

# 土地利用方式及土壤理化性质对有效态锌累积的影响

韩凝<sup>1</sup>, 张秀英<sup>2</sup>, 蒋玉根<sup>3</sup>, 王珂<sup>1</sup>

(1. 浙江大学 农业遥感与信息技术应用研究所, 浙江 杭州 310029; 2. 南京大学  
国际地球系统科学研究所, 江苏 南京 210093; 3. 浙江省富阳市农业局土肥站, 浙江 富阳 311400)

**摘要:** 利用土壤定位采样分析了富阳市不同土地利用方式和土壤特征对全量和有效态 Zn 在土壤中累积的影响。分析结果表明, 工业用地与农业用地中的全量和有效态 Zn 差异极显著, 工业用地方式土壤全量和有效态 Zn 含量较高; 在农用地方式中, 菜地、旱地、水田和林地的全量 Zn 累积程度相近, 但与果园和茶园差异显著; 不同农业用地中的有效态 Zn 无显著差异。并对农业与工业用地方式下全量 Zn、土壤特征与有效态 Zn 含量之间的相关关系进行了分析。结果表明, 在农业用地中, 全氮、有机质和 pH 对 Zn 全量影响显著, 而全量、有效磷和速效钾对 Zn 有效态影响显著; 在工业用地中, 土壤理化性质对全量和有效态 Zn 含量无明显影响, 有效态 Zn 含量只与全量 Zn 含量显著相关。基于 Zn 有效态的指示 Kriging 评价结果显示, 富阳市有 5.56% 的土地和 5.99% 的耕地处在较高的 Zn 污染风险水平 (>0.100)。

**关键词:** 土壤 Zn; 土地利用; 土壤特征; 风险评价

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)01-0070-04

中图分类号: X53

## Influence of Land Use and Soil Properties on the Available Zn Concentration in Soils

HAN Ning<sup>1</sup>, ZHANG Xiur-ying<sup>2</sup>, JIANG Yu-gen<sup>3</sup>, WANG Ke<sup>1</sup>

(1. Institute of Remote Sensing & Information System Application, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310029, China; 2. International Institute for Earth System Science, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China; 3. Work-station of Soil and Fertilisers, Agricultural Bureau of Fuyang County in Zhejiang Province, Fuyang, Zhejiang 311400, China)

**Abstract:** The effects of land use and soil properties on the concentrations of total and available Zn in soils were investigated. The ANOVA analysis showed that land use had a significant effect on the concentrations of total and available Zn in agricultural and industrial areas; the concentration of total Zn in vegetable land, dry land, paddy field, and wood land had significant differences except tea garden and orchard; and the content of available Zn in the 6 agricultural land use types did not show significant differences. Moreover, the relationships between the Zn content and soil properties were respectively constructed for agricultural and industrial land use. Results showed that total nitrogen, organic matter and pH had significant influences on the total Zn content. Available phosphorus, available potassium, and the total Zn content had significant effects on the concentration of available Zn in agricultural area. Soil properties did not have significant influences on both the total and available Zn contents in industrial area, and the available content only had strong correlation with the total content. Risk assessment of available Zn using indicator Kriging demonstrated that most of the study areas were in low risk probability for arable activities, and 5.56% of the study areas and 5.99% of the arable land were in high risk probability (>0.100).

**Keywords:** soil zinc content; land use; soil property; risk assessment

锌 (Zn) 是动植物生长发育的必需微量营养元素, 但是锌过量会对环境造成危害<sup>[1-2]</sup>。土壤中自然存在的锌主要源于成土母质。土壤 pH 值、有机质、阳离子交换量、黏粒含量、有效磷、全氮等在一程度

上也影响 Zn 的积累<sup>[3-4]</sup>。近年来, 随着城市化和经济的快速发展, 采矿<sup>[5]</sup>、金属冶炼<sup>[6]</sup>、交通<sup>[7]</sup>以及农业活动<sup>[8]</sup>等导致锌在土壤中积累, 并通过植物吸收进入食物链, 通过淋洗作用进入地下水, 从而对生态环境

