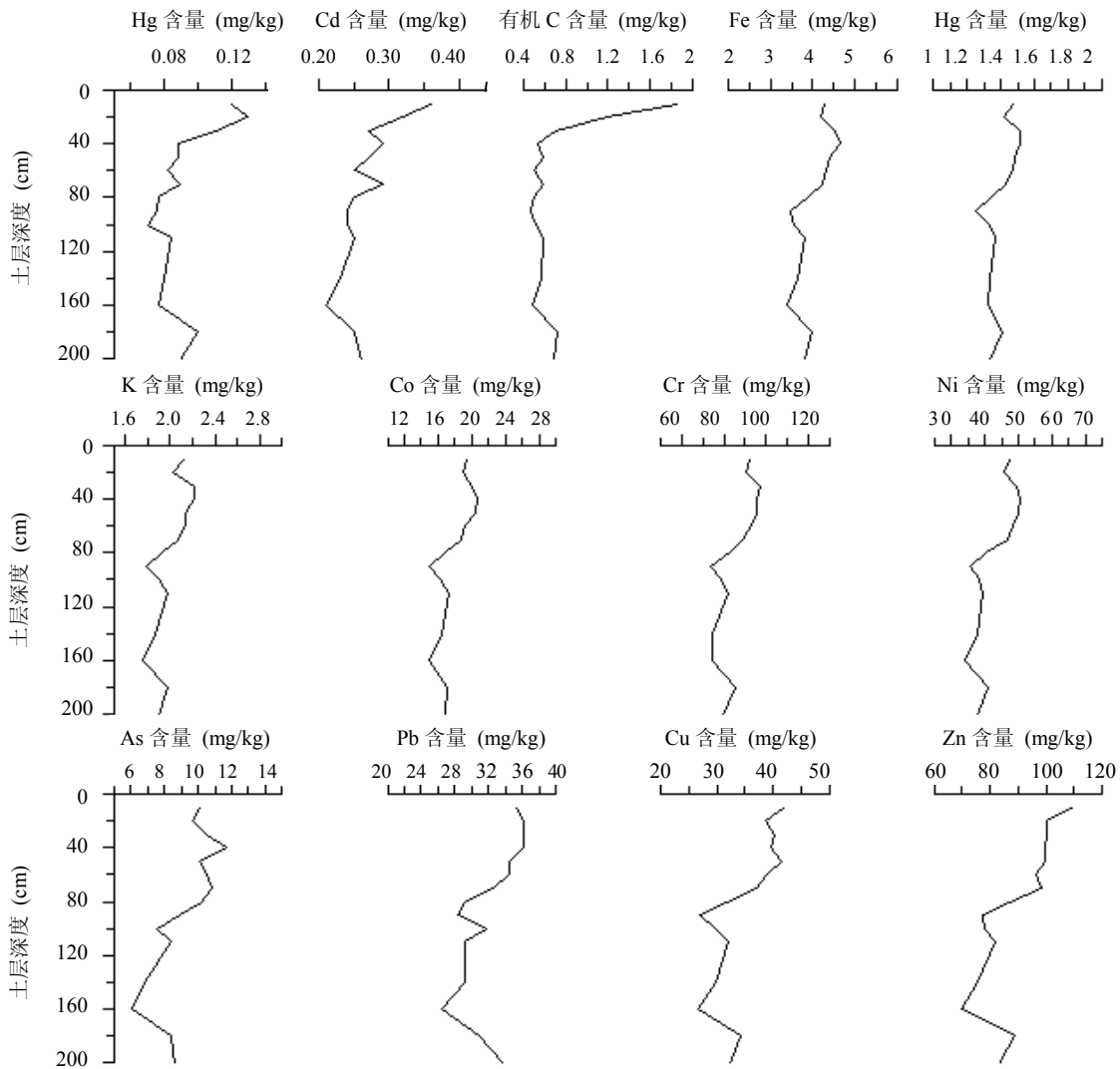


图 2 土壤剖面各元素含量垂向变化

Fig. 2 Vertical curves of elements in soil columns

扬中地区工业较发达,电子、冶金工业遍及各乡镇,尤其是小型的电镀厂、金属加工厂,它们排放的废气以及日益增加的机动车辆尾气均含有一些As、Pb、Cu、Zn等重金属<sup>[13-14]</sup>。它们吸附在大气颗粒物上以降尘形式最终进入农田土壤中,对此还有待进一步研究。土壤中Cr、Ni主要与长江石灰性冲积母质地球化学特征有关,人为作用影响并未使它们产生明显富集。

