

DOI: 10.11766/trxb201902180052

# 田块尺度上的农田土壤 Cd 污染分布不均匀性\*

廖启林 任静华 许伟伟 李文博 范健 金洋 崔晓丹 汪媛媛

(江苏省地质调查研究院, 南京 210018)

**摘要** 长江三角洲地区存在田块尺度上农田土壤 Cd 污染分布不均匀的现象。相关土壤环境地球化学调查结果显示, 当土壤 Cd > 1.0 mg·kg<sup>-1</sup> 时, 其田块中土壤 Cd 分布存在显著空间差异性。在一块面积不足 0.13 hm<sup>2</sup> 的田块内土壤 Cd 含量最大可相差几十倍, 且同时存在轻度、中度、重度污染。长条状田块土壤中 Cd 污染分布有近似的指数衰减趋势, 距离源头最近地段土壤 Cd 污染最严重。旱地较水田土壤中 Cd 污染分布更不均匀。Cd 污染分布不均匀主要表现在田块的水平方向上, 在田块土壤垂直方向上 Cd 污染主要聚集在表层 20 cm 以上土层。与 Cd 相反, Cu、Pb、Zn、As、Cr 等重金属在田块土壤中则以相对均匀分布为主。微地貌的差异、人工干扰不均衡等是导致田块土壤 Cd 污染分布不均匀的主要原因。

**关键词** 农田土壤; Cd 污染; 分布不均匀性; 田块尺度

**中图分类号** P632; P596 **文献标识码** A

耕地土壤重金属污染防治对于人多地少的我国具有特别重要的现实意义, 研究耕地土壤中重金属分布特征与规律也是当前土壤科学所高度关注的问题, 相关文献极为丰富<sup>[1-8]</sup>。最近 10 年内严连香等<sup>[4]</sup>、王梅等<sup>[5]</sup>、刘静等<sup>[6]</sup>、陈永等<sup>[7]</sup>均先后从土壤科学研究层面报道过高强度人类活动背景下农田土壤重金属积累与迁移分布, 涉及重金属污染防治研究。镉(Cd)是典型的有毒有害重金属元素, 农田土壤中 Cd 较容易为水稻等吸收, 是多学科或专业研究土壤污染防治的重点, 也是农田土壤重金属分布特征及其规律研究的热点<sup>[1-3, 7, 8]</sup>。田块中土壤 Cd 分布与其污染治理紧密相关, 了解土壤 Cd 分布状况是防治其污染的前提。之前的农田土壤重金属等不均匀分布<sup>[9-11]</sup>研究甚少专门针对田块, 尽管大量的土壤重金属空间分异性研究成果<sup>[4-7, 9, 11]</sup>为 Cd 污染分布不均匀等奠定了理论基础, 但关于田块尺度土壤 Cd 污染分布不均匀的问题则一直少见翔实报道及其相

应研究资料。而掌握农田土壤田块尺度的 Cd 污染分布不均匀性这一规律, 对于当前防治耕地 Cd 污染又相当关键。为此, 本文拟对相关田块土壤的 Cd 等环境地球化学调查结果做一归纳分析, 专门探讨田块尺度上农田土壤 Cd 污染分布的不均匀性问题, 期望能为耕地 Cd 污染防治研究等提供部分参考或借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本研究区域位于长江三角洲(简称长三角, 余同)地区, 典型田块分别来自无锡市与泰州市。长三角是人口密集和耕地资源极为珍贵的地区, 也是我国土壤重金属污染报道较多的区域<sup>[12-19]</sup>。当地雨水充沛, 河网纵横, 地势平坦, 工业发达, 交通便利, 土地开发利用程度高, 耕地资源相对分散化或

\* 江苏省自然科学基金面上项目(BK20171496)、江苏省科技示范工程项目(BE2015708)、江苏省土地开发整理财政专项(苏财建[2015]447)共同资助 Supported by the Natural Science Foundation of Jiangsu Province (No. BK20171496), the Key Technology Support Program of Jiangsu Province (No. BE2015708) and the Special Fund (No. 2015-447) from Land Development and Consolidation of Jiangsu Province

作者简介: 廖启林(1964—), 男, 湖北荆门人, 教高, 环境地球化学专业。E-mail: 13951668257@163.com

收稿日期: 2019-02-18; 收到修改稿日期: 2019-06-24; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2019-08-15

破碎化程度也很高，经常能见到田块面积不足  $0.067 \text{ hm}^2$  的耕地（或农田，余同），而在长三角腹地苏、锡、常一带大多数耕地田块面积均小于  $0.33 \text{ hm}^2$ ，像  $0.1 \text{ hm}^2$  左右的田块很常见。本区实行一年两熟制，夏季主要播种水稻，冬季多播种小麦或油菜。基本农田多配有完善的灌溉系统，除利用雨水灌溉外、从附近河流就地取水机灌是其主要供水保障。其土壤种类繁多，偏酸性的水稻土是常见土类。因地处改革开放初期的乡镇企业重要发源地，导致当今城镇化发展迅猛、且出现了代表人类工业化初期所形成的“点源式”农田土壤重金属污染，以 Cd 污染暴露得更为明显。依据前人有关报道，当地涉及重金属的产业包括热电厂、电池厂、陶瓷工艺品加工、电子产品加工等<sup>[4,14,20-22]</sup>。其耕地 Cd 污染范围总体相对有限（其重度污染样点占比小于 0.5%），但因为污染田块分布相对隐蔽，总结其污染分布特征仍十分必要。

### 1.2 样品采集与分析

借助专门工具、依据田块形状系统采集耕作层土壤样品，采样深度控制在地表 20 cm 以上，每个田块采集 5~15 个样品，所采集的样品尽量均匀分布在田块的不同部位、并能控制整个田块所分布的范围。长条形（含近似长条形）田块，实行等间距采样，按照灌溉水流方向从头至尾每间隔 10 m 左右采集一个样品、每个样品由横切田块的代表该部位的一条线上的 5 个点土壤混合组成；方块形（含近似方块形）田块，实行对角式采样，按照中心与四角各采集一个样品、每个样品由代表该部位的呈梅花状 5 个点土壤混合组成。每个样品取土约 1 000 g，每个散点取土约 200 g，散点分布力求相对均匀，直线上的 5 个点要求均匀分布于田块的一个边界到另一边界，呈梅花状的 5 个点要求均匀分布在采样点 10 m 范围内。土壤沉积剖面按照不同深度截取样品、采样量一般为 300 g/样。

对所采集的土壤样品进行晾干、剔除草根等杂物后，揉碎、过 0.85 mm 孔径尼龙筛，分取 150 g 送实验室分析化验（取 50 g 做 pH 分析、取 100 g 做 Cd 等重金属分析），剩余样品留存备用。样品分析测试指标为 Cd、Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Hg、As、Sb、Se、pH、TOC 等，pH 采用过 0.85 mm 孔径筛