收稿日期: 2008-04-26

修回日期: 2008-08-25

资助项目: 国家科技支撑项目 (2006BAJ05A02); 杭州市科技计划项目 (20070632B39)

作者简介: 韩凝 (1983—), 女 (汉族), 陕西省汉中市人, 博士, 主要研究方向为地理信息系统。E-mail: hanning22@zju.edu.cn。

通信作者: 张秀英 (1977—), 女 (汉族), 河北省滦县人, 讲师, 主要研究方向为自然地理。E-mail: lzhy77@163.com。

和人类健康构成威胁。目前,已有一些学者分别对 Zn 的污染状况从不同的角度进行了研究,包括 Zn 的形态和空间分布特征、土壤环境质量状况与食品安全性等。现有的研究表明,不同土地利用方式中土壤中 Zn 全量具有显著差异<sup>[1,9]</sup>,然而,有效态能更好的反映植物对 Zn 的富集情况<sup>[10]</sup>,但土地利用方式及土壤理化性质对有效态锌累积的影响的调查研究还很少,特别是对区域性的研究相对较少。

本研究通过系统定位采样分析方法,研究了不同土地利用方式下富阳市土壤 Zn 的全量和有效态 Zn 的累积规律以及相关土壤理化性质对有效态 Zn 的影响,旨在为当地或同类地区农业生产和产业布局规划提供相关的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

富阳市位于浙江省北部地区,东经 119°25'00"—120°19'30",北纬 29°44'45"—30°11'58.5",总面积为 1 831.22 km<sup>2</sup>,是全国商品粮基地和重点产茶、产茧地区,境内矿产资源丰富,有造纸业、通讯器材、机械和电子等行业。富阳市地势自西南向东北倾斜,地貌以“两山夹江”为特点,平均海拔 300.5 m,平原占 17%,水面 5.4%,山丘 75.9%。土壤类型的分布均以各河流和支流为轴心,由河床至盆地外围依次为清水沙、培泥沙土、黄泥田、烂泥土田;丘陵山麓为砂质红壤或砾石红壤。

### 1.2 样品采集及分析

样品采集充分考虑了土壤类型与土地利用类型,为了使样品具有充分的代表性,样品的采集均匀分布于富阳市的主要土壤类型和土地利用类型,采用 GPS

定位采集 0—20 cm 表土样品共 276 个。样品自然风干,剔除样品中的植物根系、有机残渣以及可见侵入体,用木质工具捻碎并用玛瑙研钵研磨,分别过 20 目和 100 目尼龙筛。采用 HNO<sub>3</sub> 和 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮,火焰原子吸收光谱仪测定全 Zn 含量;采用 pH 7.3 DTPA (0.005 mol/L DTPA + 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> + 0.1 mol/L TEA) 以 1:2 的土液比例浸提,原子吸收法测定 DTPA—Zn 含量;用 pH 仪 (PHS-3C) 按 1:2.5 水土比测定 pH 值;重铬酸钾氧化—外加热法测定有机质;中性醋酸法测定 CEC;采用常量开氏法测定全氮。

### 1.3 数据处理

在软件 Winwindow SPSS(11.5)的支持下,对土壤 Zn 含量和土壤理化性质进行统计分析;采用方差分析法 (ANOVA) 对 7 种土地利用方式中土壤 Zn 的全量和有效态进行均值分析,探讨不同土地利用方式下的 Zn 的累积规律,并采用相关分析方法对土壤中全量 Zn、有效态 Zn 含量与土壤理化性质之间关系进行探讨;基于 Zn 有效态的含量,在 ArcGIS 的支持下,采用指示 Kriging 方法对农作物种植做风险评价。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤 Zn 含量及基本理化性状

由表 1 可见土壤 Zn 全量的平均值为 106.70 mg/kg,远远高于富阳地区的土壤 Zn 背景值 72.13 mg/kg<sup>[11]</sup>,说明人类活动导致了 Zn 元素在土壤中的累积。Kolmogorov—Smirnov 分析表明,Zn 全量和有效态均没有通过 0.05 水平上的正态分布检验,而且中值比平均值都偏小,表明二者受外来影响的程度较大。有效态的变异系数几乎是全量的两倍,表明外来因素对有效态 Zn 含量的影响更大。