**3.2.4 土壤重金属的累积程度** 随着工农业的发展,产生的污染物不断增加,导致重金属不断累积。国内外非常重视土壤环境中污染积累和变化的研究,法国国家农业研究院<sup>[15]</sup>曾报道土壤重金属

输入通量和累积速率;李恋卿等<sup>[16]</sup>估计了太湖地区水稻土10年的累积速率;张乃明等<sup>[17]</sup>发现太原地区土壤Cd、Pb等重金属有逐年增加的趋势。

表3为扬中地区1990年和2005年土壤重金属元素含量对比,由表3可以看出,土壤Hg、Cd含量在1990年分别为0.09 mg/kg和0.19 mg/kg,2005年分别达到了0.2 mg/kg和0.3 mg/kg,因而它们均具有较高的累积速率;Zn、Cu随时间也具有较高的累积速率;但土壤Cr、Ni含量变化不明显,它们保持较低的累积速率。从15年的重金属变化数据来看,扬中地区农田土壤多数重金属累积速率较高,这反映近年来重金属输入的不断增长。

表3 不同时期扬中农田土壤重金属含量(mg/kg)和累积速率

Table 3 Contents and accumulation rates of heavy metals in cropland soil in different periods

时期	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
1990年 <sup>[18]</sup>	9.8	0.09	0.19	34.9	91.0	31.9	38.1	83.9
2005年	10.2	0.2	0.3	35.7	77.2	33.9	38.5	98.1
累积速率	0.03	7.33	7.34	0.05	-0.92	0.13	0.03	0.95

注:累积速率=(2005年含量-1990年含量)/15,其单位为mg/(kg·a)。

### 3.3 农田土壤的生态环境效应

土壤中重金属的生态风险性在于它们能通过食物链进入人体危害健康。农田土壤及其生长农作物重金属含量见表4,8种重金属中Cd在农作物中富集系数较大(0.06~0.30)。不同农作物中重金属的富集程度是不一致的<sup>[19]</sup>,芦蒿中Cd、Pb较容易富集;蚕豆中Ni、Zn、Cu较容易富集,结果导致芦

蒿中Cd、Pb及蚕豆中Ni、Zn等出现超标,这些均反映了植物的选择性吸收,相比而言,卷心菜对所有重金属的选择性吸收较差。因此,在无公害农产品生产过程中既要考虑土壤环境质量状况又要考虑农作物的选择性吸收效应。由此可见,扬中地区农产品安全已受到了土壤重金属污染的威胁,应引起有关部门的重视和尽快提出解决对策。

表4 扬中农田土壤与农作物中重金属含量(mg/kg)

Table 4 Heavy metals contents in cropland soil and crops in Yangzhong area

样品名称	As	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
小麦	0.15±0.08	0.0007±10 <sup>-3</sup>	0.06±0.007	0.21±0.1	0.24±0.1	0.41±0.3	0.14±0.05	22.4±3.1
小麦土壤	9.7±0.7	0.19±0.05	0.28±0.03	38.6±2.8	80.7±5.6	33.5±2.6	41.2±3.3	96.8±9.7
蚕豆	0.12±0.004	0.0001±10 <sup>-4</sup>	0.02±0.006	0.16±0.04	0.15±0.06	0.59±0.05	0.76±0.02	22.9±1.3
蚕豆土壤	9.0±0.4	0.15±0.03	0.34±0.06	33.3±2.9	80.2±4.9	34.6±5.3	41.1±2.7	99.6±8.3
卷心菜	0.12±0.01	-	0.03±0.002	0.08±0.01	0.05±0.01	0.53±0.05	0.04±0.02	2.0±0.15
卷心菜土壤	10.2±1.2	0.11±0.04	0.28±0.09	36.0±3.7	93.5±5.5	39.8±6.8	47.8±3.7	103±12.8
芦蒿	0.19±0.06	0.0005±10 <sup>-3</sup>	0.15±0.03	0.30±0.04	0.21±0.07	2.55±0.16	0.31±0.08	6.1±0.4
芦蒿土壤	13.4	0.13	0.49	37.2	93.3	48.9	46.2	112
无公害蔬菜标准	≤0.5	≤0.01	≤0.05	≤0.2	≤0.5	≤10.0	≤0.3	≤20
粮食标准	≤0.7	≤0.02	≤0.2	≤0.5	≤1.0	≤10.0	≤0.4	≤50

注:农作物统计样品n=21,农作物重金属含量以鲜重计,土壤重金属以干重计。

## 4 结论

对扬中市主要农田土壤重金属的污染评价表明, 扬中市土壤均受到了重金属轻污染, 其中 Hg、Cd 污染主要与农田施用大量农药、化肥有关; As、Pb、Cu、Zn 污染可能与工厂废气及汽车尾气排放有关; 而 Cr、Ni 污染主要与长江石灰性冲积母质特征有关。土壤重金属较大的累积速率反映了不断重金属输入。农作物生态效应调查表明重金属污染已经威胁到农产品安全。

