

# 区域土壤环境地球化学研究

## ——异常成因判别 环境质量 污染程度评价的思路与方法

周国华<sup>1,2</sup>, 刘占元<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 从概念内涵和应用目标出发, 认为土壤环境地球化学质量评价应该分为质量现状和污染程度两个方面。在此基础上探讨了区域地球化学资料在土壤环境现状质量评价、异常成因识别、污染元素累积速率和土壤污染程度评价研究的基本思路和方法。

**关键词:** 土壤环境质量标准; 异常成因识别; 土壤污染程度; 区域地球化学资料; 评价方法

**中图分类号:** P632; X142 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 8918(2003)03 - 0223 - 04

土壤是人类生存和社会经济发展的重要资源和基本环境要素。为维护土壤的生态和社会功能, 一方面需要通过科学合理的规划利用、采取生态保护措施, 以减轻或消除土壤侵蚀、荒漠化、沙漠化、盐渍化等对土壤资源的侵害; 另一方面也需要对土壤地球化学环境现状进行系统的调查, 评价土壤环境现状质量, 分析土壤污染程度并预测其变化趋势, 以保护和合理利用土壤资源。1999 年以来, 在中国地质调查局支持下, 在我国广大的平原覆盖区正在开展以土壤为主要样品介质的多目标区域地球化学填图, 获得的地球化学资料不仅将在基础地质研究、资源潜力评价、农业生产和土地利用规划中发挥重要作用, 也使区域土壤环境地球化学的深入研究成为可能。

笔者注意到目前对于区域土壤环境质量评价的基本概念不够明确, 在具体方法上也比较混乱, 表现为: 由于现有的国家土壤环境质量标准涉及元素指标少, 难以满足更为全面的多元素评价工作的需要, 有以统计学的含量分级(如以背景值为基础的分级)评估土壤环境质量的倾向; 由于对土壤环境质量标准内涵理解上的偏误, 有以土壤环境质量标准评价土壤污染程度的做法。更多的则是将环境质量评价和污染程度研究混为一谈。为此, 笔者认为有必要明确土壤环境质量标准的概念内涵, 建议从环境质量现状评价和土壤污染程度评价二个方面开展区域土壤环境地球化学研究。

### 1 土壤环境质量现状评价

#### 1.1 土壤环境质量标准及含义

在生物形成及其长期的进化过程中, 人类及所有地球生物与环境形成了相互作用和相互依存的平衡关系, 环境质量的优劣决定了人类生存和发展的适宜性。环境质量标准是环境管理部门参考环境基准, 并综合考虑社会、政治、经济、技术等多方面条件制定的切实可行的技术规定。环境基准是指环境中污染物或有害因素对特定对象(生物、人)不产生有害影响的最大剂量或水平, 即污染物或有害物剂量—生物效应关系。我国土壤环境质量标准<sup>[1]</sup>是在考虑土壤主要性质的基础上, 规定了三大类土地功能区的镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍 8 个元素以及六六六、DDT 的最高允许浓度, 即当土壤中上述污染物浓度低于标准浓度时具备相应的应用功能, 符合保护目标。显然, 土壤环境质量标准包含有环境基准内涵, 其含量分级对应着环境效应。当土壤中污染物超出某一浓度标准时, 可能对植物、动物和人体健康产生危害而使土壤的应用价值降低。

影响土壤质量的环境指标包括有机质、酸碱度、氧化还原电位、易溶性盐等土壤物化性质指标, 镉、汞、砷、铜、铅、铬、锌、镍、钴、铊、氟等有毒有害元素指标, 以及有机污染物、致病菌等等。与水、气、植物等介质相比, 存在众多因素影响到土壤污染物的生物有效性, 并且土壤污染物作用于植物、动物及人体

的过程与途径也十分复杂,土壤环境质量的制定难度大。现有土壤环境质量标准规定的指标十分有限,含量分级也比较粗放,研究建立更加系统的评价标准是当务之急。相信随着研究的深入和资料的积累,这一问题将逐步得到解决。