表 1 富阳市土壤 Zn 含量与土壤特征

统计项目	全量 Zn/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	DTPA—Zn/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH	有机质/ %	CEC/ (cmol·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ %	有效 P/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效 K/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
平均值	106.70	4.11	5.97	3.11	10.79	0.1845	33.40	106.06
中值	91.55	2.78	5.83	3.06	10.67	15.25	15.25	84.60
变异系数	0.72	1.59	0.13	0.37	0.24	0.33	1.62	0.67
K—S—Z	3.64	5.60	1.40*	1.20**	1.74	0.78**	4.50	2.63

注: 为 Kolmogorov—Smirnov 检验; \*表示 0.01 水平上显著; \*\*表示 0.05 水平上显著。

表 1 关于土壤各特征的统计分析显示,土壤有效磷的变异系数最大,其次是速效钾,有机质和全氮的变异程度居中,CEC 和 pH 的变异程度最小。因此,外部因素影响程度的强弱顺序为:有效磷 > 速效钾 > 有机质 > 全氮 > CEC > pH。从 Kolmogorov—Smirnov 系数看,只有 pH、全氮和有机质通过了 0.05

水平上的正态分布检验,受人为影响较小,有效磷、速效钾和 CEC 受外来环境的随机影响相对较大。

### 2.2 不同土地利用方式对土壤 Zn 累积的影响

表 2 列出了 7 种土地利用方式中土壤 Zn 的平均含量及方差分析结果。根据各土地利用方式下的土壤 Zn 含量的平均值,Zn 全量的累积呈现如下趋势:

工业 > 水田 > 菜地 > 旱地 > 林地 > 果园 > 茶园; 中值呈现出类似的规律, 只在茶园利用方式下中值远远高于果园。

Zn 的有效态不同于全量, 其平均值呈现: 工业 > 茶园 > 果园 > 菜地 > 旱地 > 水田 > 林地的趋势; 中值则为: 工业 > 茶园 > 旱地 > 水田 > 林地 > 菜地 > 果

园。由此可以看出, 即便是在相同的土地利用方式下, 平均值和中值也存在较大差异, 有效态差异更明显, 表明有效态受其它因素的影响比全量更大。

此外, 在工业用地和茶园利用方式下, Zn 有效度 (有效态含量与全量含量的比值) 较高, 其次是果园、林地、旱地和菜地, 而水田的有效度最低。

表 2 不同土地利用方式下的土壤 Zn 全量、有效态、有效度的统计分析

统计项目	菜地(34)	旱地(34)	水田(90)	茶园(12)	果园(18)	林地(25)	工业(63)
全量	平均值	87.11	85.28	89.61	74.29	76.11	82.17
	中值	87.70	83.20	89.45	81.70	72.65	82.55
	变异系数	0.21	0.24	0.20	0.25	0.17	0.17
有效态	平均值	3.17	2.59	2.47	3.59	3.22	2.43
	中值	1.96	2.56	2.38	3.04	1.74	2.18
	变异系数	1.01	0.41	0.49	0.71	0.42	0.42

注: () 内数字为样本数。

土壤 Zn 全量和有效态的方差分析显示,  $F$  检验值的伴随概率均小于 0.01, 表明这 3 个要素在不同土地利用方式下呈现显著差异。实际上, 工业类型主要有造纸厂、金属冶炼、机械配件、通讯器材和电子等企业, 这些工业生产活动有可能造成外来 Zn 元素进入土壤, 导致在土壤中大量富集, 与其它自然和农业用地方式下的含量差别很大。由于组间的差异太大, 主要是工业用地的浓度远高于农业用地方式, 以所有样点作分析, 则农用地各利用方式下土壤 Zn 全量和有效态的累积相对就没有呈现出明显差异。因此, 现有局部小区域异常高的土壤 Zn 全量和有效态累积主要是工业生产活动造成的。

