

# 六合蒋家湾蔬菜基地重金属污染现状与评价

郑海龙<sup>1</sup> 陈杰<sup>1</sup> 邓文靖<sup>2</sup>

(1 中国科学院南京土壤研究所 南京 210008; 2 中山大学环境科学与工程学院 广州 510275)

**摘要** 以位于南京市城市边缘带的六合区蒋家湾蔬菜基地为研究区,对土壤进行了高密度样品采集与分析,阐明了该地区土壤重金属污染状况并进行了相关评价。研究数据表明:该区 As、Cu、Zn、Cd、Cr、Pb 等 6 种重金属在土壤中的含量均低于背景值,而土壤中 Hg 含量严重超标,为该地区主要的土壤污染因子。Hg 进入土壤的途径可能包括蔬菜地高强度的农化产品投入、工业和生活垃圾施用,但没有证据显示与灌溉水源有关。

**关键词** 城市边缘带;蔬菜土壤;重金属;评价

**中图分类号** X53

城市化与工业化进程的加速进行对城市周边地区土壤资源产生日益严重的压力,不仅导致土壤利用方式发生巨大变化,而且直接影响土壤质量。城市生活垃圾和工业“三废”的不合理排放、城市边缘带农化产品的高强度使用,均会导致各种来源的污染物经由不同途径进入土壤,造成土壤健康质量下降,导致农产品品质下降,进而直接对市民身体健康造成危害<sup>(1)</sup>。本研究选择南京市六合区蒋家湾典型蔬菜基地进行土壤重金属污染状况调查,旨在查明蔬菜地污染主要影响因子和污染途径,以期为南京市无公害蔬菜基地的建设提供科学依据。

## 1 研究区域概况

本研究区域位于南京城市边缘带,隶属南京市六合区,中心位于东经 118°48'54",北纬 32°18'29"。



图1 研究区详细位置示意图

Fig. 1 Sketch-map showing specific locality of the studied

介于雍六高速、宁六公路以及一条货运铁路之间。北部距离六合雄州镇约 4 km,南部距离南京化工园区约 6 km (图 1)。

研究区面积 53.3 hm<sup>2</sup> 左右,土壤为河沙土,从 20 世纪 80 年代初期联产承包责任制开始种植蔬菜,有 20 多年的种植历史。大部分地区全年都种植青菜,每年 6~7 茬。单茬施有机基肥一般约 150 担/hm<sup>2</sup> (约 9000 kg/hm<sup>2</sup>),复合肥 (含 N = 100 g/kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 80 g/kg, K<sub>2</sub>O = 70 g/kg) 375 kg/hm<sup>2</sup> 左右,追肥施尿素 225~300 kg/hm<sup>2</sup>。单茬青菜产量超过 15000 kg/hm<sup>2</sup>。滁河为该区主要灌溉水源。

## 2 分析与评价方法

### 2.1 样品的采集与测定

**2.1.1 样品采集** 在 2001 年的高精度航片上对研究区进行网格布点,点距 150 m,共设置 23 个样点 (图 1),每个样点采用对角线法采集 5 个点混合样,样品为 0~20 cm 表层土。

**2.1.2 样品分析** 常规理化分析参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[2]</sup>。全量 Cr、Zn、Cu、Pb 采用 X 荧光法,全量 Hg、As 采用原子荧光法,全量 Cd 采用原子吸收石墨炉法;有效态 Cr、Zn、Cu、Pb、Cd 用 DTPA 液提取后 ICP 法测定。全量及有效态重金属分析均由地质矿产部南京综合岩矿测试中心 (质量论证单位) 测得。

### 2.2 评价方法

本研究以 1979 年南京土壤研究所提出的南京土壤背景值<sup>[3]</sup>为评价标准:

表 1 南京土壤环境背景值 (mg/kg)

Table 1 Background of soil environmental quality in Nanjing City (mg/kg)

金属元素	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Hg	As
背景值	32.2	24.8	76.68	59.00	0.19	0.12	10.6

评价方法采用目前国内外普遍采用的单因子指数法和内梅罗综合指数法：

(1) 单因子指数法： $P_i=C_i/S_i$

式中： $P_i$ —土壤中污染物  $i$  的环境质量指数； $C_i$ —污染物  $i$  的实测浓度 (mg/kg)； $S_i$ —污染物  $i$  的评价标准 (mg/kg)。

(2) 内梅罗综合指数法： $P=\sqrt{\frac{(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n P_i)^2+(\max(P_i))^2}{2}}$