的土样直接经去离子水处理后上仪器分析，其他指标采用磨细至 0.075 mm 粒径以下的细颗粒进行分析。Cd 采用电感耦合等离子体质谱法（酸溶 ICP-MS）分析，Cu、Pb、Zn、Cr、Ni 等采用 X 射线荧光光谱法（XRF）分析，Hg、As、Sb、Se 采用原子荧光光谱法（AFS）分析，pH 测定采用电位法，TOC 测试采用重铬酸钾容量法。

### 1.3 数据获取

自 2013 年开始，分别在江苏长三角地区的无锡锡山区、宜兴市及泰州高港区等地针对典型农田土壤重金属污染进行了田块尺度的调查取样分析，获取了 5 个不同田块 42 个土壤样品的 Cd 等重金属分析数据，每个田块的基本信息见表 1，田块采样点分布情况见图 1。表中所列 5 个田块中，E 属于非污染田块、其余均为污染田块。田块 A 的污染源为镍镉电池厂，排污时间超过 15 年；田块 B、C 的污染源为附近的河泥，排污时间超过 20 年；田块 A 的污染源为有色玻璃厂（使用含镉颜料），排污时间超过 10 年。

### 1.4 土壤污染等级确定

参照《土壤环境质量标准》（GB15618-2018）的风险筛选值，利用调查获取的土壤 Cd 含量等数据计算上述田块土壤的各个样点的 Cd 污染指数  $P_i$ 。 $P_i = C_s / C_i$ ， $C_s$  为土壤 Cd 含量实测值， $C_i$  为农用地土壤污染风险筛选值（依据土壤 pH 差异分别限定为 0.3、0.6  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ， $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} = \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} = 10^{-6}$ ，余同）。依据  $P_i$  值大小或变化范围将耕地土壤 Cd 污染划分为：

清洁（或无污染）： $P_i < 1.0$ ；轻微污染： $P_i = 1.0 \sim 2.0$ ；轻度污染： $P_i = 2.0 \sim 3.0$ ；中度污染： $P_i = 3.0 \sim 5.0$ ；重度污染： $P_i > 5.0$ ，重度污染亦称为严重污染。

## 2 结果与讨论

### 2.1 典型田块中土壤 Cd 等分布特征

相对于各地土壤背景值而言，每个田块土壤 Cd 含量均明显偏高，这与上述 5 个田块均选择在污染区及其附近有关。表 2 列出了上述 5 个典型田块土壤中相关样品的 Cd 等分析测试结果，可看出这 5 个田块土壤中 Cd 多呈不均匀分布，具有如下特征：

表 1 典型污染田块背景资料

Table 1 Basic information of the surveyed farmland plots

田块编号 Plot No.	位置 Position	形状与大小 Shape and size	土地利用 Land use	采样数 Soil sampling number	土壤属性 Soil properties	田块周边环境 Around environment
A	无锡市锡山区	近似长方形, 约 150 m×20 m	苗圃 (园地)	10	湖积相成因的砂黏土、偏酸性	某镍镉电池厂西侧的苗圃地+稻田, 采样点从工厂墙边向外延伸
B	宜兴市	近似长方形, 约 90 m×6 m	稻田 (水旱轮种)	10	湖积相成因的黏土 (水稻土)、偏酸性	村级公路旁侧的大片稻田, 紧邻陶瓷工艺品加工场地, 附近有河泥严重镉污染的河流
C	宜兴市	近似长方形, 约 75 m×5 m	稻田 (水旱轮种)	10	冲积相成因的水稻土、中偏酸性	县级公路旁侧的连片稻田, 附近有居民住宅、加油站、大棚农业种植地 (草莓、西瓜) 等
D	泰州市高港区	近似正方形, 约 80 m×80 m	稻田 (水旱轮种)	6	冲积相成因的粉砂土 (水稻土)、碱性	长江北岸附近的大片稻田, 附近为居民住宅区及小型工厂 (加工彩色玻璃等)
E	泰州市高港区	近似正方形, 约 60 m×60 m	稻田 (水旱轮种)	6	冲积相成因的粉砂土 (水稻土)、碱性	长江北岸附近的大片稻田, 附近为居民住宅区, 水塘中严重富营养化

