

张东明,吕新,王海江,等. 工业区农田土壤有效态重金属相关性分析及空间分布研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):223-227.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.12.054

# 工业区农田土壤有效态重金属相关性分析及空间分布研究

张东明<sup>1</sup>, 吕新<sup>2,3</sup>, 王海江<sup>2</sup>, 张泽<sup>2</sup>, 张国龙<sup>2</sup>, 马革新<sup>2</sup>

(1. 石河子大学生命科学学院, 新疆石河子 832003; 2. 石河子大学农学院, 新疆石河子 832003;

3. 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室, 新疆石河子 832003)

**摘要:** 为了解新疆北疆某工业区对其周边农田土壤中有效态重金属含量及空间分布的影响,以新疆北疆某工业区为中心,采集其周边农田 0~20 cm 254 土壤个样品,分别测定样品中的 Cr、Cu、Zn、Pb 和 Ni 等 5 种有效态重金属含量、重金属全量、pH 值和有机质含量。运用 SPSS 21.0 对样品中有效态重金属、重金属全量、pH 值和有机质进行相关性分析,采用地统计学程序 GS+ 对数据进行拟合选取最佳模型,再用 ArcGIS 10.1 进行插值分析研究区重金属的空间分布。结果表明,5 种有效态重金属变异系数较大,说明其来源受到外界因素的影响。相关性分析结果表明,Cr、Cu、Zn、Pb、Ni 与重金属全量均呈极显著相关,除 Zn 与 pH 值、有机质为显著相关外,受测的其他重金属与 pH 值、有机质均为极呈显著相关。结合对插值图与风向图的分析,在工业区的东南方 Ni、Pb、Cu 含量较高,其主要来源与工业区的气体、粉尘等排放有关。而 Cr 和 Zn 来源于化肥和农药,地膜也是 Cr 的来源之一。

**关键词:** 工业区; 农田土壤; 有效态重金属; 相关性; 空间分布; 土壤资源; 科学管理利用

**中图分类号:** X53; X825 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)12-0223-04

土壤是人类生存的物质基础之一,也是农作物生长所必需的基质之一<sup>[1]</sup>。近年来,随着工业的不断发展和农业生产的现代化,工业“三废”的大量排放、化肥及农药的过量使用,使重金属污染农用土壤成为农业生产中的一个严重问题<sup>[2-3]</sup>。农田土壤中的重金属通过食物链在人体内富集,进而危及人类的生命健康。通过食物链进入人体的土壤重金属主要是能够被植物所利用的部分<sup>[4-6]</sup>,这部分重金属被称为有效态重金属,而有效态重金属在土壤中受 pH 值、有机质含量和人为活动等因素的影响较为明显。因此,只是测定土壤中的重金属总量不能对土壤中重金属的生态风险进行准确评估<sup>[7]</sup>。因此,以 Mehlich-3 方法(简称 M3 法)浸提农田土壤样品中的有效态重金属的同时<sup>[8-9]</sup>测定土壤样品中重金属全量、pH 值和有机质含量,分析工业区周边农田土壤中有效态重金属含量的影响因素和空间分布的影响,对工业区周边土壤资源的管理和利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区地势平坦,属于典型的温带大陆性气候,年日照时数为 2 721~2 818 h,年均气温为 6.4℃,年降水量为 125.0~207.7 mm,研究区夏季主要风向为南风,冬季主要风向为西北风,该区域土壤以灰漠土为主。该工业区内工厂以

化工厂为主,兼有电石厂和生产聚氯乙烯成品等。

### 1.2 样品采集

结合实地考察研究区的情况,于 2015 年 9—10 月采集供试土壤样品,以工业区为中心采集其周边农田土壤,采样深度为 0~20 cm,共采集 254 个土壤样品(图 1)。采样过程中为避免干扰,采用木铲等工具,避开外来土和新近扰动过的土层,各采样点采集 20 m 内对角线采集 3 个点混匀,然后用四分法反复取舍至 1 kg 左右将其装袋带回。