### 1.2 土壤环境质量标准的应用问题

由土壤环境质量标准的定义可见,任何统计学意义上的所谓“环境质量评价标准”因不含环境基准内涵而不可能真正评价土壤环境质量。对于土壤环境质量国家标准已规定的 8 元素之外,现有的不少指导性文献通常建议采用区域土壤元素背景值、未受污染的土壤元素含量值作为评价标准,更常见的是将国标、背景值、纯生物学方法混杂在一起进行评价<sup>[2]</sup>,笔者认为这是极不适宜的。为维护土壤环境质量定义的严肃性,建议土壤环境质量的评价要以现有国家标准或者地区性标准为依据。对于标准未作规定的元素以暂不参与评价为宜,或可适当参考国外的土壤质量标准,如表 1 所示荷兰土壤标准<sup>[3]</sup>。

表 1 荷兰国家土壤环境质量标准  $10^{-6}$

元素	目标值	干预值	元素	目标值	干预值
Sb	3	15	Hg <sup>1</sup>	0.3	10
As	29	55	Hg <sup>2</sup>	0.3	
Ba	160	625	Mo	3	200
Be	1.1	ILSP 30	Ni	35	210
Cd	0.8	12	Se	0.7	ILSP 100
Cr	100	380	Ag		ILSP 15
Co	9	240	Te		ILSP 600
Cu	36	190	Tl	1	ILSP 15
Pb	85	530	Sn		ILSP 900
Zn	140	720	V	42	ILSP 250

注:低于目标值对环境的影响可忽略;高于干预值会使土壤对人体、植物或动物的功能效应发生严重或急性下降,有可能引起严重的污染事件,存在“潜在危险性”;ILSP 为严重污染;Hg<sup>1</sup> 为汞和有机态汞;Hg<sup>2</sup> 为甲基汞。

应用国家标准对土壤环境质量现状进行评价分级,可以确定土壤的生态功能和利用价值,却无法评价人类活动对土壤的污染影响以及由污染引起的元素累积程度。这是因为除了六六六、DDT 等有机污染物主要来自人类活动污染、可直接反映污染程度外,化学元素在自然土壤环境中普遍存在而且其含量分布很不均匀,某一地区(点)土壤元素的原始背景含量是评价该地区(点)污染与否和污染程度的真正参照值。实际研究中不乏这样的例子,在明显污染的城镇区或工业区(由区域地球化学图可见),采用土壤环境质量标准评价的结果是土壤环境质量尚属优良,据此断定无污染影响显然是不合理的。

### 1.3 应用区域土壤地球化学资料评价土壤环境质量

覆盖区多目标区域地球化学调查测试指标包括了国家《土壤环境质量标准》的 8 种元素和 pH 值,因此,引用土壤质量分级标准可以依据 8 种元素数据资料,对区域土壤环境质量进行评价分级,圈出各级土壤环境质量区的空间分布。这一结果可以为土壤利用功能分区、土地合理利用规划、土壤环境保护服务。

## 2 土壤污染程度评价

在准确评价土壤环境质量现状的同时,判别土壤异常成因、评价污染程度和污染元素的累积速率,对于区域土壤环境演化、地球化学灾害预测和防治具有重要的意义。土壤是岩石圈、水圈、大气圈、生物圈和人类活动综合作用的界面,土壤元素来源与土壤元素异常成因十分复杂,准确判别异常成因、评价污染元素的累积速率,是研究土壤污染的重要内容。

### 2.1 异常成因的判别

土壤元素地球化学异常可以有以下几种成因:

成土母质元素异常所致。继承了风化成土前的地质体异常、矿化异常或沉积异常,属于由地质背景引起的地球化学异常;各种污染作用将元素带入土壤并累积形成的异常;成壤过程中元素表生富集作用产生的异常;上述多种作用机制共同作用下形成的异常。应用 GIS 技术分析异常空间分布与可能污染源的关系,采用多元分析方法研究元素的组合特征及分布规律,利用浅、深两层土壤元素含量关系,可以为异常成因判别提供重要的证据。

对比研究土壤元素异常与污染源的空间分布关系,有可能直观地判断出异常的成因。杭嘉湖及其它地区大量调查资料表明,某些重金属类污染元素异常与城镇区或工业区在空间分布上往往具有很好的对应性,可以初步判定环境污染是这类异常的主要成因。随着计算机技术的发展,采用地理信息系统(GIS)可以进行更加系统综合的空间分析,快速有效地建立异常分布与污染源的关系,识别异常成因。应用多元分析方法研究元素组合及其空间分布模式,有助于异常成因的解释推断,区分人为污染和自然污染源。Birke 等对德国柏林市土壤地球化学资料的研究表明,Al、K、Na、Rb、Zr、Nb、Ti 的分布及其富集主要与自然地质作用或成壤作用有关,反映了下伏地层组成特征;工业区具有明显的 Cu-Zn-Pb-Hg-Sn-Ni 污染组合;与其地质背景相比,工业区和商业区具有显著的 Pb、Hg、Ca 富集,电导率增强;城