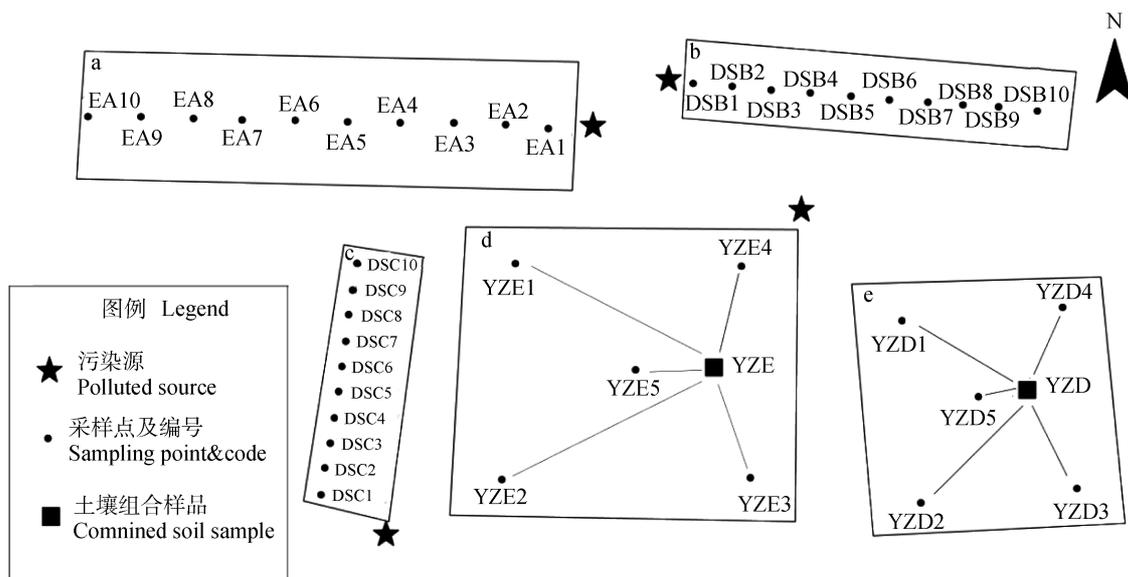


图 1 田块采样示意图

Fig. 1 Distribution map of soil sampling points in the every farmland plots

表 2 污染田块土壤 Cd 等元素分布调查分析结果

Table 2 Contents of 11 studied elements in the surveyed polluted farmlands

田块	样号	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Hg	As	Se	pH	TOC
Plot	Sample No.	/ (mg·kg <sup>-1</sup> )										%
田块 A Plot A	EA1	89.5	47.5	51.4	136	86.6	338	0.78	11.0	0.44	6.29	1.79
	EA2	32.8	52.7	57.9	161	90.3	162	0.78	11.1	0.52	6.44	2.01
	EA3	16.9	44.9	49.5	104	84.7	74.9	1.05	10.2	0.34	5.21	1.74
	EA4	9.02	44.4	55.8	104	82.0	53.5	1.46	9.72	0.35	5.26	1.75
	EA5	4.10	44.4	60.1	104	79.1	43.2	1.49	10.5	0.34	6.22	1.57
	EA6	2.94	78.3	67.2	113	78.6	40.7	1.64	11.2	0.36	5.64	1.76
	EA7	0.59	31.6	33.4	72.6	81.1	38.5	2.99	10.9	0.21	6.80	1.22
	EA8	1.24	45.7	57.8	96	79.3	34.7	1.39	9.83	0.32	6.00	2.36
	EA9	0.85	42.4	58.8	111	78.8	36.3	1.33	10.9	0.32	5.49	1.84
	EA10	0.34	134.0	45.5	214	105	49.9	0.93	15.3	0.88	4.35	1.71
田块 B Plot B	DSB1	1.93	28.7	44.8	78.2	70.1	23.5	0.16	9.16	1.08	5.42	3.67
	DSB2	1.31	28.0	44.5	74.2	69.6	25.7	0.14	8.91	1.02	5.54	3.47
	DSB3	1.14	26.4	42.6	71.1	71.9	26.3	0.20	8.89	1.05	5.44	3.03
	DSB4	1.16	26.6	44.1	69.9	73.1	26.2	0.15	8.92	1.11	5.34	3.11
	DSB5	1.26	27.8	44.0	68.5	73.1	25.6	0.19	9.4	1.21	5.38	3.00
	DSB6	1.52	26.6	45.8	69.1	71.7	27.2	0.13	9.26	1.28	5.60	2.76
	DSB7	2.14	27.4	45.0	72.4	71.6	27.2	0.14	8.93	1.55	5.52	2.78
	DSB8	3.17	28.4	47.4	72.2	70.3	26.7	0.15	9.08	2.1	5.38	2.96
	DSB9	4.91	27.9	45.4	72.8	70.8	26.6	0.13	8.13	2.71	5.27	2.87
	DSB10	11.0	27.8	44.5	72.6	71.4	25.3	0.16	8.32	3.53	5.39	2.79
田块 C Plot C	DSC1	5.18	16.8	33.8	62.8	54.3	15.6	0.20	5.22	1.72	6.60	1.66
	DSC2	3.96	17.5	34.8	60.6	50.8	16.8	0.18	5.14	1.50	6.28	1.48
	DSC3	3.42	17.6	36.4	62.8	52.6	16.8	0.20	5.22	1.40	6.34	1.44
	DSC4	2.86	17.7	33.0	59.1	53.8	19.4	0.19	4.98	1.28	6.58	1.44
	DSC5	2.24	17.6	32.6	60.4	53.6	18.8	0.20	5.66	1.18	6.50	1.46
	DSC6	2.34	17.4	33.6	59.4	55.0	18.8	0.20	5.17	1.19	6.50	1.51
	DSC7	2.41	17.4	36.6	61.5	55.4	17.9	0.22	5.02	1.16	6.26	1.52
	DSC8	2.28	18.0	36.4	76.3	54.3	18.0	0.20	4.93	1.09	6.30	1.49
	DSC9	2.58	19.4	61.4	93.4	52.9	15.7	0.20	5.22	1.10	6.30	1.60
	DSC10	2.36	18.8	33.8	62.4	50.8	18.0	0.21	5.02	1.14	6.30	1.64
田块 D Plot D	YZD	3.91	45.1	40.8	149	85.8	41.2	0.11	13.6	2.03	7.69	2.63
	YZD1	2.86	43.2	40.6	132	86.8	42.7	0.11	13.3	1.40	7.57	2.48
	YZD2	2.00	46.4	36.7	136	84.9	42.4	0.10	10.8	0.97	7.62	2.95
	YZD3	2.75	54.6	41.6	160	85.9	42.8	0.13	12.2	1.41	7.73	3.00
	YZD4	13.2	46.4	54.1	197	86.9	44.1	0.22	17.8	7.37	7.74	2.80
YZD5	2.23	40.4	37.5	127	85.0	40.0	0.12	12.1	1.28	7.76	2.17	

续表

田块	样号	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Hg	As	Se	pH	TOC
Plot	Sample No.	/(mg·kg <sup>-1</sup> )										%
	YZE	0.49	41.6	34.6	121	85.1	42.4	0.087	10.3	0.39	7.89	2.23
	YZE1	0.41	43.3	32.9	127	85.6	42.9	0.096	10.2	0.39	7.90	2.43
田块 E	YZE2	0.43	44.1	30.8	130	87.2	42.8	0.095	10	0.39	7.83	2.63
Plot E	YZE3	0.38	37.6	31.8	107	86.0	40.1	0.073	9.32	0.30	7.94	1.94
	YZE4	0.39	40.4	30.2	115	90.4	41.5	0.082	11.1	0.34	7.96	1.75
	YZE5	0.40	44.5	33.4	124	88.2	43.4	0.097	10.1	0.33	8.06	2.18
江苏土壤均值/ Mean in Jiangsu Province soils		0.151	26.0	26.8	73.0	76.0	32.9	0.082	9.40	0.21	7.33	1.09
无锡土壤均值/ Mean in Wuxi City soils		0.187	29.5	34.2	81.3	78.9	30.9	0.195	9.00	0.38	6.29	1.54
泰州土壤均值/ Mean in Taizhou City soils		0.144	24.4	24.4	73.6	75.5	30.3	0.076	7.60	0.19	7.45	1.15

(1) 土壤 Cd > 1.0 mg·kg<sup>-1</sup> 的田块中, 其同一田块土壤中 Cd 含量均存在显著差异、呈不均匀分布。例如, 田块 A 采集 10 个土样, 其土壤中 Cd 最高含量为 89.5 mg·kg<sup>-1</sup>、最低含量仅为 0.34 mg·kg<sup>-1</sup>, 二者相差 263 倍多, 其 10 个土壤样品的 Cd 含量变异系数 (CV, 余同) 为 176%; 田块 B 也采集 10 个土样, 其土壤中 Cd 最高含量为 11.0 mg·kg<sup>-1</sup>、最低含量仅为 1.14 mg·kg<sup>-1</sup>, 二者相差近 10 倍, Cd 含量变异系数为 104%; 此外, 田块 C、D 中土壤 Cd 分布也呈不均匀态势。