式中： $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^n P_i$ —土壤中各污染指数平均值； $\max(P_i)$ —土壤中各污染指数最大值。

### 2.3 质量分级

$P_i \leq 1$ ，非污染； $1 < P_i \leq 2$ ，轻污染； $2 < P_i \leq 3$ ，中度污染； $P_i > 3$ ，严重污染。

## 3 结果与讨论

表 2 的统计结果显示，7 种金属元素的平均单因子指数值  $As < Cu < Zn < Cd < Cr < Pb < Hg$  除 Hg 以外，其他 6 种金属元素的单因子指数值大多都在 1 左右，均处于背景值以下，或者是轻度污染水平，正常情况下不会引起植物的吸收富集。而 Hg 的污染相对比较严重，研究区 73.9 % 的样品中含量超过背景值的 3 倍，30.4 % 的样品 Hg 含量超过背景值的 5 倍，达到严重污染水平。

尽管大多数重金属没有达到污染水平，但是因为 Hg 的极高贡献率使得综合污染指数值达到很高的污染水平，平均 3.15，严重污染。其中 52.2% 的样点  $P_i > 3$  达到严重污染；30.4% 样点  $2 < P_i \leq 3$ ，达到中度污染。可以初步断定，该地区的主要污染因子为 Hg。利用软件 Surfer7.0 对研究区 Hg 进行地统计 Kriging 插值，得到表层土壤 Hg 含量的空间分布图 (图 2)。从图 2 中可以看出，Hg 在空间分布规律与对分析统计结果的讨论基本吻合。该区大部分地区 Hg 污染严重，污染形式属于典型的面源污染。同时，从 Hg 污染的空间分布状况上看，种植蔬菜

表 2 研究区重金属污染指数统计

Table 2 Statistics of the indices of heavy metals in studied soils

样号	Cu	Pb	Zn	Cr	Cd	Hg	As	内梅罗指数
1	0.90	1.46	0.80	0.98	0.79	4.25	0.47	3.16
2	0.76	1.50	0.95	1.24	1.05	2.50	0.49	1.97
3	4.50	1.85	1.23	1.28	1.11	3.08	0.62	3.47
4	0.60	1.02	0.80	1.25	1.00	5.17	0.53	3.80
5	0.60	1.00	0.82	1.18	1.00	1.50	0.53	1.25
6	0.69	1.34	0.94	1.11	0.89	2.67	0.50	2.06
7	0.73	1.64	0.89	1.31	0.89	2.92	0.60	2.25
8	0.65	1.71	0.73	1.10	0.68	3.33	0.54	2.52
9	0.58	1.56	0.68	1.09	0.84	6.75	0.48	4.92
10	0.56	1.09	0.74	1.01	0.74	1.58	0.39	1.28
11	0.69	1.64	0.79	1.18	0.89	3.42	0.51	2.59
12	0.55	1.37	0.68	1.10	0.79	2.58	0.51	1.98
13	0.58	1.26	0.71	1.07	0.53	4.25	0.49	3.14
14	0.59	1.18	0.81	1.06	0.84	8.00	0.40	5.80
15	0.58	1.22	0.67	1.06	0.79	7.33	0.65	5.33
16	0.66	1.40	0.86	1.05	0.89	5.08	0.51	3.75
17	0.68	1.14	0.95	1.13	1.05	5.17	0.75	3.81
18	0.62	1.00	0.85	1.15	1.16	4.75	0.68	3.51
19	0.70	0.92	0.85	1.18	1.00	3.17	0.78	2.40
20	0.70	1.11	0.97	1.20	1.26	6.92	0.82	5.06
21	0.91	1.18	1.16	1.43	1.32	4.83	0.90	3.62
22	0.82	0.88	1.03	1.36	1.16	3.25	0.82	2.48
23	0.61	2.24	0.72	1.01	0.74	3.08	0.45	2.36

历史较长的中间地带土壤 Hg 尤其严重,说明土壤中 Hg 含量的主要来源为长期使用含 Hg 农药和化肥所引起。譬如,早期经常使用含 Hg 农药(如:西力生  $C_2H_5HgCl$ ) 消毒种子,有可能土壤中 Hg 的残留量至今仍保持相当高的水平<sup>[3]</sup>。另外,不排除以生活垃圾或工业污泥为原料的有机肥施用的影响<sup>[4]</sup>。没有证据表明,以滁河为主要水源的灌溉方式与本区土壤 Hg 污染有关。