### 1.3 样品处理与分析

将采集到的样品挑除石砾和植物残体后,经自然风干,使用玛瑙研钵等工具进行研磨,过 100 目尼龙网筛后待测。采用 HNO<sub>3</sub>-HCL-HF 完全消解酸体系,Milestone Ethos 微波消解仪消煮,采用电感耦合等离子体发射光谱仪(inductively coupled plasma-optical emission spectrometer,简称 ICP-OES)测定分析重金属全量。土壤重金属有效态提取采用 M3 浸提法,ICP-OES 上机测定。采用电位法测定土壤 pH 值<sup>[10]</sup>。采用重铬酸钾氧化法测定土壤有机质含量<sup>[11]</sup>。利用 SPSS 20.0 和 Excel 2003 软件进行统计分析<sup>[12]</sup>。

用地统计学软件 GS+(7.0)计算半方差函数,并用不同类型的模型进行拟合,计算出模型参数,以决定系数( $r^2$ )最大和残差平方和(residual sum of squares,简称 RSS)最小为原则来确定最佳拟合模型及其相应的参数<sup>[13]</sup>,利用 ArcGIS 10.1 对各指标进行插值以及绘制空间分布图<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 相关数据的描述性统计

研究区重金属 Cr、Zn、Ni、Pb、Cu 全量与 Cr、Zn、Ni、Pb、Cu 有效态含量以及土壤 pH 值、有机质含量的测定结果见表 1,

收稿日期:2016-12-21

基金项目:国家国际科技合作专项(编号:2015DFA11660)。

作者简介:张东明(1991—),男,安徽阜阳人,硕士研究生,研究方向为干旱区景观与资源生态。E-mail:zhangdm0525@163.com。

通信作者:吕新,博士,教授,博士生导师,研究方向为农业信息化。

E-mail:lxshz@126.com。

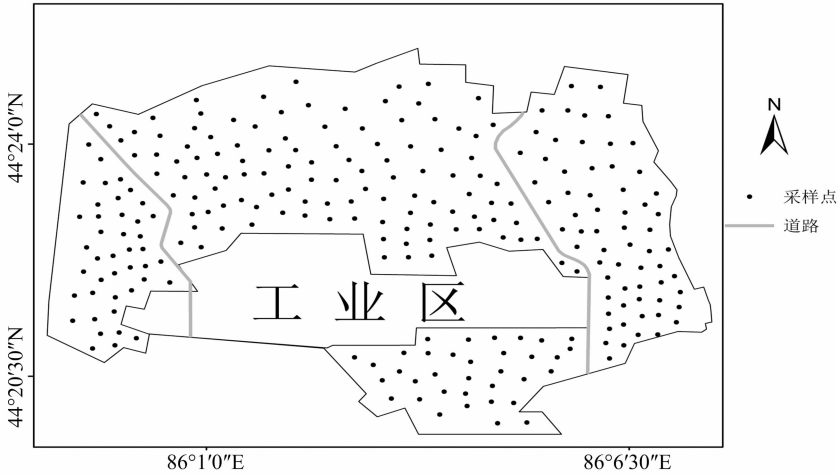


图1 研究区分布采样点示意

Zn、Ni 和 Cu 的全量均超过了研究区的土壤背景值(表 2),说明 Zn、Ni 和 Cu 除了自然来源外,还有其他来源。研究区有效态重金属 Cr、Zn、Ni、Pb、Cu 的平均含量为 1.833、23.912、2.813、2.533、7.260 mg/kg。变异系数反映了采样总体中各样点之间的平均变异程度,受测的 5 种有效态重金属的变异系数大小依次为 Cr>Ni>Pb>Cu>Zn。Cr、Ni、Pb 的变异系

数均大于 50%,其中 Cr 的变异系数最高,达到 76.3%,说明研究区的有效态重金属波动幅度较大、连续性变化差、空间变异较大,均受到外界因素的影响<sup>[15]</sup>。研究区所在地农田土壤部分为改良后的盐碱土,因此受测土样大部分为碱性,pH 值平均为 7.838。

