

# 我国北部草原系列土壤中成土作用 对微量元素含量影响的经向分异

陶澍 林春野 冯泉

(北京大学城市与环境学系, 100871)

## 摘 要

根据我国北部草原系列土壤中 10 种微量元素的实测结果, 用方差分析和多重比较方法研究了母质和土类因素对该地区土壤微量元素含量的影响。并以主成份得分的调整独立方差为依据, 探讨了成土作用对土壤微量元素含量影响的方向、强度及地域分异特征。

研究结果证实, 不同母质和土类单元草原土壤中微量元素含量有明显差异, 其中母质单元间的差别尤为显著。影响草原土壤表层微量元素含量的主要成土因素包括两种类型: 导致元素含量下降的淋溶作用和造成元素相对富集的粘化、生物小循环与腐殖化作用。两类过程作用方向相反, 而强度的经向变异一致。其共同作用的结果是使草原土壤中微量元素的淋失趋势从东向西先上升而后下降。其中铜、镍、铬等大多数元素以淋失为主要特征。对锰、锌等元素, 第二类作用的影响较为明显。

**关键词** 草原土壤, 微量元素, 成土作用, 方差分析, 多重分类, 地域分异

## 一、前 言

成土母质类型和微量元素丰度是影响其上发育的土壤中微量元素含量的决定性因素<sup>[1,2]</sup>。尽管成土作用或多或少改变了土壤中微量元素的原始分布格局<sup>[3,4]</sup>, 但对母质含量的继承性仍然是大多数地区土壤微量元素含量分布的基本特征<sup>[5]</sup>。正因为如此, 地理因素对土壤微量元素再分布的影响往往被母质作用所掩盖, 以至在大多数情况下, 土壤微量元素不象常量元素那样表现出鲜明的地带性分异特征。

不同类型母质的空间分布往往复杂。在不排除母质影响的条件下, 几乎不可能针对具有地带性分异特点的地理因素的影响得出令人信服的结论。譬如, 有关研究发现华南地区表土中铜的平均含量低于华北地区<sup>[6]</sup>。尽管有充分理由相信, 前者受到较强的风化和淋溶作用影响, 但由于华南地区广泛分布的花岗岩, 其铜的背景含量本来就比华北地区土壤母质低, 实际上不可能仅仅根据实测数据的统计结果直接判断土壤铜含量北高南低的现象究竟在何种程度上受到非母质因素的影响。

将对象局限于典型母质是解决上述难题的途径之一。有关研究也据此获得了一些有

1) 国家环保局, 1990: 中国土壤环境背景值研究, pp82。

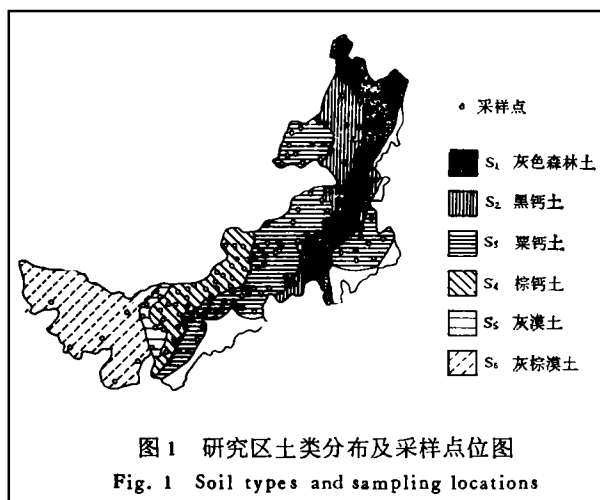
意义的结论<sup>1)</sup>。然而典型样品研究往往受到样本量的限制,且很难涵盖多种母质分布地区的综合特征。另一方面,运用适当数理统计方法分析常规土壤地球化学调查资料。则是探讨地理因素对土壤微量元素分布影响的另一重要手段。由于无需专门设计的采样方案,且对象不再局限于某种母质,据此获得的结论往往更具有一般性。

内蒙古草原及其周沿地区的成土母质包括残积、残坡积、风积、冲积和湖积物等。其土壤带的经向分布格局主要表现在自东向西的灰色森林土—黑钙土—栗钙土—棕钙土—灰漠土和灰棕漠土系列中。该地区土壤发育过程中的主要成土作用包括淋溶、残积粘化、腐殖质积累和钙积化等。由于水热条件的经向变化,这些过程也表现出明显的经向分异特点,即从灰色森林土到灰棕漠土,淋溶、粘化和腐殖化作用依次减弱,而钙积层及粘粒聚积层层位逐渐提高。