如果只针对农业用地方式做方差分析, 全量呈显著差异 (0.05 水平), 而有效态差异不显著。土壤 Zn 的全量大体上可以分为两组, 一组包括菜地、旱地、水田和林地; 另外一组包括茶园和果园。造成二者显著差异的原因主要是施肥量和施肥品种的不同。已有研究表明<sup>[12-13]</sup>, Zn 在土壤中的累积与磷肥的大量施用存在很强的相关关系。值得注意的是, 林地的土壤 Zn 含量较高, 是因为林地样点主要分布在苗圃区, 而苗圃的施肥量比较大。

将农业用地和工业用地分为两组, 分别对 Zn 全量和有效态含量与土壤理化性质进行相关分析。由表 3

可见, 在农业用地方式下, pH、有机质、全氮与 Zn 全量存在显著正相关。这主要是因为 pH、有机质、全氮以及它们之间的相互作用, 影响着土壤中金属元素的转化和迁移。在高 pH 值下, Zn 元素易于沉积, 不易活化, 反之则易于迁移, 从土壤中淋失; 土壤有机质和全氮对土壤反应有缓冲作用, 而且也影响土壤氧化还原电位, 从而影响土壤中重金属存在的形态。有效磷和速效钾与 Zn 有效态呈现显著正相关, 而且从相关系数上看, 有效磷的贡献比较大。该研究结果与 Zarcinas 在东南亚的研究结果一致<sup>[14]</sup>。另外, 有效态和全量存在显著正相关。这表明随着土壤中 Zn 全量增加, 有效态也呈上升趋势。在工业用地方式下, 由于受外来影响比较大, Zn 全量和有效态与土壤各理化性质相关性不显著; 有效态含量只与全量存在极显著相关。

### 2.3 土壤 Zn 有效态及风险评价

与全量相比, 土壤重金属有效态更直接地反映重金属对作物的危害程度。因此, 基于 Zn 的有效态对农业生产进行风险评价与实际情况更相符。半方差分析显示, 指数模型能比较好的对土壤 Zn 有效态进行模拟, 验证系数达到 0.70。该模型的块金值、基台值、变程分别为 24.90, 80.43, 109.230 m。在指示 Kriging 方法进行风险评价模拟时, 采用国家食品卫生标准限值 (20 mg/kg) 作为阈值, 模拟结果见图 1。

表 3 土壤特征与 Zn 全量和有效态的相关分析

项目	全量	pH	CEC	有机质	全氮	有效磷	速效钾
农业用地	全量	—	0.21**	0.16	0.25**	0.42**	0.11
	有效态	0.37**	-0.09	-0.06	0.07	0.11	0.48**
工业用地	全量	—	0.25	-0.09	-0.01	-0.02	0.01
	有效态	0.83**	0.02	0.07	-0.03	-0.07	0.19

注: \*\* 表示 0.01 水平上显著。

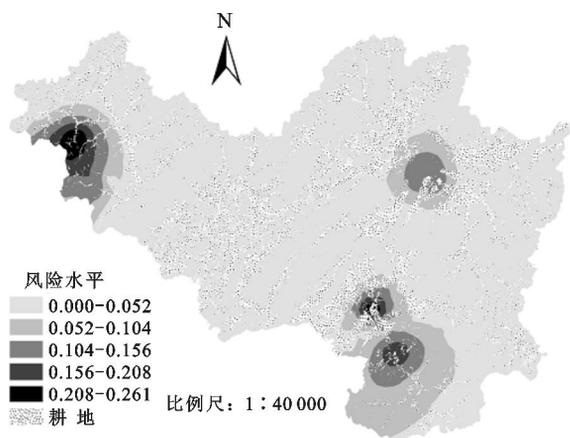


图 1 土壤有效态 Zn 及风险分布图

从图 1 可以看出,富阳市大部分地区为低风险 Zn 污染区,有 3 个比较高的风险区分别分布在西北、东南和中部地区。产生高风险的原因主要是在该地区分布着与 Zn 元素有直接累积关系的金属冶炼矿。在冶炼金属的过程中,大量的烟尘中含有部分重金属,尾矿中也含有大量的重金属,导致部分地区土壤中 Zn 的含量偏高。把农作物风险按照从高到低的顺序分为 5 级,统计分析表明,富阳市处在较低风险(1 和 2 级)的土地比率为 94.44%,处在较高风险(3, 4 和 5 级)的比率为 5.56%;耕地则有 94.01%处在较低风险水平,5.99%处在较高风险水平。

