

黄土高原土壤元素含量地域分异规律

李雅琦, 田均良, 刘普灵

(西北农林科技大学, 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西杨陵 712100)

摘要: 利用趋势面分析法, 对黄土高原土壤中 39 个元素含量的区域分布进行了研究。结果表明, 黄土高原土壤中的大多数元素含量和黄土母质接近, 且具有粒度相关型的地域分异规律。土壤发生过程和生物气候环境是影响土壤元素含量地域分异的主要因素。元素的地域分布为黄土高原的风成学说提供了土壤地球化学方面的佐证。

关键词: 趋势面分析; 土壤元素; 地域分异

中图分类号: S151.9⁺5 文献标识码: A 文章编号: 1004-1389(2000)03-0063-04

A Study on Laws of Regional Variance of Soil Element Content in Loess Plateau through Trend Surface Analysis Method

LI Ya-qi, TIAN Jun-liang, LIU Pu-ling

(NWSUAF, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling Shaanxi 712100)

Abstract: The distribution laws of 39 soil elements in the loess plateau were studied by trend surface analysis method. The results showed that great majority of elements contents on the loess plateau approach to element in loess parent materials. The process of soil genesis and bioclimatic environment of soil are the main factors affecting the contents of soil elements and regional differentiations. This research provides the wind-born doctrine of loess plateau with soil geochemical proofs.

Key words: Trend surface analysis; Soil elements; Regional variance

土壤中的元素含量不仅决定于成土母质的化学组成, 而且取决于诸成土因素(气候、生物、地形、时间)的综合作用, 元素的地球化学过程, 即元素的淋溶、迁移、沉积与积累。成土母质和诸成土因素在区域上的明显差异, 决定了土壤中元素含量的区域性。所以, 在土壤环境研究中, 探讨化学元素在地理空间上的分布变化规律, 并揭示其背景含量水平及区域分布总趋势, 对于区域土壤环境化学与质量评价、土壤环境保护、土地资源评价与规划等研究有重要的实用价值。趋势面分析则具有表现这种空间分布的功能, 它不仅能够反映大范围内的区域变化, 而且可根据趋势性变化总结规律, 根据局部变化发现异常。加之计算机制图具有时效快、准确性高、灵活性大等优点, 因此, 它是研究重点或典型区域土壤元素变化规律十分理想的手段^[1]。笔者利用趋势面分析方法研究了黄土高原土壤元素的区域变化规律。

1 趋势面分析方法

1.1 趋势面分析原理 趋势面分析是用一定的函数对土壤化学元素在空间的分布进行分析, 用该函数所代表的面来逼近(或拟合)土壤元素的趋势变化。即用数学的方法把观测值划分为两部分: 趋势部分

a 收稿日期: 1999-12-09

基金项目: 中国科学院重点资助项目(KZ952-J1-211)。

作者简介: 李雅琦(1957—), 女, 高级工程师, 从事核技术在土壤环境及土壤侵蚀等领域的应用研究工作。电话: (029) 7013344。

和偏差部分。趋势部分反映区域性总的变化,受大范围系统因素的控制;偏差反映局部范围的变化特点,受局部因素和随机因素控制。

1.2 趋势面分析方法 用以拟合趋势面的方法很多,本文采用多项式函数,其基本数学公式为:

设在二维空间中有几个观测点,其观测坐标为 x_i, y_i , 观测值为 $z_i (i= 1, 2, 3, \dots, n)$, 用回归分析的方法求出 z 的回归方程为: $z = f(x, y)$, 并使得 $Q = \sum_{i=1}^n [z_i - f(x_i, y_i)]^2$ 趋于最小。

若用二元三次多项式表示, 则: $z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3x^2 + a_4xy + a_5y^2 + a_6x^3 + a_7x^2y + a_8xy^2 + a_9y^3$, 式中 $a_0, a_1, a_2, a_3, \dots, a_9$ 为待定系数, x, y 为观测值; z 为趋势值。

在 n 个观测点上, 观测值 z_i 与趋势值 z_i^d 之差的平方和为最小的情况下, 利用最小二乘法, 求出待定系数, 把它们代入方程, 就可求出趋势面中任一点的趋势值。

1.3 趋势面的适度检验 趋势面的适度是关系到趋势面分析应用效果的问题。拟合程度的高低也是元素含量地域分异显著程度的重要标志。本文采用了下面公式作为衡量拟合程度的标准:

$$C = [1 - \frac{\sum_{i=1}^n (z_i - z_i^d)^2}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2}] \times 100\%$$