表 1 研究区土壤重金属含量描述性统计

主要参数	全量(mg/kg)					有效态(mg/kg)					pH 值	有机质(mg/kg)
	Cr	Zn	Ni	Pb	Cu	Cr	Zn	Ni	Pb	Cu		
最大值	157.00	122.00	90.00	29.00	95.00	6.190	45.576	6.209	7.590	13.587	8.937	198.294
最小值	1.00	39.00	4.00	0.50	25.00	0.020	1.577	0.058	0.010	0.609	6.995	27.196
平均值	45.00	73.57	28.53	15.38	55.66	1.833	23.912	2.813	2.533	7.260	7.838	107.133
中值	27.35	14.96	10.44	4.03	13.42	1.700	24.319	2.469	2.240	7.277	7.878	100.938
偏度	0.51	0.4	0.75	0.19	0.20	0.914	-0.037	0.403	0.985	-0.075	0.116	2.445
峰度	0.15	0.01	4.40	0.68	0.06	0.755	-1.063	-1.174	0.594	-1.240	0.662	18.113
变异系数	0.61	0.2	0.37	0.26	0.24	0.763	0.508	0.656	0.626	0.535	0.046	0.551

表 2 研究区土壤环境背景值

重金属	Cr	Zn	Ni	Pb	Cu
土壤环境背景值(mg/kg)	47.6	61.5	22	19.8	20.2

2.2 有效态重金属相关性分析

由表 3 可以看出,重金属全量与其有效态之间均为极显著相关,其中有效态 Cr、Ni、Cu 与重金属总量呈高度正相关,相关系数分别为 0.806、0.870、0.870,说明这 3 种重金属负荷水平对其有效态含量均有极显著影响。有效态 Pb 与全量的相关系数为 0.62,说明土壤 Pb 全量对其有效态含量也有较大的影响。在全量、pH 值和有机质中,影响有效态 Zn 含量的主要因素就是土壤 Zn 的全量。这与侯明等研究的土壤总量越大,有效态含量也越大的结果<sup>[16]</sup>一致。万红友等研究也表明,土壤有效态重金属的含量与重金属全量之间呈极显著关系<sup>[17-18]</sup>。

由表 3 还可看出,研究区有效态重金属除 Zn 与 pH 值呈显著负相关外,其他受测有效态重金属均与土壤 pH 值呈极显著负相关,说明 pH 值越小,重金属有效态的含量就越大,其中 Pb 与 pH 值的相关系数达到 0.874。有研究表明,酸度能够直接改变重金属有效态含量,而碱性的提高使重金属元素有效态含量降低<sup>[19]</sup>。在季辉等的研究结果中,受测的 Pb、

表 3 土壤有效态重金属与重金属全量、pH 值和有机质的相关系数

有效态	相关系数		
	各重金属全量	pH 值	有机质
Cr	0.806 **	-0.193 **	0.229 **
Zn	0.237 **	-0.151 *	0.156 *
Ni	0.870 **	-0.323 **	0.344 **
Pb	0.620 **	-0.874 **	0.914 **
Cu	0.870 **	-0.177 **	0.219 **

注:“\*\*”“\*”分别表示在 0.01、0.05 水平上显著相关。

Cr、Zn 有效态含量均与 pH 值呈显著负相关<sup>[20]</sup>。

影响重金属形态和活性的因素除了土壤重金属的总量和 pH 值,土壤有机质含量也是重要的影响因素之一,有机质对重金属移动性和有效性的影响可通过静电吸附、螯合等作用来实现<sup>[21]</sup>。有机质对重金属化学形态的影响因重金属种类的不同而不同,对 Pb 的影响较大<sup>[22]</sup>。在李忠义等的研究中,土壤有效态 Cu、Pb 和 Zn 与土壤有机质含量均呈极显著正相关<sup>[23]</sup>。在本研究受测的 5 种有效态重金属中,Cr、Ni、Pb 和 Cu 与有机质之间也呈极显著正相关,Zn 与有机质为显著正相关。Cr、Zn、Ni、Pb、Cu 与有机质的相关系数分别为 0.229、0.156、0.344、0.914 和 0.219,Pb 与有机质含量的相关性最