本研究即以我国北部草原系列土壤为例,运用有关统计手段,在剔除母质影响的前提下,揭示成土作用对表土微量元素分布影响的经向分异特征。

## 二、研究方法

在内蒙古草原土壤分布区共采集 181 个表土样品,测定了铜、铅、锌、镉、镍、铬、汞、钴、钒、锰、有机质和粘粒含量及 pH 值<sup>2)</sup>。经对原始数据作统计剔除后余下为 154 个样点。它们分属六种土类和九种母质。样点位置及土类分布由图 1 所示。图中同时还给出了六种土类的编码(S<sub>1</sub>—S<sub>6</sub>)。九种母质类型分别为花岗岩、酸性火山岩、中性火山岩、基性火山岩、玄武岩、风积岩、砾砂泥页岩、黄土和河积湖积物。



方差分析是探讨多种因素的独立与交互作用显著与否的常规统计手段,多重分类(multiple classification)则在研究不同因素独立作用方面有其独到的优点。本研究即采用这两种方法探讨不同母质及土类单元间土壤微量元素含量的差异,借以揭示成土作用对其分布影响强度的经向分异。在作方差分析之前,所有数据经 Box-Fox 正态变换。

1) 国家环保局,1990: 全国土壤环境背景值地域分异规律研究 pp13—29。

2) 同上。

### 三、结果与讨论

以母质和土类为两个独立因素,分别对不同元素含量及理化参数作双因子方差分析。结果表明,所有变量均无显著交互作用。对母质因素,除 pH 值外所有变量均在低于 5% 水平下显著。就土类而言,仅钒、锌和镉高于 5% 显著性水平。可见,各变量在不同母质和土类单元间的差异显而易见。

为了比较母质和土类两因素的相对强弱,计算了两个因素的偏  $\beta$  值,其大小反映了母质和土类因素独立作用的相对强度,图 2 即为偏  $\beta$  值计算结果。

从图中可知,母质类型对多数微量元素分布的影响甚于表生环境中风化和成土作用。三种理化参数则不然,其中粘粒受母质和土类两因素的影响大体相当,而有机质含量和 pH 值主要与土壤类型有关。

在所研究地区,发生在不同土类中的成土过程强度差别悬殊,这种差别必将反映在微量元素分布上。然而由于母质分布的影响,各土类微量元素含量均值间的差异不单纯反映了土类间固有的不同,还包括母质特征的影响。正因为如此,对土类间差异的研究必须在剔除母质因素干扰的基础上进行。本研究采用多重分类分析获得的调整独立方差 ( $V_i$ ) 来描述不同土类微量元素含量的差别,其大小代表了均一母质条件下不同土壤类型中微量元素含量的相对关系<sup>[6]</sup>。

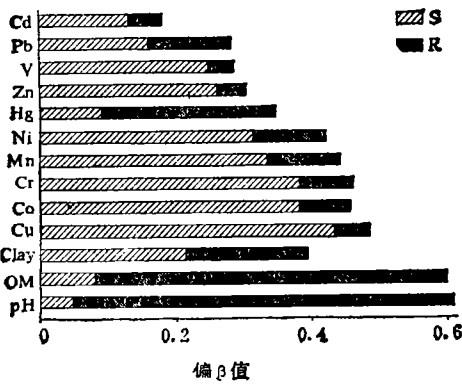


图 2 反映母质(R)和土类(S)两因素对不同变量独立影响的偏  $\beta$  值

Fig. 2 Partial  $\beta$  values indicating the effects of soil type (S) and parent material (R) on different variables

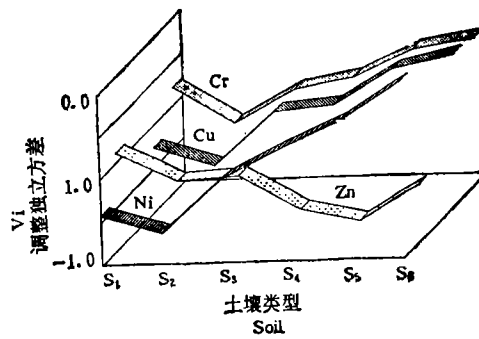


图 3 不同类型草原土壤中铜、锌、镉和镍含量调整独立方差的递变趋势

Fig. 3 Variations in the adjusted independent variances ( $V_i$ ) of Cu, Zn, Cr and Ni among soil types