式中: C 为拟合程度百分数; z_i 为第 i 个位置上的观测值; z_i^d 为第 i 个位置上的拟合值; \bar{z} 为所有观测值的算术平均值。

要达到一定的拟合精度(剩余平方和小到一定程度), 可以通过增大趋势面次数来实现。但趋势面次数越高, 计算量越大。因此, 在实际应用中要根据研究目的和研究对象的空间范围恰当选择。一般选取具有较高拟合度和较小残差的拟合结果, 便可清晰地表现出土壤化学元素在地理空间的区域分布特征。

2 结果与分析

黄土高原土壤元素含量如表 1 所示。为了直观反映黄土高原土壤中化学元素的含量水平的变化趋势, 并揭示其地域分异规律, 笔者利用上述方法对黄土高原表层土壤 39 个元素含量逐个进行趋势面分析^[2]。根据分析结果, 可将元素含量的分布按其分异趋势及主要影响因素划分为下列几个类型。

2.1 土壤粘粒相关性

地域分异属于该类型的元素最多, 为黄土高原土壤元素含量地域分异最重要的类型。Fe、Co、Ni、Mn、V、Cu、Pb、As、K、Rb、Cs、F、Ti、Al、Th 和稀土元素的地域分布总趋势和土壤中粘粒含量的分布趋势相似, 具有在六盘山以东由北向南、由东北向西南逐渐升高的趋势, 而在六盘山以西则有由西北向东南含量逐渐升高的明显趋势。相关分析也表明这些元素和粘粒含量呈显著正相关($r > 0.5$)。图 1、图 2 以钴为例绘出黄土高原表层土壤中钴和粘粒含量的趋势面等值线, 清晰地反映了两者地域分异的相似

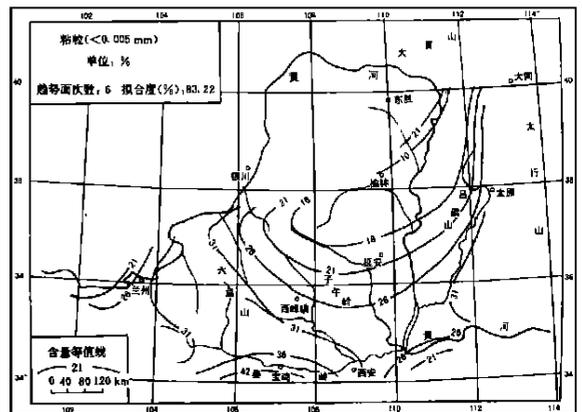
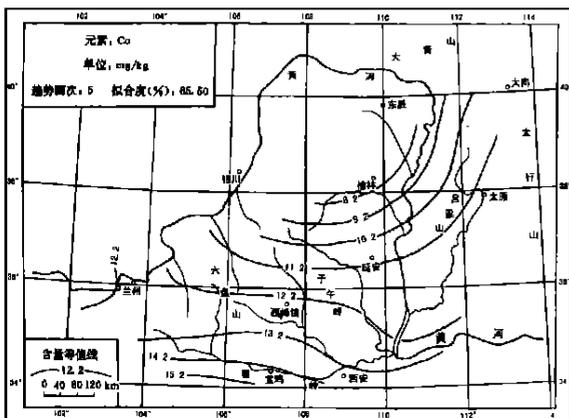


图 1 黄土高原土壤钴含量趋势面等值线

Fig.1 Trend surface isogram of soil Cobalt

图 2 黄土高原土壤粘粒(< 0.005 mm) 含量趋势面等值线

Fig.2 Trend surface isogram of Clay

性。该类元素趋势面分析的拟合程度一般高于 50%, Co、As 等典型元素可高达 80% 以上。趋势分析的残差(趋势分析拟合值和实测值的差异)较大的点位主要发生在山地林区附近, 说明局部地区因生物气候环境的陡变, 土壤元素含量可形成相对于总趋势的局部分异。对该组元素趋势面图逐一进行比较, 可发现元素间尚存在一定差异。这种差异主要表现在等值线的梯度变化, 以及和粘粒分布的相似程度, 但不影响总的分布趋势。