### 3 结论

(1) 在工业用地方式下,Zn 全量和有效态 Zn 含量与其它农业利用方式下差异显著;在农业用地各利用方式中,3 类耕地和林地呈现出相近的全量 Zn 含量,并与以果园和茶园为代表的园地有显著差异;有效态 Zn 在农业用地中没有表现出显著性差异。

(2) 在农业用地方式下,pH、有机质和全氮对 Zn 全量有显著影响,而全量 Zn、有效磷和速效钾对有效态 Zn 含量有显著影响;在工业用地方式下,由于全量 Zn 主要是受外来因素控制,因此与土壤其它特征没有显著关系,有效态 Zn 也主要是受全量 Zn 含量的影响。

(3) 对研究区域的作物进行了风险评价。结果显示,5.56%的富阳市土地和 5.99%的耕地处在较高的污染风险水平。但实际上,即便是有较高的污染风险,最高概率也只有 0.261。因此,研究区域的粮食种植,有比较高的 Zn 安全性。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] Tyler G, Balsberg P A M, Bengtsson G, et al. Heavy metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and

invertebrates: A review [J]. *Water, Air and Soil Pollution*, 1989, 47: 189-225.

- [2] 郑袁明,宋波,陈同斌,等.北京市不同土地利用方式下土壤锌的积累及其污染风险[J].*自然资源学报*,2006,21(1):64-73.
- [3] Obrador A, Alvarez J M, Lopez V L M, et al. Relationships of soil properties with Mn and Zn distribution in acidic soils and their uptake by a barley crop [J]. *Geoderma*, 2007, 137: 432-443.
- [4] Sterckeman T, Douay F, Baize D, et al. Factors affecting trace element concentrations in soils developed on recent marine deposits from northern France [J]. *Applied Geochemistry*, 2004, 19: 89-103.
- [5] Martley E, Gulson B L, Pfeifer H R. Metal concentrations in soils around the copper smelter and surrounding industrial complex of Port Kembla, NSW, Australia [J]. *Science of the Total Environment*, 2004, 325: 113-127.
- [6] Leharne S. A survey of metal levels in street dusts in an inner London neighbourhood [J]. *Environmental International*, 1992, 18: 263-270.
- [7] Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soil in England and Wales [J]. *The Science of the Total Environment*, 2006, 311: 205-219.
- [8] Lin Y P, Teng T P, Chang T K. Multivariate analysis of soil heavy metal pollution and landscape pattern in Changhua county in Taiwan [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2002, 62: 19-35.
- [9] Luo W, Lu Y L, Gesy J P, et al. Effects of land use on concentrations of metals in surface soils and ecological risk around Guanting reservoir, China [J]. *Environmental Geochemistry Health*, 2007, 29: 459-471.
- [10] Wang G, Su M Y, Chen Y H, et al. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in southeastern China [J]. *Environmental Pollution*, 2006, 144: 127-135.
- [11] 汪庆华,董岩翔,郑文,等.浙江土壤地球化学基准与环境背景值[J].*地质通报*,2007(26):590-597.
- [12] Adriano D C. Trace elements in the terrestrial environment [M]. New York: Springer-Verlag, 1986.
- [13] Nan Z R, Li J J, Zhang J M, et al. Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions [J]. *The Science of the Total Environment*, 2002, 285: 187-195.
- [14] Zarcinas B A, Ishak C F, McLaughlin M J, et al. Heavy metals in soils and crops in southeast Asia [J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26: 343-357.