研究区另外潜在的土壤重金属污染元素是 Pb,其平均污染指数仅次于 Hg,达到 1.34,轻度污染。但土壤中 Pb 含量在空间上表现出与 Hg 完全不同的

分布模式,位于道路沿线和靠近加油站的样点,Pb 的含量相对偏高,这一结果与国内大多数同类研究一致<sup>(4-6)</sup>。Pb 的空间分布图见图 3。

重金属的活化率是有效态含量与全量的比值。根据测得的 Cr、Zn、Cu、Pb、Cd 5 金属的有效态含量,计算出它们的活化率。Cu、Pb、Zn、Cr、Cd 平均活化率分别为 14.67%、10.68%、2.94%、<0.1%、33.79%。可以看出 Cd 的全量虽然没有形成污染,但是由于其较高的活性,值得引起我们的注意。对 Cd 的活性和 pH 做相关性分析,发现它们之间在 0.01 水平有显著的负相关性:pH 越小其活性越高。

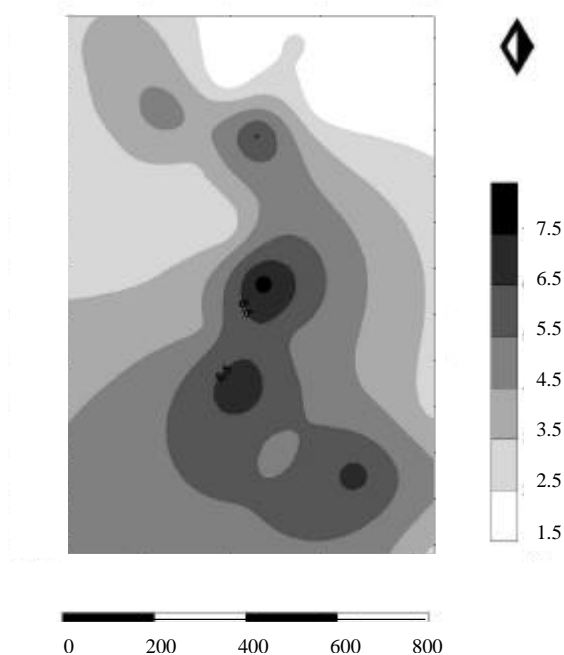


图2 研究区土壤 Hg 含量空间分布图

Fig. 2 Spatial variation of Hg contents of soils in the studied area

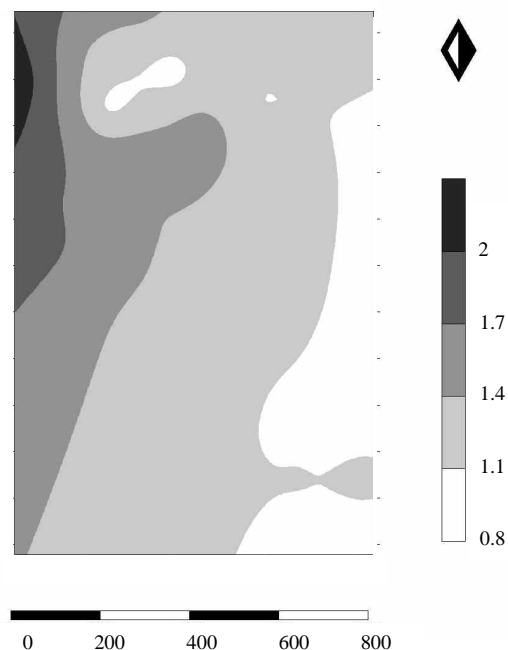


图3 研究区土壤 Pb 含量空间分布图

Fig. 3 Spatial variation of Pb contents of soils in the studied area

## 4 初步结论

(1) Hg 为研究区土壤主要污染因子,Hg 进入土壤的途径主要为长期蔬菜种植过程中高强度的农化产品投入,不排除工业和生活垃圾施用导致 Hg 进入土壤环境的可能性;

(2) 尽管 As、Cu、Zn、Cd、Cr、Pb 6 种金属含量不超过或略微超出背景值,但由于 Hg 较高的污染贡献率,使得研究区综合污染指数依然较高;

(3) 该地区 Pb 属于轻度污染,交通干线、加油站附件含量较高,有潜在污染威胁;