高。研究表明,土壤中 Pb 除了来自土壤母质外,主要来源为金属矿产的开采和冶炼、化石燃料的燃烧以及塑料和电池工业、油漆和染料工业等<sup>[24-26]</sup>。研究区内 Pb 的来源为工业区化石燃料的燃烧、聚氯乙烯生产和农用机动车排放的尾气,研究区常年风向为西风(图 2),且冬季风力较大,冬季较为寒冷,工业区煤的燃烧量较高。Pb 与有机质相关性较高的原因是东部农田曾施用过农家肥和秸秆还田措施,农田中有机质含量较高。

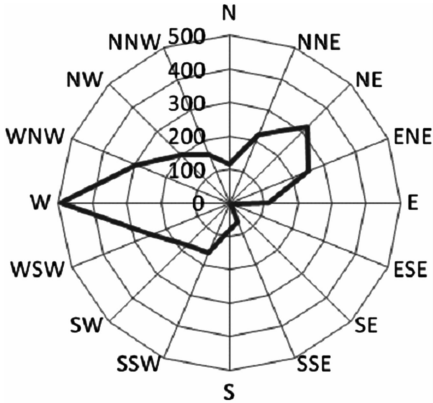


图2 研究区常年风向

将重金属有效态含量与总量、土壤 pH 值、有机质相关系数的大小进行比较发现,有效态 Cr、Zn、Ni、Cu 的含量主要受重金属全量的影响,有效态 Pb 与重金属全量、pH 值、有机质的相关性系数分别为 0.620、0.874、0.914,说明有效态 Pb 含量主要是受到有机质含量的影响,受 pH 值和重金属全量的影响也较大。

2.3 有效态重金属空间分布

数据呈正态分布才能进行半方差函数的模拟,受测的 5 种有效态重金属经 Komogorov - Sminov 法检验( $P < 0.05$ ),均符合正态分布。利用 GS + 拟合 5 种有效态重金属最佳理论模型及相关参数(表 3),结果(表 4)表明,有效态重金属 Cr、Zn 和 Ni 含量的半方差理论模型均符合球状模型,Pb 和 Cu 分别符合高斯模型和指数模型。

块金值与基台值之比为块金系数,能够反映区域化变量空间变异性程度,反映空间变异影响因素中区域因素(自然因素)和非区域因素(人为因素)的作用,若比值  $< 25\%$ ,说明变量具有强烈的空间相关性;若  $25\% \leq \text{比值} \leq 75\%$ ,变量具有中等的空间相关性;若比值  $> 75\%$  时,变量空间相关性较弱。由表 4 可以看出,Zn 和 Cu 的块金系数小于  $25\%$ ,体现了强烈的空间相关性,表明该区域可能有污染源。Cr、Ni 和 Pb 的块金系数在  $25\% \sim 75\%$  之间。

结合半方差函数理论模型,利用 ArcGIS 的普通克里格方

表 4 土壤重金属有效态半变异函数模型及其相关参数

有效态	模型	块金值 ( $C_0$ )	基台值 ( $C_0 + C$ )	决定系数 ( $r^2$ )	残差 平方和	K-S 检验
Cr	球状	0.346	1.217	0.947	7.810	正态
Zn	球状	4.100	70.360	0.787	61.600	正态
Ni	球状	1.099	3.086	0.818	0.130	正态
Pb	高斯	0.533	1.392	0.961	0.016	正态
Cu	指数	1.170	7.003	0.900	0.420	正态