(2) 与上述污染田块中土壤 Cd 呈不均匀分布相比较, 同一块污染稻田土壤中, 其他重金属元素则未显示类似特征。例如, 田块 B、C、D 均为 Cd 污染田块, 其各自田块土壤中 Cu、Pb、Cr、Ni、As、Hg 等重金属元素分布差异均不显著, 同一田块中每个元素含量的最大值与最小值相差均不超过 2 倍 (绝大部分相差不得超过 1.5 倍)、元素含量变异系数 CV 全部小于 50%, 表明田块中的 Cu、Pb、Cr、Ni、As、Hg 等未呈现显著不均匀分布。

(3) 田块 A 属于苗圃地 (旱地、先前为耕地), 该田块土壤表现为 Cd 等多个重金属元素呈不均匀分布。在其 10 个土壤样品测试数据中, Cd、Pb、Zn、Ni、Hg、Se 等均呈现不均匀分布, 每个元素的最高含量与最低含量相差达到 2 倍以上、且元素含量变异系数多大于 50%, 以 Cd、Ni 分布不均匀特

征最为明显。与田块 A 相反的是, 田块 E 中所有元素几乎均呈现相对均匀分布。说明田块尺度土壤中 Cd 等分布不均匀有多种表现形式, 而旱地土壤中 Cd 等分布不均匀可能更甚于稻田。在未发生污染的稻田中, 其田块尺度上土壤 Cd 等重金属分布以相对均匀为主, 预示着田块尺度上土壤 Cd 分布不均匀主要是外源污染所致。

(4) 除田块 A 外, 其余 4 个田块中土壤 pH 相对稳定。田块 A 中 10 个土壤样品的 pH 变化范围为 4.35~6.80, 田块 B 中 10 个土壤样品的 pH 变化范围为 5.27~5.60, 田块 C 中 10 个土壤样品的 pH 变化范围为 6.26~6.60, 田块 D 中 6 个土壤样品的 pH 变化范围为 7.57~7.76, 田块 E 中 6 个土壤样品的 pH 变化范围为 7.89~8.06。田块 A 属于苗圃用地 (旱作), 其余 4 个田块均为稻田 (水田)。对比旱地田块及水稻田块的土壤 Cd 及 pH 的变异关系, 发现旱地田块的 Cd 污染呈现不均匀分布时、其土壤 pH 分布也呈现了很大差异性, 但水稻田块呈现 Cd 污染分布不均匀时、其土壤 pH 分布则未显示出明显差异, 表明田块的利用方式对土壤 Cd 污染不均匀分布及其 pH 分布等有直接影响。

(5) 在田块土壤 Cd 污染分布不均匀的同时, 其 TOC (总有机碳) 分布也呈现了相似的不均匀分布。如田块 B 的 10 个土壤样品的 TOC 极值差却为 0.91、极值差同其均值比达到 29.6%。其余各田块中,

土壤 TOC 的最大值与最小值也存在一定差异。

## 2.2 田块尺度土壤 Cd 污染及其变化

利用表 2 中的调查数据, 对上述 5 个田块的 Cd 污染状况进行评价, 结果列于表 3。从该表可看出, 4 个污染田块 A、B、C、D 中仅田块 C 全部达到重

度污染, 田块 A 分别达到了轻微—重度污染, 田块 B、D 全部为中度—重度污染。除无污染的田块 E 及面积最小的田块 C 外, 其余 3 个田块中土壤 Cd 的污染程度均可分为不同的污染等级, 进一步证实当地田块尺度上土壤 Cd 污染分布具有普遍的不均匀性。

表 3 田块土壤 Cd 污染评价结果

Table 3 Assessment results of Cd pollution in soils from the above stated plots

田块编号 Plot No	Cd/ ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	pH	变异系数 CV /%	污染指数 Polluted index (Pi)	污染等级 Pollution classification	重度污染样点比例 Proportion of serious pollution/%
A	0.34~89.5	4.35~6.8	176	1.13~298.3	轻微—重度	60
B	1.14~11.0	5.27~5.6	104	3.8~36.7	中度—重度	60
C	2.24~5.18	6.26~6.6	34	7.47~17.3	重度	100
D	2.0~13.2	7.57~7.76	96	3.33~22.0	中度—重度	33.3
E	0.38~0.49	7.89~8.06	10	0.63~0.82	无污染	0

对于近似长方形 (或长条形) 的田块而言, 污染分布在空间上呈近似指数衰减特征。距离污染源最近的一端, 其土壤 Cd 含量相对最高, 随着远离污染源、其土壤 Cd 含量渐次降低, 直至逐步衰减至当地土壤正常 Cd 含量, 这方面的典型实例有田块 A、B。

田块 A 的污染源锁定为某一镍镉电池厂, 东端紧邻电池厂所在的围墙、西端距离电池厂约 200 m, 该田块中土壤 Cd 污染从东向西呈渐次衰减, Cd 含量从  $89.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  降低至  $1.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之下, 距离电池厂的距离从 20 m 内增加至 200 m, 田块中土壤 Cd 含量从东端向西端成规则性的指数衰减趋势, 与田块土壤 Cd 呈类似衰减的还有 Ni, 如图 2 所示。

田块 B 的 Cd 污染由河水灌溉所致, 附近的河流淤泥中因为陶瓷品加工之“三废”排放而聚集了大量的 Cd, 再通过抽取该河流的水 (夹带污泥) 灌溉田块 B, 而形成了局地 Cd 污染。该田块是入水口附近的土壤 Cd 最高、达到  $11.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 出水口附近的土壤 Cd 最低、仅为  $1.0\sim 2.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 在总长度不到 100 m 的范围内从入水口到出水口其土壤 Cd 也呈近似指数衰减特征。

对于近似正方形 (或方块形) 的田块而言, 土壤 Cd 污染变化在空间上无明显的方向性, 其典型实例为田块 D, 在该田块共测试了 6 个土壤样品, 4 个角落与中心点土壤的 Cd 含量呈无规则变化, 但靠近污染源那个角落附近土壤 Cd 含量最高, 达