据计算结果可知,所研究的微量元素的  $V_i$  值变化趋势十分相似。以铜、锌、铬和镍四元素为例,这样的变化趋势如图 3。从灰色森林土到灰棕漠土,  $V_i$  值先下降而后上升。图中六种土类 ( $S_1-S_6$ ) 的排列次序与它们自东向西的地理分布大体一致。尽管不同微量元素的  $V_i$  值最低值出现位置不尽相同,但从图中仍可清楚地看出,草原土壤中微量元素的淋失趋势从东向西先递增继而递减。

能对草原土壤表层微量元素含量产生显著影响的表生地球化学作用包括两大类: (1) 风化和成土过程中的淋溶作用, (2) 成土过程的粘化及生物小循环作用。前者造成土壤中微量元素含量下降, 后者则阻止元素淋失, 甚至导致它们在土壤剖面的某些层次中相对富集<sup>[7]</sup>。在草原土壤分布地区, 降水量由东向西递降, 淋溶强度随之减弱。另一方面, 导致粘粒生成的化学风化和引起腐殖质积累的腐殖化作用也因生物气候条件的变化表现出相同的趋势, 即自东向西强度逐渐减弱。由于上述两类作用相反的过程在经向上呈现相似的变化特征, 草原土壤中微量元素含量在风化和成土过程中发生的改变便取决于这两类作用的强弱对比关系。为从本质上探讨成土作用对草原土壤中微量元素含量影响的变异规律, 对经正态化变换的数据作主成份分析。由此得到的经最大方差旋转的第一、二因子载荷向量列于表 1。

表 1 草原土壤中微量元素含量及有关参数的第一、二主成份载荷向量

Table 1 Factor loadings of the first and second principal components

主成分 Principal component	Cu	Pb	Zn	Cd	Ni	Cr	Hg	Co	V	Mn	有机质 O.M.	pH	粘粒 clay
F <sub>1</sub>	0.83	0.00	0.44	0.24	0.91	0.90	0.24	0.90	0.69	0.65	0.08	0.15	0.12
F <sub>2</sub>	0.18	0.08	0.53	0.17	-0.15	-0.02	0.42	-0.02	0.32	0.56	0.88	-0.86	0.80

尽管 F<sub>1</sub> 载荷向量较大的元素恰好是那些在酸性母岩中含量偏低者, 但该主成份并非单纯体现了母质的作用。如果在求得因子得分的基础上计算不同土类的 Vi 值, 在剔除母质因素影响后的 F<sub>1</sub> 得分的 Vi 值仍出现规律性经向变化(图 4)。可能导致草原土壤的微量元素含量自东向西递增的地理因素主要是由降水造成的淋溶, 这意味着第一主成份实质上包含两类作用: 母质类型造成的分异和淋溶作用产生的影响。

主成份 F<sub>2</sub> 包含本研究测定的所有理化参数。可视为粘化和腐殖化等成土作用的综合体现。此外, 该主成份还包括生物活性较强的锰和锌, 这显然与生物小循环及有机质对它们的固定作用有关。F<sub>2</sub> 因子得分的 Vi 值也在图 4 中一并给出。不难看出, 其经向变异趋势较 F<sub>1</sub> 更为明显, 且方向与 F<sub>1</sub> 相反, 这恰恰反映了粘化、腐殖化等成土作用的强度以及它们对微量元素含量的影响自东向西递降的一般趋势。

综上所述, 在我国北部草原土壤分布地区影响表土微量元素含量的表生地球化学作用可归为两类。其一是由 F<sub>1</sub> 因子得分的 Vi 值代表的风化与淋溶作用, 该作用造成土壤微量元素含量下降, 东部地区降水量

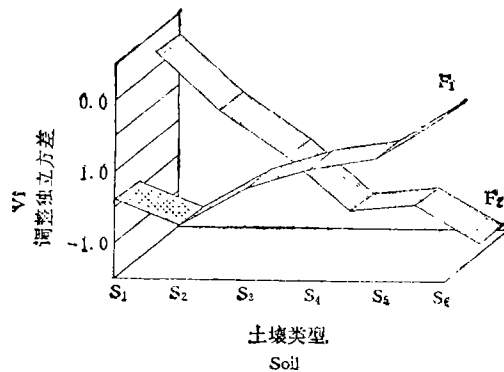


图 4 不同类型草原土壤中 F<sub>1</sub> 和 F<sub>2</sub> 因子得分的调整独立方差

Fig. 4 Variations in the adjusted independent variances of factor scores among soil types