法进行插值,进而得到研究区土壤中有有效态 Cr、Zn、Ni、Pb、Cu 的空间分布。由图 3 至图 7 中可以看出,5 种受测有效态重金属在工业区的东南方含量较高,Ni、Pb、Cu 较为明显,结合研究区风向(图 2)可以看出,Ni、Pb、Cu 在工业区下风向有所富集,这与工业区的气体、粉尘等排放相关,据统计年鉴显示,研究区所在地 2015 年工业烟(粉)尘排放量为 36 594 t。Milberg 等进行的一项历时 6 年的研究表明,重金属的空间分布受到风向的影响,其研究区重金属在下风位置比上风位置积累的多<sup>[27]</sup>。工业区东部农田曾施用过农家肥和秸秆还田措施,农田中有机质含量相对较高,从而影响到有效态重金属的含量,使该区域有效态重金属含量较高。研究区有效态重金属在其他方位无明显富集,是由于研究区土壤大部分改良后的盐碱土,土壤呈碱性,从而使有效态重金属含量降低。Cu 的另一来源是大气沉降,Nicholson 等对威尔士地区的农业土壤重金属污染的研究表明,其中  $38\% \sim 48\%$  的 Cu 来自大气沉降<sup>[26]</sup>。研究区农田机械化程度较高,农用车的轮胎磨损也会产生含 Cu 物质;蒋亚良等研究表明,Cu 是汽车轮胎硬度添加剂,汽车轮胎磨损会产生较多含铜粉尘<sup>[28]</sup>。

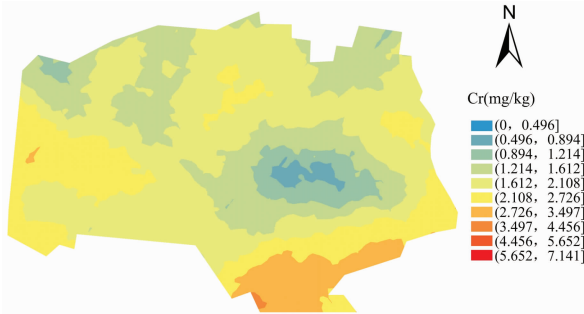


图3 有效态 Cr 的空间分布

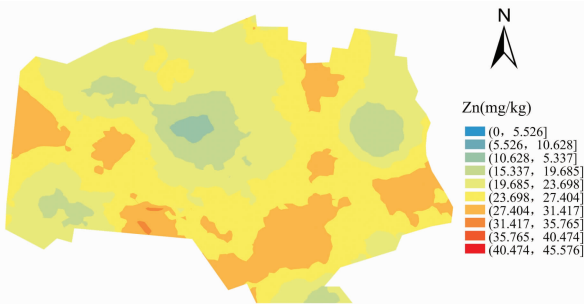


图4 有效态 Zn 的空间分布

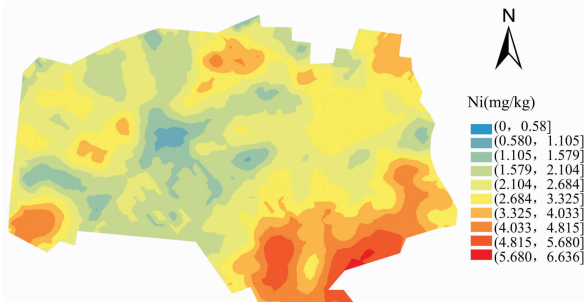


图5 有效态 Ni 的空间分布

Cr 和 Zn 大量存在于化肥和农药中,有调查显示,2013 年新疆农田施用化肥折纯使用量是国际公认安全上限的 2.19 倍<sup>[25]</sup>。大量使用化肥会使农田中的一些重金属含量不断积