**致谢:** 在样品采集和处理过程中得到了项目组成员毕葵森高工、范迪富高工、金洋、仇慎平、翁志华、潘永敏、冯金顺、葛云的热情帮助, 测试所周永德和蔡玉曼两位高工按时提供了测试数据, 在此一并致以由衷的感谢。

### 参考文献:

- [1] Liu WX, Li XD, Shen ZG, Wang DC, Wai OWH, Li YS. Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the Pearl River estuary. *Environmental Pollution*, 2003, 121: 377-388
- [2] Turkdogan MK, Kilicel F, Karak K, Tuncer I, Uygan I. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2002, 13: 175-179
- [3] Alam MGM, Snow ET, Tanaka A. Arsenic and heavy metal contamination of vegetables grown in Samta village, Bangladesh. *The Science of the Total Environment*, 2003, 308: 83-96
- [4] 许学宏, 纪从亮. 江苏蔬菜产地土壤重金属污染现状调查与评价. *农村生态环境*, 2005, 21 (1): 35-43
- [5] 张庆利, 史学正, 黄标, 于东升, 王洪杰, Karin B, Ingrid O. 南京东郊蔬菜种植基地地表水氮、磷、重金属含量及影响因素. *农村生态环境*, 2004, 20 (4): 56-59
- [6] 阎伍玖, 吕成文, 陈飞星. 芜湖城市郊区土壤重金属污染危机及其对策研究. *土壤学报*, 2000, 37 (1): 136-141
- [7] 丁启国, 马恩富, 于盛道, 王永贵, 方道生. 扬中县志. 文物出版社, 1991
- [8] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国科学出版社, 1990
- [9] 国家环保总局. 农田土壤环境质量监测技术规范 (NY/T395-2000). 北京: 中国标准出版社, 2000
- [10] 国家环保总局. 土壤环境质量标准 (GB15618-1995). 北京: 中国标准出版社, 1995
- [11] 国家环保总局. 农产品质量安全无公害蔬菜产地环境安全要求 (GB/T18407.1-2001). 北京: 中国标准出版社, 2001
- [12] 时元正. 我国磷矿磷肥中 Zn、Cu、Co、Cr 的含量及其对环境的影响. *磷肥与复肥*, 1992, 7 (3): 79-81
- [13] Siegel FR. *Environmental geochemistry of potential toxic metals*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2002
- [14] Zhang MK, Ke ZX. Heavy metals, phosphorus and some other elements in urban soils of Hangzhou city, China. *Pedosphere*, 2004, 14 (2): 177-185
- [15] Mench MJ. Cadmium availability to plants in relation to major long-term changes in agronomy systems. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 1998, 67: 175-187
- [16] 李恋卿, 潘根兴, 张平究, 成杰民, 褚秋华, 丘多生. 太湖地区水稻表层土壤 10 年尺度重金属元素积累速率的估计. *环境科学*, 2002, 23 (3): 119-123
- [17] 张乃明. 太原污灌区土壤重金属污染研究. *农业环境保护*, 1996, 15 (1): 21-23
- [18] 蔡德华. 扬中县土壤环境背景值调查及其与恶性肿瘤死亡率关系. *农村生态环境*, 1993 (2): 42-44
- [19] 薛艳, 沈振国, 周东美. 蔬菜对土壤重金属吸收的差异与机理. *土壤*, 2005, 37 (1): 32-36

## Survey and Assessment of Heavy Metal Pollution of Cropland Soil in Yangzhong Area Jiangsu Province

HUANG Shun-sheng, LIAO Qi-lin, WU Xin-min, ZHU Bai-wan,  
YAN Chao-yang, ZHANG Xiang-yun, CHEN Bao  
( *Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing, 210018, China* )

**Abstract:** Soil and crop samples were collected from the major cropland in Yangzhong Area of Jiangsu Province for assessment of soil environmental quality with the single pollutant index method and the Nemerow comprehensive index method, according to the national standards for environmental quality of farmland producing hazard-free agricultural products and the soil indices for eight heavy metal pollutants. Results indicated that the soils were slightly polluted. Of the eight heavy metals, Cd and Hg pollution in the soil may be related to high-rated application of chemical fertilizer and pesticide; As, Pb, Cu and Zn pollution to exhaust gases from factories and automobiles; while Cr and Ni pollution mainly to the calcareous parent material in the Changjiang River valley. With the data in 1990 as basis, calculation was conducted for accumulation rates of these heavy metals, reflecting continuous heavy metal input. The study on eco-effect of heavy metals on agricultural products in the polluted region revealed that heavy metal pollution has turned out to be a threat to safety of the agricultural products.

**Key words:** Cropland soil, Heavy metals, Assessment, Yangzhong Area