2.2 砂粒相关型

Zr、Hf 等稳定元素为这类分异类型的典型元素。图 3 以 Hf 为例绘出了趋势面的等值线图。元素含量的变化方向和第一类元素正相反, 表现出元素含量由南向北、由东南向西北或由西南向东北(六盘山以西)逐渐升高的总趋势, 基本上和土壤中的砂粒含量($r > 0.05 \text{ mm}$)分异趋势一致。该组和砂粒正相关($r > 0.4$), 和粘粒负相关。反映了黄土中富集含 Zr、Hf 的抗风化类重矿物(如锆石等)在黄土高原的分布趋势。

属于上述 2 种分异类型的大多数元素, 在土壤表层和在黄土母质中含量较接近(表 1)。朱显谟先生通过对黄土高原成土作用最强的“红三条”古土壤(S_5)的研究, 证实了在生物作用为主导的成壤作用中, 由于环境条件的限制, 并未见黄土有明显的进一步分解, 或再行细粒化的发生^[3]。鉴此, 上述两类土壤粒度相关型的元素分异类型, 也基本上反映了黄土母质中这些元素含量的地域分异特征。不难看出, 图 1~3 等值线的变化趋势也显示了我国黄土的风成特征。等值线在吕梁山、六盘山等处曲率的变化, 表现了山势对风力搬

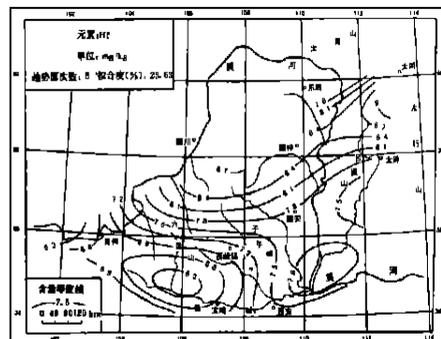


图 3 黄土高原土壤钪含量趋势面等值线
Fig. 3 Trend surface isogram of Hafnium content in Loess Plateau

表 1 黄土高原土壤元素平均含量

Table 1 Average contents of the soil element in loess plateau

mg/kg

元素 Elements	表层土壤 Topsoil		黄土母质 Loess parent		元素 Elements	表层土壤 Topsoil		黄土母质 Loess parent		
	平均值 Mean	标准偏差 S. D.	平均值 Mean	标准偏差 S. D.		平均值 Mean	标准偏差 S. D.	平均值 Mean	标准偏差 S. D.	
常量元素(%) Const. Ele.	Al	6.33	0.25	6.21	0.45	Lu	0.416	1.14	0.417	1.12
	Ca	4.31	1.86	6.02	1.48	Mn	609	1.17	592	1.15
	Fe	2.95	0.55	3.30	0.34	Nd	31.20	1.22	30.20	1.32
	K	2.06	1.42	1.94	0.26	Ni	29.60	1.17	29.30	1.18
	Mg	1.25	0.20	1.35	0.19	Pb	22.60	1.20	21.70	1.20
	Na	1.30	0.19	1.30	0.18	Rb	93.70	1.15	92.40	1.15
	Ti	0.34	0.06	0.327	1.15	Sb	0.974	1.43	0.944	1.45
微量元素 Trace Ele.	As	11.80	1.20	11.60	1.19	Sc	11.10	1.17	11.20	1.15
	Ba	486	1.14	476	1.11	Se(Lg/kg)	115	1.62	64.40	1.39
	Cd	0.102	1.24	0.102	1.26	Sm	5.47	1.19	5.43	1.16
	Ce	63.20	1.16	62.70	1.12	Sr	161	1.55	205	1.45
	Co	11.70	1.20	12.00	1.20	Ta	1.02	1.17	0.998	1.11
	Cr	66.70	1.15	65.70	1.12	Tb	0.664	1.26	0.871	1.26
	Cs	6.96	1.31	6.97	1.25	Th	11.30	1.19	11.30	1.15
	Cu	20.90	1.22	20.60	1.21	U	2.41	1.23	2.57	1.21
	Eu	1.15	1.13	1.14	1.10	V	74.80	1.16	71.90	1.16
	F	437	1.20	429	1.23	Yb	2.74	1.16	2.62	1.29
	Hf	7.48	1.24	6.93	1.16	Zn	66.10	1.37	63.10	1.34
	Hg(Lg/kg)	18.20	1.96	12.9	1.46	Zr	236	1.32	206	1.33
	La	34.30	1.17	34.00	1.12					