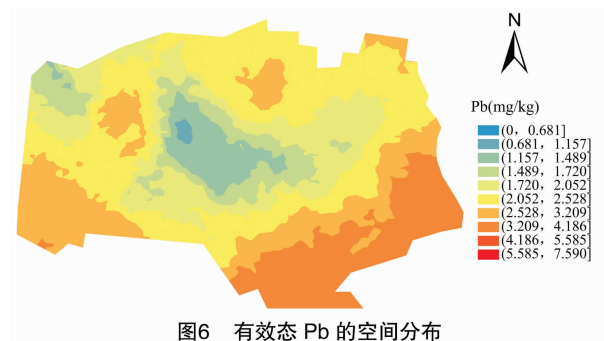


图6 有效态 Pb 的空间分布

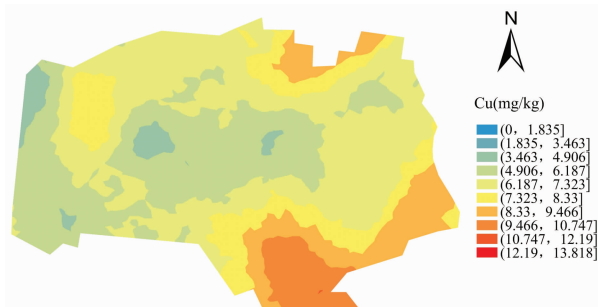


图7 有效态 Cu 的空间分布

累。陆安祥等对北京农田土壤重金属进行了年际变化及其特征分析,研究发现 2005—2009 年年间 As、Hg、Cu、Cd、Cr 和 Pb 等重金属中,Cr 主要来源于农业活动中肥料的过量使用<sup>[29]</sup>。地膜也是 Cr 的一个重要来源,研究区地膜的使用始于 20 世纪 80 年代,新疆地膜的使用量在逐年递增<sup>[30]</sup>,研究区在 2007 年使用 11 012 t 地膜,比 2006 年增加了 800 t 左右。化石燃料燃烧的过程中能排放出重金属 Pb,也会排放 Zn 等重金属元素。

### 3 结论

研究区 Zn、Ni、Cu 全量均超过了研究区的土壤背景值,说明除土壤母质外,还有其他来源。有效态重金属 Cr、Cu、Zn、Pb、Ni 的平均含量为 1.833、7.260、23.912、2.533、2.813 mg/kg,极值相差较大,变异系数分别为 0.763、0.535、0.508、0.626、0.656,为中等变异,说明受测的有效态重金属均受到外界因素的影响。

有效态重金属与重金属全量、pH 值和有机质的相关性分析表明,Cr、Cu、Zn、Pb、Ni 与重金属全量均呈极显著相关,除 Zn 与 pH 值、有机质呈显著相关外,其他受测重金属与 pH 值、有机质均为极显著相关。

结合半方差理论模型对有效态重金属进行插值分析,结果表明,在工业区的东南方 Ni、Pb、Cu 含量较高,结合风向图可知其主要来源与工业区的气体、粉尘等排放有关,Cr 和 Zn 来源于化肥和农药,地膜也是 Cr 的来源之一。

### 参考文献:

- [1] Peralta - Videa J R, Lopez M L, Narayan M A, et al. The biochemistry of environmental heavy metal uptake by plants: implications for the food chain [J]. *International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 2009, 41 (8/9): 1665 - 1677.
- [2] Zeng F R, Ali S, Zhang H T, et al. The influence of pH and organic

matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants [J]. *Environmental Pollution*, 2011, 159 (1): 84 - 91.