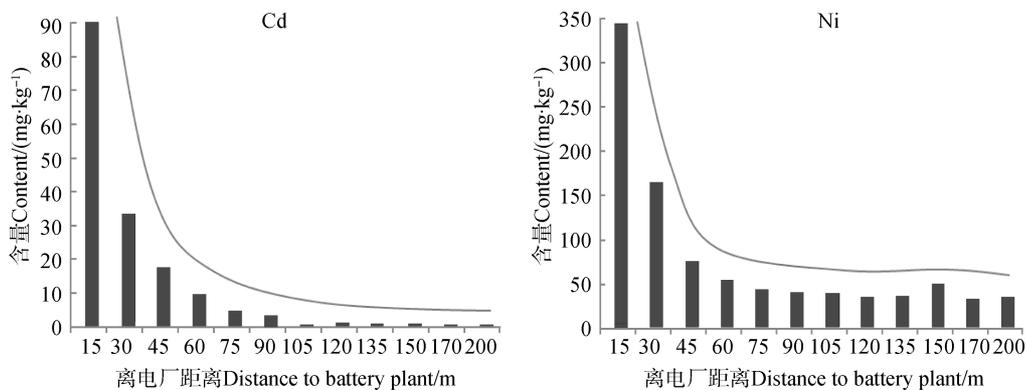


图 2 田块 A 土壤中 Cd、Ni 衰变特征

Fig. 2 Variation of Cd and Ni contents in soils from the plot A

到  $13.2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，其余 3 个角落及中心点附近土壤 Cd 含量全部介于  $2.0\sim 3.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  之间，整个田块采用 4 角落+中心点组合采样所得到的均一化土壤 Cd 含量为  $3.91 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。该方形田块土壤 Cd 污染空间变化呈无规则状，但靠近污染源附近土壤中 Cd 污染最严重的趋势依然存在。

表 4 展示了取自田块 B 中一个土壤沉积剖面的 Cd 等元素含量分析结果，可看出该田块中的 Cd 主要富集在 0~20 cm 深度的表层土壤中、20~40 cm 深度的土壤有轻度的 Cd 相对富集，在 0~20 cm 深度土层中还伴随有 Pb、Zn、Sb、TOC 等相对富集，这一深度土壤的 pH 则相对偏低，反映了污染田块耕作层土壤不仅聚集了 Cd 等、还同时会伴随土壤的相对酸化。在其他 Cd 污染田块进行土壤沉积剖面调查分析的结果也与此类似，说明在类似长三角这类地区的 Cd 污染田块中，耕地 Cd 污染主要还是集中在耕作层土壤中，耕作层以下深度土壤中甚少出现 Cd 污染、至少未重现严重的 Cd 污染。

### 2.3 田块土壤 Cd 污染不均匀分布的主控因素

依据土壤沉积剖面的重金属等元素分布特征来鉴别污染成因已被前人广泛运用<sup>[21-24]</sup>，上述长三角典型地区的耕地 Cd 污染成因主要来自人为活动的影响、而非先天的地质作用，这一点也被大量的土壤沉积剖面的元素地球化学调查结果所证实<sup>[21,24]</sup>。耕作层土壤作为表生地质作用与人类活动共同孕育的产物，继承了土壤作为非均质体的基本结构特征及其相关的元素分布空间差异性<sup>[25-29]</sup>，同时也蕴藏了缘于人类活动的随机因素所导致的部分物质组成演化之不可预测性<sup>[3,9,27]</sup>。对于上述出现的田块尺度上农田土壤中 Cd 污染分布不均匀，与土壤本身非均质体、同时受多种人为因素影响有关。

通常认为向农田土壤输送 Cd 的路径主要有 3 条，分别为工业“三废”排放（含降尘等）、灌溉（含带入污泥等）、施肥（含各种农药与添加剂添加等）<sup>[2,20,22,30-31]</sup>。落实到具体田块，其土壤 Cd 的相对富集很可能来自上述 3 个途径的某一种或某几种的叠加。与之前报道的农田土壤 Cd 污染多源于矿业、特殊磷肥施用及大规模污灌等所不同的是，像长三角这类平原区的局地农田土壤 Cd 污染更多的

是源于一些非主流的人为活动，如陶瓷工艺品与有色玻璃生产中用到的 Cd 和 Se 颜料、Ni-Cd 电池厂的废气排放、富 Cd 淤泥的就近转移等，这些因素形成的局部农田土壤 Cd 污染在空间分布上难以用常理去推测或预测，但其分布范围相对比较有限，在表现形式上污染分布不均匀性特征鲜明。

何以在一个长仅 20~200 m、宽仅 5~80 m 的田块中同时出现不同程度的土壤 Cd 污染？综合对比分析认为，有两方面的因素发挥了突出作用。其一，田块平整度暨微地貌或地势的差异是导致田块土壤 Cd 污染分布不均匀的主要内因；其二，土壤 Cd 输入的随机性是导致田块 Cd 污染分布不均匀的主要外因。诸如微地貌差异可导致同一田块存在积水坑、地势低洼等，使灌溉水等并非处于同一水平面上流动，形成土壤中的污染物容易随着水流向地势最低的地段汇集，而抽水灌溉又是向耕地输送 Cd 的常见方式，像无锡宜兴、泰州高港等地的田块中均发现了积水地段土壤 Cd 含量相对最高的现象，表明微地貌差异的确是导致田块尺度土壤 Cd 污染分布不均匀的控制因素。再如，通过施肥、三废排放等向田块输送 Cd 有一定的随机性，像人工撒肥、小工厂或作坊的排放等均是不可控的，带有一定的随机性或偶然性，好比一块旧电池被扔进田块、一把富含 Cd 的肥料被随机播撒到某个部位，均可以导致同一田块中土壤 Cd 污染分布不均匀。距离污染源头的远近不同，也能导致田块土壤 Cd 污染分布不均匀性。

总之，上述田块度农田土壤中的 Cd 污染分布不均匀是土壤的非均质性与多种人为因素干扰的综合作用结果，缘于相关内因与外因的共同作用，不可控的人为干扰之影响作用甚大。人为活动与农田土壤的重金属污染成因之间的探讨早已不再是新鲜课题<sup>[30-33]</sup>，随着田块尺度土壤重金属污染评价研究的深入，包含一些成熟的土壤空间分布差异性分析技术的日趋完善与推广应用<sup>[34-35]</sup>，尤其是伴随我国农业现代化的逐步推进，相关农田土壤重金属污染的防治研究及其规律总结将趋向定量化、系统化、实用化<sup>[36-37]</sup>，对相关田块尺度上农田土壤 Cd 等污染分布不均匀的认识及其成因探讨也会更加精准全面。

表 4 污染田块中典型土壤沉积剖面采样分析结果

Table 4 Analytical results of heavy metals, pH and TOC in the vertical soil profile within a plot