注: 元素含量值引自田均良、彭祥林编著的《黄土高原土壤地球化学》, 科学出版社, 1994。

运过程中不同粒度黄土物质分选沉降的影响^[4]。

2.3 多因素复合影响型

该组元素在土壤中含量的地域分布类型,已不像上述元素那么突出地受粒度的影响,更明显地表现出还受生物气候环境、土壤发生过程等多因素的复合影响特征。

土壤中 Ca、Na、Sr 等易迁移的元素含量的地域分异,表现为受到雨量和粒度组成的双重影响。这些元素在一定程度上多和土壤砂粒含量相关(Na、Sr),或和粘粒负相关(Ca),且趋势面的等值线变化总趋势和砂粒相关型元素相似(图略),呈自北向南、西北向东南含量降低的总趋势。这可能是由于黄土高原土壤砂粒含量由高变低,和气候由干旱到湿润的演变方向一致,但趋势面分析拟合度比 Zr、Hf 较差,等值线曲率变化也比 Zr、Hf 复杂。说明了该组元素在土壤中的丰缺主要决定于在成土过程中元素淋溶强度的差异,其形成原因和砂粒相关型有本质上的区别。

在黄土高原的成土环境中, Zn、Se、Cd、Hg、U 和 Sb 等元素,表现出较为活跃的表生地球化学行为。这可能是由于这些元素多属于亲硫元素,黄土高原的氧化环境和碱性条件有利于其在土壤剖面上的迁移和积聚^[5]。它们的地域分异,仅在高原北部略呈粘粒相关型,在其它区域则截然不同,不再单纯随土壤粒度含量变化,而表现为明显地受生物气候环境、成土强度及土壤性质的复合影响。在此,仅以 Se 为例,显示其土壤含量地域分异特征(图 4)。土壤表层的 Se 含量,在陕北、晋西北地区仍保持了和粘粒相似的分布趋势,但在高原西北部的荒漠草原地区,Se 的含量最高,而在中部地区出现了和缺硒地方病区相吻合的东北—西南走向的土壤低硒带。低硒带的成因,除了和土壤质地有关外,元素生物地球化学行为、氧化还原条件及土壤其它特征均可能产生影响。其它几个元素虽和 Se 的分异模式不尽相同,但均表现出其分布受多因子综合影响的共同特征。该类元素且均和粘粒含量呈弱的正相关($r < 0.4$)。

上述土壤粒度相关分异类型的划分仅是为了便于讨论。事实上,土壤中所有元素的分布均在不同程度上直接或间接地受到了母质、生物气候环境及成壤过程等多因子的复合影响。

3 结论

黄土高原土壤中的大多数元素含量和黄土母质接近,且具有粒度相关型的地域分异规律,反映了在黄土高原干旱、半干旱的环境中,化学风化总体上较弱的成土特点。这些元素的地域分布也为我国黄土的风成学说提供了元素地球化学的佐证。

在黄土高原成土环境中,仅有少数元素的表生地球化学行为较为活跃,使其在土壤中的含量及地域分异特征除土壤粒度外,还明显地表现出受生物气候环境及成土强度的影响。

参考文献:

[1] 李雅琦,焦菊英,刘普灵. 利用微机制作土壤环境研究中的趋势面等值线图[J]. 干旱环境监测,1996,10(4): 193~198.

[2] 李雅琦,焦菊英. 黄土高原表层土壤元素含量趋势面等值线图图集[A]. 黄土高原土壤地球化学[M]. 科学出版社,1994: 298~321.

[3] 朱显谟. 黄土高原的形成与整治对策[J]. 水土保持通报,1991,11(1): 1~8.

[4] 田均良,李雅琦,陈代中. 中国黄土元素背景值分异规律研究[J]. 环境科学学报,1991,11(3): 253~262.

[5] 田均良,刘普灵,李雅琦. 黄土高原土壤剖面元素相对迁移强度初探[J]. 水土保持研究,1995,2(4): 51~55.

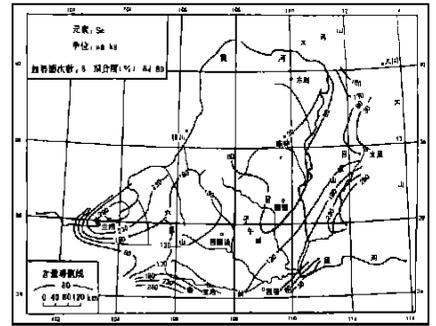


图 4 黄土高原土壤硒含量趋势面等值线
Fig. 4 Trend surface isogram of Selenium content in Loess Plateau