

# 海南岛土壤中若干元素的因子分析

戴昭华 黄衍初

(中国科学院环境化学研究所)

## 摘 要

本文用因子分析方法对海南岛土壤中若干元素的分布规律进行初步探讨。通过 Q 型分析表明,该地区土壤样品主要分成两大类。一类为富含铁族元素,另一类为铁族元素含量相对较低的。由 R 型分析结果表明,除铁族元素为一类外,易淋溶元素镉、抗风化元素锆分别各成一种类型。说明土壤中元素分布与成土母质类型和元素地球化学性质有关。

土壤中的元素主要来源于成土母质<sup>[1]</sup>。但在风化成土过程中,由于元素的地球化学性质各异,因此元素的迁移富集能力也各不相同。为了寻求土壤中元素的分布规律,因子分析可能是一种良好方法。因子分析属多元统计分析方法的一种,在地质上已被广泛应用于判断地质成因、元素间的相互关系等<sup>[2]</sup>。本文主要根据因子分析方法,对海南岛土壤中若干元素的分布规律进行初步探讨。

## 一、样品来源及分析方法

根据海南岛的土壤及母质类型,在远离污染源的地方,按野外观察划分自然层次,采集不同类型的土壤样品。在该地区采集由近代沉积物母质发育的水稻土 3 个剖面,燥红壤 2 个剖面,滨海砂质盐土 1 个剖面;花岗岩母质发育的赤红壤 3 个剖面;由花岗岩、火山碎屑岩和流纹岩发育的山地黄壤 3 个剖面;由玄武岩母质发育的砖红壤 2 个剖面;由硅质灰岩母质发育的褐色石灰土、石英岩母质发育的燥红壤、变质砂页岩母质发育的赤红壤各一个剖面;由花岗岩母质发育的山地红黄壤 1 个剖面。

将采集的样品经自然风干后用木棒压碎,过尼龙筛去除大于 1 毫米的砾石及草根等杂物,再用玛瑙研钵研细至 100 目作为备用样品。

土壤中 Co, Ni, Li, Cd, Mn, Cu, Cr, Pb, Be 等元素用原子吸收法测定; Fe, Zn, Sr, Zr 用 X 射线荧光法测定; As 用银盐比色法测定; Hg 用冷蒸气原子吸收法测定。

## 二、因子分析结果与讨论

土壤中元素的分布规律受多种因素的控制。因此,通过对若干个样品中某些元素的含量观察,用因子分析方法得出较少的有代表性的因子,为土壤中元素分布的多种控制因素提供主要信息。

因子分析方法可以通过检验变量之间(R型)或样品之间(Q型)的关系来达到。因此,本文根据因子分析方法原理<sup>[6]</sup>,对海南岛 18 个土壤剖面表土中 15 个元素含量进行计

表 1 海南岛土壤 Q 型因子分析初始因子负载及土壤和母质类型

Table 1 Original factor loading of Hainan Island soil by Q mode

样品号 Sample no.	土壤类型 Soil type	母质 Parent	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
1	水稻土	冲积物	0.996	-0.017	-0.085
2	赤红壤	花岗岩	0.969	-0.215	0.078
3	赤红壤	花岗岩	0.969	0.127	-0.208
4	山地红黄壤	花岗岩	0.992	-0.117	-0.001
5	山地黄壤	流纹岩	0.966	-0.238	0.051
6	山地黄壤	火山碎屑岩	0.948	0.248	0.017
7	山地黄壤	花岗岩	0.950	-0.228	0.091
8	赤红壤	花岗岩	0.982	-0.182	-0.008
9	褐色石灰土	硅质灰岩	0.828	0.543	-0.046
10	水稻土	滨海沉积物	0.989	-0.076	0.000
11	燥红壤	滨海沉积物	0.987	0.027	-0.120
12	燥红壤	滨海沉积物	0.966	-0.240	-0.030
13	燥红壤	石英岩	0.996	-0.017	-0.083
14	赤红壤	变质粉砂岩	0.969	0.185	0.135
15	砖红壤	玄武岩	0.697	0.701	0.124
16	砖红壤	玄武岩	0.808	0.581	0.026
17	水稻土	滨海沉积物	0.937	-0.339	0.060
18	滨海沙质盐土	海滩沉积物	0.914	-0.394	0.047