样号	深度/cm	Cd	Cu	Pb	Zn	Cr	Ni	Hg	As	Sb	pH	TOC
Sample No	Depth	/ (mg·kg <sup>-1</sup> )										%
BQP-1	0~5	16.2	30.4	48.0	79.1	70.3	27.7	0.17	7.79	1.31	5.74	2.97
BQP-2	5~10	17.5	30.1	47.8	76.1	70.1	28.5	0.18	8.17	1.35	5.81	2.76
BQP-3	10~15	4.32	27.2	40.2	66.7	71.4	24.7	0.15	8.78	1.19	6.08	1.84
BQP-4	15~20	1.12	25.5	35.6	60.1	72.3	25.9	0.20	8.11	1.01	6.31	1.57
BQP-5	20~25	0.87	24.8	31.6	55.8	69.8	26.2	0.17	8.09	0.84	6.48	1.48
BQP-6	25~30	0.36	25.6	30.6	54.1	72.3	26.2	0.36	8.7	0.80	6.57	1.34
BQP-7	30~35	0.43	25.0	31.2	55.5	70.8	26.3	0.14	9.62	0.86	6.47	1.21
BQP-8	25~40	0.34	23.3	30.0	52.8	77.7	31.0	0.12	11.8	0.98	6.55	1.08
BQP-9	40~45	0.26	25.0	28.6	54.0	73.7	29.0	0.12	11.9	0.81	6.68	0.92
BQP-10	45~50	0.32	24.0	28.4	53.7	69.3	24.8	0.13	9.87	0.83	6.54	1.03
BQP-11	50~55	0.13	23.0	29.4	52.7	68.6	24.7	0.12	9.96	0.93	6.46	1.07
BQP-12	55~60	0.17	25.2	31.1	62.4	72.4	28.1	0.14	7.21	0.81	6.01	1.55
BQP-13	60~70	0.16	25.7	30.6	59.2	73.3	26.7	0.14	6.76	0.79	6.37	1.39
BQP-14	70~80	0.042	29.3	25.5	57.1	100.0	46.4	0.048	14.4	0.94	6.76	0.30
BQP-15	80~90	0.057	30.2	26.8	63.3	101.0	50.7	0.058	14.5	0.98	7.02	0.27
BQP-16	90~100	0.048	27.9	27.2	58.3	91.9	46.3	0.032	17.2	1.04	7.20	0.19
BQP-17	100~110	0.065	24.6	27.9	57.7	87.2	40.5	0.029	18.1	1.04	7.35	0.25
BQP-18	110~120	0.093	25.5	27.1	53.4	83.5	37.5	0.025	17.0	1.13	7.26	0.26
BQP-19	120~130	0.041	23.5	24.8	50.6	78.9	30.4	0.024	14.8	0.99	7.50	0.26
BQP-20	130~140	0.02	23.7	24.4	50.5	83.2	31.0	0.025	13.2	0.99	7.55	0.25
BQP-21	140~150	0.025	24.4	26.5	53.7	83.6	31.5	0.024	12.0	0.88	7.58	0.23
BQP-22	150~160	0.026	23.8	25.4	56.1	85.5	33.2	0.024	7.05	0.82	7.66	0.18
BQP-23	160~170	0.041	22.2	25.8	62.4	86.9	35.5	0.023	12.9	0.99	7.73	0.20
BQP-24	170~180	0.024	21.8	26.4	65.5	84.3	38.9	0.023	12.0	0.99	7.74	0.20
BQP-25	180~190	0.034	25.2	25.3	70.4	88.2	40.2	0.023	13.1	1.00	7.60	0.26
BQP-26	190~200	0.046	26.2	27.6	76.7	91.6	44.7	0.024	13.7	0.88	7.61	0.34
BQP-27	200~220	0.024	26.7	27.3	79.2	94.3	47.0	0.026	15.1	0.92	7.65	0.32

### 3 结 论

在耕地等农田分布破碎化程度极高的长三角地区，田块尺度上农田土壤 Cd 污染分布不均匀具有普遍性。同一田块若存在 Cd > 1.0 mg·kg<sup>-1</sup> 的土壤、其不同部位 Cd 含量多有显著差异，最高与最低含量之间可相差几十倍。在一块面积不足 0.13 hm<sup>2</sup>、

长不足百米、宽不足十米的稻田中，可同时存在轻、中、重度等 Cd 污染。土壤的非均质特性与不可控的人为干扰等共同作用是导致田块尺度土壤 Cd 污染分布不均匀的主要原因。田块尺度土壤 Cd 污染分布不均匀主要表现在水平方向上，在垂直方向上田块土壤中 Cd 污染主要聚集在耕作层深度范围内即 20 cm 以上（或以浅）的表层。尽管田块中出现了土壤 Cd 污染分布不均匀，但稻田中其他重金属

如 Cu、Pb、Zn、As、Cr 等分布则并未出现类似现象, 这些重金属在田块尺度上的水田土壤中总体以均匀分布为主。准确认识并把握田块尺度上存在土壤 Cd 污染分布不均匀的规律, 对于有效开展耕地 Cd 等污染修复治理有重要价值。