大,风化和淋溶作用相对强烈,黑钙土和灰色森林土中微量元素的淋失趋势最明显。由东向西这样的淋失趋势逐渐变小。第二类作用以残积粘化、生物小循环和腐殖化为主,反映在  $F_2$  因子得分的  $V_i$  值上。此类作用在一定程度上阻止了表土中微量元素的淋失,其强度从灰色森林土至灰棕漠土不断下降。上述两类作用在经向上强度变化趋势一致但作用方向相反,其共同存在的结果是使各元素在草原土壤表层的淋失趋势从东向西先上升而后下降,导致图 3 所示元素含量在不同土类间  $V_i$  值的下凹形态。

比较表 1 中各元素载荷向量大小可以看出,两类作用对不同元素的影响程度明显不同。元素间的这种差别也反映在图 3 所示  $V_i$  值的变化上。以淋溶为主要特征的铜、铬、镍等元素的  $V_i$  值从东向西以上升为主,这一趋势与图 4 所示  $F_1$  的  $V_i$  值的  $V_i$  值则与  $F_2$  相仿,即以从东向西下降为主导趋势。

## 四、结 论

发育在不同母质上及不同类型的草原土壤中微量元素含量有明显差异,其中母质的影响尤为显著。

在草原系列土壤中造成土壤微量元素含量下降的淋溶作用以及阻止微量元素淋失的生物小循环、腐殖化和粘化作用的强度均从东向西渐次减弱。两类过程共同作用的结果是使微量元素在表层土壤中的淋失趋势从灰色森林土起,经黑钙土、栗钙土、棕钙土至灰漠土、灰棕漠土先上升而后下降。铜、镍、铬等大多数微量元素以淋失为主要特征,而锰、锌等也受到阻止其淋溶的其它成土作用的显著影响。

## 参 考 文 献

1. Cannon, H. L., 1978: *Geochem. Environ.*, 3:17—31.
2. Mitchell, R. L., 1964: In *Chem. of the Soil*, F.E. Bear (ed.), Reinhold, New York, pp. 320—368.
3. Lucas, R. E. and B. D. Knezek, 1972: In *Micronutrients in Agriculture*, J. J. Mortvedt (ed.), SSSA, Madison, pp. 265—288.
4. Swaine, D. J. and R. L. Mitchell, 1960: *J. Trace-element distribution in soil profiles. Soil Sci.*, 11:347—368.
5. Thornton, I. and J. S. Webb, 1980: In *Appl. Soil Trace Elements*, B. E. Davis (ed.), John Wiley, Chichester, pp. 381—440.
6. Andrews, F. J., M. J. Sonquist and L. Klein, 1973: *Multiple Classification Anal.*, Ann Arbor, University of Michigan.
7. Harmsen, K., 1977: *Behavior of Heavy Metals in Soils*, Centre Agri. Publ and Doc., Wageningen, pp. 1—14.

## REGIONAL VARIATIONS IN INFLUENCE STRENGTH OF SOIL FORMATION PROCESSES ON TRACE ELEMENT CONTENTS IN SOILS FROM NORTHERN CHINA

Tao Shu, Lin Chunye and Feng Quan

(Dept. of Geography, Peking University, Beijing 100871, China)

### Summary

The contents of ten trace elements in soils from northern China were determined. The effects of parent material and soil types on the element abundances were investigated statistically by the methods of ANOVA and multiple classification. The adjusted independent variances, calculated based on the factor score, were computed to describe the influence of soil formation processes on the contents and distribution of the trace elements in the soils.

The significant differences in element abundances among various types of soil and among soils derived from various types of parent materials, especially the latter, were observed. The soil formation processes related to element content might be categorized as a) the leaching process, and b) formation of clay, biological absorption, and humification. The influence directions of the two kinds of processes are different, but the strengths of them all decreased from east to west at the same time. The leaching tendencies of trace elements from east to west, therefore, decreased first and then increased, due to the co-effects of the two kinds of the processes. The majority of elements including copper, nickel and chromium was characterized by leaching during the formation of soil, while significant influences of the second kinds of processes were noticed for manganese and zinc.

**Key words** Soil, Trace element, ANOVA, Multiple classification