市区明显富集与人类活动有关的 Cd、Ni、Cu、Hg、Pb、Sn、Th、Tl 元素;居民区、大量施用化肥与污泥的农业区则富集 Cd、Cr、V、P<sup>[4]</sup>。

覆盖区多目标地球化学填图同时调查了浅层(0~20 cm)和深层(大于 150 cm)土壤元素含量。大量土壤剖面分析研究表明,通常情况下 150 cm 以下的土壤层基本不受污染的影响。这是由于土壤对微量元素特别是重金属类元素有着较强的吸附保持能力,由各种污染作用带入土壤的元素首先并且大部分聚积于近地表土壤中。因此,浅层与深层土壤中元素含量差异成为判别异常成因的重要线索。可以预期,在特定的地球化学景观区或亚区内,尤其是地形开阔平缓、沉积类型和沉积物组成比较均一、植被类型相近的第四系冲洪积平原区,成壤过程中某个元素的表生地球化学行为——淋滤贫化或淀积富集程度是基本相同的,即浅层与深层土壤中其含量比值(富集系数)趋近一常数。富集系数超出了正常波动范围而达到异常富集程度,预示存在着污染叠加作用。因此,利用浅、深层土壤元素的比值和含量差(累积量),可以较准确地识别浅层土壤元素异常的成因(表 2)。应用这一方法的前提是形成浅层和深层土壤的成土母质(沉积物)的化学组成相近。此外,对于分布面积广泛、污染程度较低的面型污染则难于识别。

富集系数可以较好地衡量元素的污染累积程度,结合土壤剖面测量得到的污染层分布厚度、沉积年代学分析得到的土层形成年代,可以计算污染元素的累积总量,分析污染历史,预测污染变化趋势。

表 2 富集系数、累积量应用于浅层土壤元素异常成因判别

富集系数	累积量	可能形成机理	浅层土壤异常成因
< 1	负值	表生作用下元素淋溶贫化	非污染异常
		深层土壤成土母质元素含量大于浅层	
> 1	在正常波动范围内 正值,小	表生作用下元素累积富集 浅层土壤成土母质元素含量大于深层	非污染异常
	超出正常波动范围 正值,大	污染叠加作用引起 浅层土壤成土母质元素含量大于深层	

## 2.2 污染程度的评价

对于已确认的污染异常,基于地球化学背景可以评价污染元素的累积程度。污染程度的评价可借鉴现有的环境污染评价方法,以单元素评价结果为

基础进行多指标的综合,从而对土壤总体污染程度取得认识。由于各种元素地壳丰度存在明显差异,并且各个地区元素的背景值各不相同,可以用污染指数法来对比研究不同地区多个元素指标的污染程度。

### 2.2.1 单元素污染指数

参照地球化学背景值计算得到的污染指数,可以真实地反映元素的污染程度。地球化学背景是指元素含量的正常变化范围,计算时宜采用区域地球化学背景或地球化学子区背景阈的上限值,一般以剔除异常数据后的区域(子区)平均值加 2 倍标准差表示。

$$P_{i,j} = C_{i,j} / S_i, \quad j = 1 \sim m \text{ (设有 } m \text{ 个土壤样品)}。$$

式中,  $P_{i,j}$  为  $j$  点土壤元素  $i$  的污染指数;  $C_{i,j}$  为  $j$  点土壤元素  $i$  的实测浓度;  $S_i$  为元素  $i$  的评价标准,即区域(亚区)地球化学背景阈的上限值。

### 2.2.2 综合污染指数

将单元素污染指数有机地综合起来,以体现土壤受污染影响的程度。现今提出的数学计算模型主要如下。

(1) 简单加和平均。某一测点土壤中  $n$  个元素污染单指数的算术平均值,算式为

$$P_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{i,j}, \quad i = 1 \sim n。$$