(4) 重金属活性与 pH 呈显著负相关,土壤中 Cd 含量不高,但活性较高。

## 参考文献

- 1 陈杰, 陈晶中, 檀满枝. 城市化对周边土壤资源与环境的影响. 中国人口. 资源与环境, 2002, 12 (2): 70 ~ 74
- 2 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- 3 [Http://www.gzscse.gov.cn/webpage/import/huangjing/015-11.htm](http://www.gzscse.gov.cn/webpage/import/huangjing/015-11.htm)
- 4 杨永岗, 胡霞堂. 无公害蔬菜基地土壤中有害金属污染评价. 环境与健康杂志, 1998, 15 (5): 213 ~ 214
- 5 郭义龙, 林壹兵, 胡少宜. 漳州市农业土壤重金属现状、分析及防治. 土壤, 2003, 35 (2): 131 ~ 135
- 6 李其林, 黄昀, 赵中金, 骆东奇. 重庆市蔬菜基地土壤重金属含量情况. 土壤, 2001, 33 (3): 159 ~ 162

## ASSESSMENT OF HEAVEY METAL POLLUTION OF SOILS IN A VEGETABLE PRODUCTION BASE IN JIANGJIAWAN, LIUHE

ZHENG Hai-long<sup>1</sup> CHEN Jie<sup>1</sup> DENG Wen-jing<sup>2</sup>

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008;*

*2 School of Environmental Sciences & Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275*)

**Abstract** A vegetable production base in the periurban region of Nanjing was chosen for assessment of soil pollution by hazardous metals, totally 23 topsoil samples were collected and analyzed for heavy metal contents. The data obtained indicated that the contents of Cu, Pb, Zn, Cr, Cd, and As in the soils were lower than their regional background values. However, Hg content in the studied soils greatly exceeded its background value, demonstrating significant soil pollution. It was thought that Hg pollution resulted from intensive application of Hg-containing agrochemicals during long-term vegetable planting in this area.

**Key words** Periurban, Vegetable soil, Heavy metals, Pollution

\*\*\*\*\*

(上接第 546 页)

- microbial populations in turf. *Plant Soil*. 1986, 96: 149 ~ 151
- 8 李振高, 李良谟, 潘映华, 伍期途. 红壤区土壤的反硝化细菌. 见: 石华主编. 红壤生态系统研究(第 1 集). 北京: 科学出版社, 1993, 196 ~ 203
- 9 Bhupinderpal S, Bijay S, Yadvinde S. Potential and kinetics of nitrification in soils from semiarid regions of northwestern India. *Arid Soil Res. Rehab.*, 1993, 7: 39 ~ 50
- 10 李辉信, 胡锋, 刘满强, 蔡贵信, 范晓晖. 红壤氮素的矿化作用和硝化作用特征. *土壤*, 2000, 32 (4): 194 ~ 197
- 11 Tiedje JM. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. In: Zehnder AJB. ed. *Biology of anaerobic microorganisms*. John Wiley and Sons, New York, 1988, 179 ~ 244
- 12 Smith MS, Tiedje JM. Phases of denitrification following oxygen depletion in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1979, 11: 261~267
- 13 Davidson EA, Strand MK, Galloway LF. Evaluation of the most probable number method for enumerating denitrifying bacteria. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1985, 49: 642~645

## EFFECTS OF TEMPERATURE AND WATER REGIME ON NITRIFICATION AND DENITRIFICATION ACTIVITY OF UPLAND RED SOILS

WANG Lian-feng<sup>1,2</sup> CAI Zu-cong<sup>1</sup>

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 21008;*

*2 College of Environmental Science and Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian, Liaoning 116028*)

**Abstract** Two red soils derived from the quaternary red clay and the tertiary red sandstone, respectively, were used to investigate effects of moisture and temperature on nitrification and denitrification activities of the soils. Nitrifiers, denitrifiers, nitrification intensity, denitrification potential and denitrifying enzyme activity were determined of the fresh soil samples having been kept placed at 4°C (O), moistened to 40% in water holding capacity at room temperature (24°C ~ 27°C) (M) and flooded (F) at room temperature (24°C ~ 27°C), separately for 110 days. The results indicate that low temperature helped keep the number of nitrifiers and denitrifiers, but significantly inhibited nitrification and denitrification activities of the bacteria. Moistening contributed to maintenance of nitrification activity of the nitrifiers. Flooding, though, favored denitrification activity of the denitrifiers, it made against survival of both the nitrifiers and denitrifiers. Therefore, the appropriate way to store soil samples depends on what they will be used for.

**Key words** Red soil, Nitrifiers, Denitrifiers; Nitrification intensity, Denitrification potential, Denitrifying enzyme activity