**致谢** 参加该项研究的还有汤志云、华明、朱伯万等, 江苏省地质调查研究院的有关领导及专家对本项研究给予了大力支持帮助, 中国科学院南京土壤研究所史学正、黄标研究员提供了重要指导与帮助, 谨此致谢!

### 参考文献

- [ 1 ] Li W, Xu B, Song Q, et al. The identification of 'hotspots' of heavy metal pollution in soil-rice systems at a regional scale in eastern China. *Science of the Total Environment*, 2014, 472: 407—420
- [ 2 ] Hu Y N, Cheng H F, Tao S, et al. The challenges and solutions for cadmium-contaminated rice in China: A critical review. *Environment International*, 2016, 92/93: 515—532
- [ 3 ] 曾希柏, 徐建明, 黄巧云, 等. 中国农田重金属问题的若干思考. *土壤学报*, 2013, 50 (1): 186—194  
Zeng X B, Xu J M, Huang Q Y, et al. Some deliberations on the issues of heavy metals farmland of China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (1): 186—194
- [ 4 ] 严连香, 黄标, 邵学新, 等. 不同工业企业周围土壤-作物系统重金属 Pb、Cd 的空间变异及其迁移规律. *土壤学报*, 2009, 46 (1): 52—62  
Yan L X, Huang B, Shao X X, et al. Spatial variability and transfer of Pb and Cd in soil-crop system around different types of factories (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46 (1): 52—62
- [ 5 ] 王梅, 黄标, 孙维侠, 等. 强烈人为作用下城镇周围汞的空间变异及其积累迁移规律. *土壤学报*, 2011, 48 (3): 506—515  
Wang M, Huang B, Sun W X, et al. Spatial variability accumulation and transfer of Hg in soils around towns under intensive human activities in the Yangtze River Delta region, China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48 (3): 506—515
- [ 6 ] 刘静, 黄标, 孙维侠, 等. 经济发达区不同土壤利用方式下重金属的时空分布及预测. *土壤*, 2011, 43 (2): 210—215  
Liu J, Huang B, Sun W X, et al. Spatial-temporal distribution and prediction of heavy metals under different soil use patterns in an economically developed area (In Chinese). *Soils*, 2011, 43 (2): 210—215
- [ 7 ] 陈永, 黄标, 胡文友, 等. 设施蔬菜生产系统重金属积累特征及生态效应. *土壤学报*, 2013, 50 (4): 693—702  
Chen Y, Huang B, Hu W Y, et al. Heavy metal accumulation in greenhouse vegetable production systems and its ecological effects (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50 (4): 693—702
- [ 8 ] 辛璐君, 齐学斌, 郭建青, 等. 单次污水灌溉后长期污灌土壤镉的垂向分布特征. *中国生态农业学报*, 2016, 24 (2): 235—243  
Xin L J, Qi X B, Guo J Q, et al. Vertical variability of cadmium after one sewage irrigation in long-term sewage-irrigated areas (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24 (2): 235—243
- [ 9 ] 杨孟, 李凤英, 刁一伟, 等. 城市区域土壤铅含量空间变异的多尺度研究进展. *环境科学*, 2014, 35 (4): 1586—1596  
Yang M, Li F Y, Diao Y W, et al. A review of multi-scale studies on spatial variation of the lead (Pb) concentration in urban soils (In Chinese). *Environmental Sciences*, 2014, 35 (4): 1586—1596
- [ 10 ] 王纪华, 沈涛, 陆安祥, 等. 田块尺度上土壤重金属污染地统计分析及其评价. *农业工程学报*, 2008, 24 (11): 226—229  
Wang J H, Shen T, Lu A X, et al. Geo-statistical analysis and evaluation of soil heavy metal pollution on a field scale (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24 (11): 226—229
- [ 11 ] 韩平, 王纪华, 潘立刚, 等. 北京郊区田块尺度土壤质量评价. *农业工程学报*, 2009, 25 (增刊2): 228—234  
Han P, Wang J H, Pan L G, et al. Evaluation of soil quality in suburb of Beijing under field scale (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25 (Supp.2): 228—234
- [ 12 ] 陈涛, 施加春, 刘杏梅, 等. 杭州市城乡结合带蔬菜土壤铅铜含量的时空变异研究. *土壤学报*, 2008, 45 (4): 608—615  
Chen T, Shi J C, Liu X M, et al. Spatial-temporal variability of lead and copper contents in vegetable soil in the peri-urban areas of Hangzhou City (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45 (4): 609—615
- [ 13 ] Zhao Y C, Wang Z G, Sun W X, et al. Spatial interrelations and multi-scale sources of soil heavy metal variability in a typical urban-rural transition area in Yangtze River Delta region of China. *Geoderma*, 2010, 156 (3): 216—227
- [ 14 ] 李建国, 濮励杰, 廖启林, 等. 无锡市土壤重金属富集的梯度效应与来源差异. *地理科学*, 2014, 34 (4): 496—504  
Li J G, Pu L J, Liao Q L, et al. The sources and gradient effect of soil heavy metal concentrations in Wuxi City (In Chinese). *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34 (4): 496—504
- [ 15 ] Chen T, Liu X M, Li X, et al. Heavy metal sources identification and sampling uncertainty analysis in a

- field-scale vegetable soil of Hangzhou, China. *Environmental Pollution*, 2009, 157: 1003—1010
- [ 16 ] Li J G, Pu L J, Zhu M, et al. Spatial pattern of heavy metal concentration in the soil of rapid urbanization area: A case of Ehu Town, Wuxi City, Eastern China. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 71: 3355—3362
- [ 17 ] Yang S L, Zhao Q Y, Belkin I M. Temporal variations in the sediment load of the Yangtze River and the influences of human activities. *Journal of Hydrology*, 2002, 263 ( 1/4 ): 56—71
- [ 18 ] Wu C F, Huang J Y, Minasny B, et al. Two-dimensional empirical mode decomposition of heavy metal spatial variation in agricultural soils, Southeast China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, DOI 10.1007/s11356-017-8511-x
- [ 19 ] 周国华, 郑文, 刘占元, 等. 平原区中大比例尺土壤地球化学调查采样方法—浙江省平湖市试验研究. 第四纪研究, 2005, 25 ( 3 ): 306—315  
Zhou G H, Zheng W, Liu Z Y, et al. Soil sampling methods for middle and large-scale geochemical survey in plain regions: A pilot study in Pinghu, Zhejiang Province ( In Chinese ). *Quaternary Sciences*, 2005, 25 ( 3 ): 306—315
- [ 20 ] 郑茂坤, 骆永明, 赵其国, 等. 废旧电子产品拆解区农田土壤 Cu、Zn、Pb、Cd 污染特征及空间分布规律. 土壤学报, 2010, 47 ( 3 ): 584—588  
Zheng M K, Luo Y M, Zhao Q G, et al. Contamination characteristics and spatial distribution of Cu, Pb, Zn, and Cd in farmland soil in an electronic waste disassembling area ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2010, 47 ( 3 ): 584—588
- [ 21 ] 廖启林, 华明, 金洋, 等. 江苏省土壤重金属分布特征与污染源初步研究. 中国地质, 2009, 36 ( 5 ): 1163—1174  
Liao Q L, Hua M, Jin Y, et al. A preliminary study of the distribution and pollution source of heavy metals in soils of Jiangsu Province ( In Chinese ). *Geology in China*, 2009, 36 ( 5 ): 1163—1174
- [ 22 ] Lin L Q, Cong L, Yun W H, et al. Association of soil cadmium contamination with ceramic industry: A case study in a Chinese town. *Science of the Total Environment*, 2015, 514: 26—32
- [ 23 ] 谭长银, 吴龙华, 骆永明, 等. 典型潮土剖面主要性质和微量重金属垂直分布特征. 土壤学报, 2009, 46 ( 5 ): 817—824  
Tan C Y, Wu L H, Luo Y M, et al. Vertical distribution characteristics of selected soil properties and trace metals in typical Calcareous fluvo-aquic soil profile ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46 ( 5 ): 817—824
- [ 24 ] 廖启林, 刘聪, 金洋, 等. 江苏省域土壤元素地表富集及其与人为活动的关系研究. 第四纪研究, 2013, 33 ( 5 ): 972—985  
Liao Q L, Liu C, Jin Y, et al. Surface environmental enrichment of some elements and its relationship between anthropogenic activity and elemental distribution in soil in Jiangsu Province ( In Chinese ). *Quaternary Sciences*, 2013, 33 ( 5 ): 972—985
- [ 25 ] Huo X N, Li H, Sun D F, et al. Multi-scale spatial structure of heavy metals in agricultural soils in Beijing. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, 164: 605—616
- [ 26 ] Hengl T, Heuvelink G B M, Stein A. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma*, 2004, 120: 75—93
- [ 27 ] 杨奇勇, 杨劲松, 余世鹏, 等. 不同尺度下耕地土壤 Cr 含量的空间自相关性分析. 应用与环境生物学报, 2011, 17 ( 3 ): 393—397  
Yang Q Y, Yang J S, Yu S P, et al. Spatial autocorrelation analysis of Cr content in cultivated soil at different scales ( In Chinese ). *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2011, 17 ( 3 ): 393—397
- [ 28 ] 唐希望, 同延安, 吉普辉, 等. 关中地区日光温室重金属污染及其田块尺度下的特征. 干旱地区农业研究, 2016, 34 ( 1 ): 272—278  
Tang X W, Tong Y A, Ji P H, et al. Assessment of greenhouse heavy metal pollution in Guanzhong area and analysis of its spatial distribution on field scale using Geo-statistical software ( In Chinese ). *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016, 34 ( 1 ): 272—278
- [ 29 ] 张文敏, 姜小三, 吴明, 等. 杭州湾南岸土壤有机质空间变异性研究. 土壤学报, 2014, 51 ( 5 ): 1087—1095  
Zhang W M, Jiang X S, Wu M, et al. Spatial heterogeneity of soil organic carbon on the south coast of Hangzhou Bay ( In Chinese ). *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51 ( 5 ): 1087—1095
- [ 30 ] Merrington G, Alloway B J. Cadmium accumulation in agricultural soils in Western Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2002, 141: 281—297
- [ 31 ] Wilcke W, Muller S, Kanchanakool N, et al. Urban soil contamination in Bangkok: Heavy metal and aluminium partitioning in topsoils. *Geoderma*, 1998, 86 ( 3/4 ): 211—228
- [ 32 ] Abu-Rukah Y, Ghrefat H A. Assessment of the anthropogenic influx of metallic pollutants in Yarmouk River, Jordan. *Environmental Geology*, 2001, 40 ( 6 ): 683—692
- [ 33 ] Reimann C, de Caritat P. Distinguishing between natural and anthropogenic source for elements in the environment: Regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Science of the Total Environment*, 2005, 337: 91—107
- [ 34 ] Xiao H, Böttcher J, Utermann J. Evaluation of field-scale variability of heavy metal sorption in soils by scale factors — Scaling approach and statistical analysis.