表 2 海南岛土壤 R 型因子分析初始因子负载

Table 2 Original factor loading of Hainan Island soil by R mode

元素 Element	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>
Cu	0.954	-0.138	-0.084	-0.030	0.057
Co	0.783	-0.220	0.420	0.033	-0.064
Pb	0.505	0.119	-0.683	-0.101	-0.291
Cd	0.435	0.429	-0.615	-0.197	0.246
Be	0.610	0.594	-0.055	0.315	0.106
As	0.456	0.073	-0.306	0.618	0.275
Cr	0.946	-0.161	0.072	-0.142	-0.058
Li	0.056	0.448	0.323	0.140	-0.748
Fe	0.853	-0.298	0.338	-0.127	-0.059
Zn	0.880	0.057	-0.119	-0.084	0.081
Sr	-0.023	0.927	0.066	-0.243	-0.073
Zr	-0.424	0.228	0.459	-0.361	0.445
Mn	0.643	0.415	0.391	-0.285	0.140
Ni	0.948	-0.215	0.121	-0.101	-0.012
Hg	-0.178	-0.277	-0.554	-0.549	-0.176

算,分别求出相似系数 Q 和相关系数 R,用雅可比法<sup>[3]</sup>求得特征值与特征向量,并求出 Q 型和 R 型初始因子负载列于表 1 和表 2,用正交的方差最大轴旋转法求得该区土壤相应的最终因子负载列于表 3 和表 4。Q 型因子分析得出 3 个因子(按 F 检验,  $\alpha < 0.005$ ),方差累计贡献率为 98.96%。R 型因子分析求出 5 个因子 ( $\alpha > 0.1$ ),方差累计贡献率为

86.16%。由表 3 可以看出 Q 型分析的第一主因子以 18 号样品为代表性样品；第二主因子的代表性样品为 15 号，说明可能代表两种不同的地质及区域作用过程。根据这两个样品的化学成分(见表 5)来看，它们之间显然不同，15 号样品中富含 Cu, Co, Cr, Fe, Zn, Mn 等元素，而 18 号样品中这些元素的含量比 15 号样品中相应元素低约 10 倍。15 号样品是采自玄武岩发育的土壤，而 18 号样品是采自沉积物母质发育的土壤。玄武岩中的 Fe, Co, Ni, Cr 等元素的含量相对较高，因此，由此发育的土壤中这些元素的含量可能仍然较高。说明土壤中元素含量与成土母质类型有一定关系。

根据 Q 型分析的因子负载作出样品分类图(图 1)，可以得出 9, 15, 16 号样品为一种类型，即土壤样品中 Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cr, Mn 等元素的含量是较高的。其余样品为另一种类型，但其中 3, 6, 14 号样品又有一些差异，可称为过渡型。

表 3 海南岛土壤 Q 型因子分析最终因子负载

Table 3 Final factor loading of Hainan Island soil by Q mode

样品号 No. sample	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>
1	0.822	0.544	-0.162
2	0.923	0.375	0.006
3	0.712	0.641	-0.284
4	0.881	0.464	-0.075
5	0.931	0.353	-0.020
6	0.639	0.741	-0.059
7	0.915	0.355	0.021
8	0.909	0.405	-0.081
9	0.369	0.913	-0.117
10	0.855	0.496	-0.074
11	0.788	0.574	-0.196
12	0.928	0.347	-0.101
13	0.822	0.545	-0.159
14	0.698	0.708	0.058
15	0.181	0.978	0.061
16	0.335	0.937	-0.044
17	0.965	0.254	-0.007
18	0.977	0.195	-0.018
贡献率(%) Var.	88.37	9.85	0.74
特征值 Eigen value	15.906	1.773	0.133