- [3] 曾敏,廖柏寒,曾清如,等. 3 种萃取剂对土壤重金属的去除及其对重金属有效性的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25 (4): 979 - 982.
- [4] Li F Y, Fu B R, Wang X J. Cadmium and zinc transfer from soil to plant: potential use of two mathematical models [J]. *Journal of Liaoning University (Natural Sciences Edition)*, 2004, 31 (3): 193 - 198.
- [5] 徐应明,林大松,吕建波,等. 化学调控作用对 Cd、Pb、Cu 复合污染菜地土壤中重金属形态和植物有效性的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25 (2): 326 - 330.
- [6] 刘霞,刘树庆. 土壤重金属形态分布特征与生物效应的研究进展 [J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25 (增刊 1): 407 - 410.
- [7] Sauve S, Hendershot W, Allen H E. Solid - solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal metal burden and organic matter [J]. *Environmental Science and Technology*, 2000, 34 (7): 1125 - 1131.
- [8] 刘肃,李西开. Mehlich3 通用浸提剂的研究 [J]. *土壤学报*, 1995, 32 (2): 132 - 141.
- [9] 韩秀英. Mehlich 3 法测定石灰性土壤有效养分的适用性研究 [J]. *中国农业大学学报*, 2009, 14 (1): 104 - 110.
- [10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000: 147 - 211.
- [11] 中华人民共和国农业部. 土壤有机质测定法: GB 9834—1988 [S]. 北京:中国国家标准出版社, 1988.
- [12] 韩君,徐应明,温兆飞,等. 重庆某废弃电镀工业园农田土壤重金属污染调查与生态风险评价 [J]. *环境化学*, 2014, 33 (3): 432 - 439.
- [13] 曹会聪,王金达,张学林. 吉林省农田黑土中 Cd、Pb、As 含量的空间分布特征 [J]. *环境科学*, 2006, 27 (10): 2117 - 2122.
- [14] 郑永红,张治国,姚多喜,等. 煤矿复垦区土壤重金属含量时空分布及富集特征研究 [J]. *煤炭学报*, 2013, 38 (8): 1476 - 1483.
- [15] 樊新刚,米文宝,马振宁,等. 宁夏石嘴山河滨工业园区表层土壤重金属污染的时空特征 [J]. *环境科学*, 2013, 34 (5): 1887 - 1894.
- [16] 侯明,张利香,那佳. 小麦根际土壤汞的分布和形态变化 [J]. *生态环境*, 2008, 17 (5): 1843 - 1846.
- [17] 万红友,周生路,陈杰,等. 苏南经济快速发展区几种土壤重金属有效态含量影响因素——以昆山市为例 [J]. *农业科学与技术*, 2009, 3 (11): 28 - 32.
- [18] 丁琮,陈志良,李核,等. 长株潭地区农业土壤重金属全量与有效态含量的相关分析 [J]. *生态环境学报*, 2012, 21 (12): 2002 - 2006.
- [19] 王新,吴燕玉. 不同作物对重金属复合污染物吸收特性的研究 [J]. *农业环境保护*, 1998, 17 (5): 193 - 196.
- [20] 季辉,赵健,冯金飞,等. 高速公路沿线农田土壤重金属总量和有效态含量的空间分布特征及其影响因素分析 [J]. *土壤通报*, 2013, 44 (2): 477 - 483.
- [21] 骆永明. 土壤环境与生态安全 [M]. 北京:科学出版社, 2009.
- [22] 刘小娟. 太原污灌区土壤有效态及作物中金属含量分析 [D]. 太原:山西大学, 2010.
- [23] 李忠义,张超兰,邓超冰,等. 铅锌矿区农田土壤重金属有效态空间分布及其影响因素分析 [J]. *生态环境学报*, 2009, 18 (5):

郭 硕,魏明欢,简 卿,等. 县域耕地质量监测样点布设研究——以河北省昌黎县为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):227-232.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.12.055

# 县域耕地质量监测样点布设研究 ——以河北省昌黎县为例

郭 硕,魏明欢,简 卿,张贵军,张蓬涛

(河北农业大学国土资源学院,河北保定 071001)

**摘要:**掌握区域耕地资源数量与质量是耕地资源管理工作的基础,监测样点布设是了解耕地质量的前提。为确保监测样点数量、位置科学合理,以昌黎县为例,基于国家自然质量等指数,利用空间分层抽样方法初步确定昌黎县耕地等别渐变区域应至少布设 40 个监测样点;基于国家自然质量等指数的半变异函数结构分析得到,昌黎县耕地质量的 最大相关距离为 5.48 km,在 ArcGIS 中以 5 km×5 km 布设网格得到,昌黎县预布设 45 个监测样点才能满足耕地质量 监测的精度要求;考虑监测样点布设稳定性,基于耕地等别渐变类型与耕地国家等别的空间分布特征对监测样点预布 设进行空间优化,最终确定监测点位置;对监测样点国家自然质量等指数进行 Kriging 插值,利用插值结果的预测误差 统计量检验样点布设精度。本研究提出的样点布设方法可提高监测精度,并可保证监测样点的代表性和监测信息的 完整性,从而使监测成果更为科学、准确。