- Geoderma, 2015, 241/242: 115—125
- [ 35 ] 张旭洋, 林青, 黄修东, 等. 大沽河流域土壤水-地下水耦合模拟及补给量估算. 土壤学报, 2019, 56(1): 101—113  
Zhang X Y, Lin Q, Huang X D, et al. Numerical simulation coupling soil water/groundwater and estimation of groundwater recharge in Dagu River Basin ( In Chinese ). Acta Pedologica Sinica, 2019, 56 ( 1 ): 101—113
- [ 36 ] 卢新哲, 谷安庆, 张言午, 等. 基于环境地球化学基线的农用地重金属累积特征及其潜在生态危害风险研究. 土壤学报, 2019, 56 ( 2 ): 409—419  
Lu X Z, Gu A Q, Zhang Y W, et al. Sources and risk assessment of heavy metal in agricultural soils based on the environmental geochemical baselines ( In Chinese ). Acta Pedologica Sinica, 2019, 56 ( 2 ): 409—419
- [ 37 ] 张桃林, 王兴祥. 推进土壤污染防治与修复厚植农业高质量发展根基. 土壤学报, 2019, 56 ( 2 ): 251—258  
Zhang T L, Wang X X. Prevention and remediation of soil contamination to strengthen the foundation for green and high-quality agricultural development in China ( In Chinese ). Acta Pedologica Sinica, 2019, 56( 2 ): 251—258

## Distribution Inhomogeneity of Cd Pollution of Farmland Soil on A Plot-scale

LIAO Qilin REN Jinhua XU Weiwei LI Wenbo FAN Jian JIN Yang CUI Xiaodan WANG Yuanyuan  
(Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China)

**Abstract** 【Objective】In plain areas like the Yangtze River Delta in China, where farmlands are highly fragmented and the contradiction between limited farmland resources and a big population is outstanding, the problem of how to control heavy metal pollutions, especially Cd pollution, of farmland soil has long been an issue attracting extensive attention. The new finding of distribution inhomogeneity of Cd pollution of farmland soil on a plot-scale in the regions is of great reference value to control of the pollution and remediation of the polluted farmlands therein. Though in the literature quite a number of papers can be found systematcially exploring and discussing distribution of heavy metals and trace elements in farmland soil and inhomogeneity of the soil as well, on a plot-scale, few dealt with distribution inhomogeneity of Cd pollution. Hence, this paper is devoted to analysis of the distribution inhomogeneity of Cd pollution in farmland soil on a plot scale. 【Method】In this study, a total of 42 soil samples were collected from the topsoil layers (0~20 cm) and sedimentary soil profiles (0~220 cm) of 5 typical tracts of farmland in the studied areas with the aid of special soil sampling tools for analysis of content distributions and geochemical indices of As Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Hg, As, Sb, Se, pH and TOC, with the aid of ICP-MS, XRF and some others. 【Result】Analysis of the environmental geochemical survey data obtained from the typical farmland soils in the Yangtze River Delta shows that when soil Cd were higher than  $1.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  in concentration in a farmland plot, significant spatial inhomogeneity of Cd pollution could be observed. In a field less than  $0.13 \text{ hm}^2$ , soil Cd varied sharply in concentration from plot to plot, and differed by dozens of times to the most possible, and that soils mild, moderate and severe in Cd pollution coexisted in a farmland plot. In a long strip of farmland plot, Cd pollution distributed somewhat in an exponentially declining trend. The more serious the closer to the pollutant source, and the more inhomogeneous in upland plots than in paddy plots. Distribution heterogeneity of Cd pollution mainly appeared horizontally, and vertically Cd pollution concentrated mainly in the surface toplayer (0~20 cm). Contrast to soil Cd, other heavy metal elements, like Cu, Pb, Zn, As, Cr, and so on, were distributed normally in the farmland plot in a relatively even manner. 【Conclusion】The uneven distribution of Cd pollution is universal in farmland soil on a plot-scale in the Yangtze River Delta and similar plain areas, and attributed mainly to differences in micro-topography and farming practices. The knowledge about the characteristics of Cd distribution in the soil on a plot scale is quite practical and helpful to remediation of Cd contaminated farmlands in the Yangtze River Delta and similar areas.

**Key words** Farmland soil; Cd pollution; Distribution in homogeneity; On a plot scale

(责任编辑: 檀满枝)