式中,  $P_j$  为  $j$  点土壤  $n$  个元素的综合污染指数;  $P_{i,j}$  为  $j$  点土壤元素  $i$  的污染指数。

(2) 内梅罗(Nemrow)污染综合指数法:一种兼顾极值的综合方法,既考虑了单元素的作用,又突出了污染最严重元素的重要性,即

$$P_j = \sqrt{(I_{j,aver}^2 + I_{j,max}^2) / 2}$$

或

$$P_j = \sqrt{I_{j,aver} \times I_{j,max}}$$

式中,  $I_{j,aver}$  为  $j$  点土壤  $n$  个元素污染指数的平均值;  $I_{j,max}$  为  $j$  点土壤  $n$  个元素污染指数的最大值。

(3) 加权平均型综合指数:考虑了不同元素对污染影响贡献的差异,但权值的确定一般比较困难,即

$$P_j = \sum W_i P_{i,j}$$

式中,  $W_i$  为元素  $i$  的权重值 ( $0 < W_i < 1$ ,  $n$  个元素的权重总和等于 1)。

### 2.2.3 污染指数分级及图示

采用上列数学模型计算得到的单元素污染指数

表 3 污染指数分级和图示颜色

污染分级	一	二	三	四	五
污染指数	$P \leq 1$	$1 < P \leq 2$	$2 < P \leq 3$	$3 < P \leq 6$	$P > 6$
图示颜色	兰	绿	黄	粉红	红

\* 无污染的背景区

和综合污染指数的变化范围具有可比性。参考《覆盖区多目标地球化学调查暂行规定》中规定的污染元素现时含量状况图的分级和图示颜色,将计算得到的单元素污染指数或综合污染指数按表 3 分级标准成图,即可显示研究区土壤污染程度的空间分布,直观地展示研究区的污染程度。

### 3 结论与建议

鉴于土壤环境质量现状与污染程度评价在定义内涵上的差异,将两者合二为一的作法是缺乏科学性的。建议从土壤环境现状质量和土壤污染程度方面来进行土壤环境地球化学研究。这种想法一定也有不合理之处,敬请同行专家批评指正。

区域土壤地球化学资料不仅可用于土壤环境现状质量评价,也对异常成因识别、污染累积速率和污染程度研究具有重要意义。这对于土壤环境质量的

动态变化研究、地球化学灾害的预测具有重要意义。

已有的覆盖区区域地球化学调查资料显示,参照国家土壤环境质量标准,我国多数地区土壤中污染元素含量尚属于相对洁净水平,这是由于我国工业化历史较短、土壤中污染元素的总累积量有限。但是,参照区域背景值来评价土壤污染程度,则土壤污染问题十分普遍,相当多的城镇区和工业区污染程度很严重,土壤环境保护已成为当今一项重要任务,土壤环境地球化学灾害防治、土壤污染治理与土壤环境修复也必将逐步成为环境研究的一项中心任务。

### 参考文献:

[1] GB 15618 - 1995,土壤环境质量标准[S].  
 [2] 丁桑岚. 环境评价概论[M]. 北京:化学工业出版社,2001.  
 [3] The ministry of housing, spatial planning and the environment. Environmental quality standards in the Netherlands-A review of environmental quality standards and their policy framework in the Netherlands[S]. Kluwer,1999.  
 [4] 周国华. 德国环境研究概况及案例简介[J]. 物探化探译丛, 1997,(5).

## THE METHODS FOR SOIL GEOCHEMICAL QUALITY ASSESSMENT —THE APPLICATION OF SOIL REGIONAL GEOCHEMICAL MAPPING DATA

ZHOU Guo-hua<sup>1,2</sup>, LIU Zhen-yuan<sup>1</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China)

**Abstract:** It is considered that soil environmental geochemical quality study should be undertaken in two aspects: current soil quality assessment and soil contamination grade assessment, the concept and aim of these two assessments being different from each other. This paper puts forward some methods for using soil regional geochemical data to soil quality assessment, anomaly genesis identification and soil contamination grade assessment.

**Key words:** soil quality standard; anomaly genesis identification; soil contamination grade; soil regional geochemical data; assessment method

**作者简介:** 周国华(1964 - ) ,男,浙江昆山人,1989 年获长春地质学院岩化专业硕士学位,现为中国地质大学(北京)在读博士,发表论文 20 余篇。