**关键词:**耕地质量;精确变化;监测样点;监测精度;地统计学;半变异函数;河北省昌黎县;监测成本

**中图分类号:** F301.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)12-0227-06

耕地资源作为特殊公共资源产品,不仅是粮食生产的基础,而且对维护社会稳定有着重大意义,但随着工业化、城镇化的快速发展,耕地面积大量减少,同时环境污染、不合理的耕种等对耕地质量也提出了严峻考验<sup>[1-6]</sup>。为实时、动态掌握耕地资源质量及变化趋势情况,迫切需要探索更加精确的耕地质量监测样点布设方法。

目前国内外专家在耕地质量监测样点布设方面进行了广泛的研究。国外主要通过布设网格对监测样点进行布设<sup>[7-9]</sup>。加拿大、美国等依据监测精度决定网格数目设计覆盖全国的方格网,在每个网格内选取监测样点<sup>[10-11]</sup>。国内学者对耕地质量监测点布设也进行了大量研究。孙亚彬等在划分监测控制区的基础上,进行监测样点布设<sup>[12-13]</sup>;余述琼等进行了基于标准样地的耕地质量监测点选取<sup>[14-15]</sup>;王倩等采

用地统计学的变异函数分析耕地自然质量变异情况,依据变异半径布设监测样点<sup>[16]</sup>。总体来说,如何确定耕地质量监测点个数及位置,使之能精确反映耕地质量变化情况及耕地等别渐变趋势,同时有效降低监测成本,尚须进一步研究。考虑到新增耕地、高标准基本农田建设等涉及质量建设与开发的耕地可以通过具体项目及相应的耕地质量等别评定信息进行全面调查评价,其监测与管理方法已得到解决,故选择河北省秦皇岛市昌黎县质量建设与开发耕地之外的所有耕地即“渐变耕地”作为研究对象,引入基于地统计学的空间分层抽样方法,确定在允许误差范围内的最少监测样点数;以国家自然质量等指数的变程为基础,选择合适网格大小进行监测样点的预布设;基于监测样点分布的稳定性原则、耕地等别渐变类型与耕地国家自然等、国家利用等的空间分布特征对监测样点预布设进行空间优化;利用插值结果的预测误差统计量检验样点布设精度;以期在保证监测样点代表性和监测信息完整性的同时使监测成果更为科学、准确。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

昌黎县隶属于河北省秦皇岛市,位于河北省东北部(图

1772-1776.

[24]林芬芳. 不同尺度土壤质量空间变异机理、评价及其应用研究[D]. 杭州:浙江大学,2009.

[25]Alloway B J. Heavy metals in soils; trace metals and metalloids in soils and their bioavailability[M]. Berlin:Springer,2013.

[26]Sträter E, Westheld A, Klemm O. Pollution in coastal fog at Alto Patache, Northern Chile[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2010, 17(9): 1563-1573.

[27]Milberg R P, Lagerwerff J V, Brower D L, et al. Soil lead

accumulation alongside a newly constructed roadway[J]. Journal of Environmental Quality, 1980, 9(1): 6-8.

[28]蒋亚良. 轮胎气门嘴胶垫脱铜现象探析[J]. 轮胎工业, 1998, 18(7): 415-417.

[29]陆安祥, 孙 江, 王纪华, 等. 北京农田土壤重金属年际变化及其特征分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(18): 3778-3789.

[30]Nicholson F A, Smith S R, Alloway B J, et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales[J]. Science of the Total Environment, 2003, 311(1/3): 205-219.