由 R 型因子分析的最终因子负载结果(见表 4)可以看出，第一主因子中是以铁为代表性元素，因子负载大于 0.5 的元素有铁、镍、铬、钴、锌、铜、锰七种元素。第二主因子中的代表性元素是镉，因子负载大于 0.5 的元素有镉、锰、镉三种。第三主因子中的代表性元素是铅，且是唯一因子负载大于 0.5 的。但在第三主因子中，出现明显与铅相抗的元素

表 4 海南岛土壤 R 型因子分析最终因子负载  
Table 4 Final loading of Hainan Island soil by R mode

元 素 Element	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>
Cu	0.863	0.018	-0.339	0.259	0.112
Co	0.882	-0.079	0.131	0.145	-0.141
Pb	0.224	0.078	-0.873	0.090	-0.050
Cd	0.116	0.505	-0.651	0.234	0.321
Be	0.310	0.481	-0.204	0.668	-0.156
As	0.163	-0.102	-0.243	0.803	0.155
Cr	0.936	0.033	-0.249	0.103	-0.002
Li	0.020	0.200	0.003	0.001	-0.919
Fe	0.970	-0.078	0.024	0.019	-0.049
Zn	0.746	0.203	-0.362	0.258	0.099
Sr	-0.188	0.891	-0.062	0.026	-0.306
Zr	-0.224	0.438	0.616	-0.284	0.263
Mn	0.646	0.629	0.125	0.082	-0.069
Ni	0.958	-0.015	-0.183	0.132	0.028
Hg	-0.153	-0.129	-0.541	-0.595	0.246
贡献率(%) Var.	43.15	14.33	13.69	7.87	7.11
特征值 Eigen value	6.473	2.150	2.054	1.180	1.067

表 5 代表性土壤样品中某些元素的含量 (ppm)

Table 5 Content of some elements in typical soil samples of Hainan Island (ppm)

元 素 Element	样 品 号 Sample no.		元 素 Element	样 品 号 Sample no.	
	15	18		15	18
Cu	48.0	4.4	Fe	165000	12500
Co	18.0	1.2	Zn	126	15.5
Pb	32.0	5.0	Sr	3	16
Cd	0.07	0.04	Zr	230	1120
Be	0.48	0.08	Mn	595	60.5
As	6.38	8.90	Ni	162	12.7
Cr	275	21	Hg	0.012	0.005
Li	19.0	22.5			

铅、镉、汞。用第一主因子负载对第二主因子负载作图(图 2), 可以看出, 铁、钴、镍、铬、铜、锌等元素归为一种类型, 这个类型中可能还包括锰, 这与 Q 型分析结果较一致。淋溶元素铍和抗风化元素锆以及轻金属元素锂、铍和准金属元素砷, 它们之间几乎无关联, 且与其它元素之间也几乎无关联。元素铅、镉、汞三种元素互相无关。因此, 可以认为, 土壤中元素的分布规律是不完全相同的。

土壤中元素的分布规律与元素地球化学性质有关。即使在地球化学中属同类元素，它们的地球化学性质也不完全相同。因此，在岩石风化成土过程中，元素会产生分异现象。地球化学性质相近的元素，有相近的迁移与富集规律，在土壤中可能表现有一定的联系。

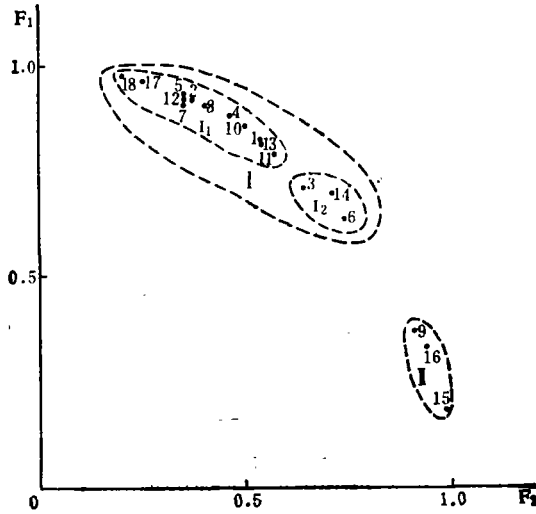


图 1 海南岛土壤样品的分类

Fig. 1 Classification of soil samples of Hainan Island

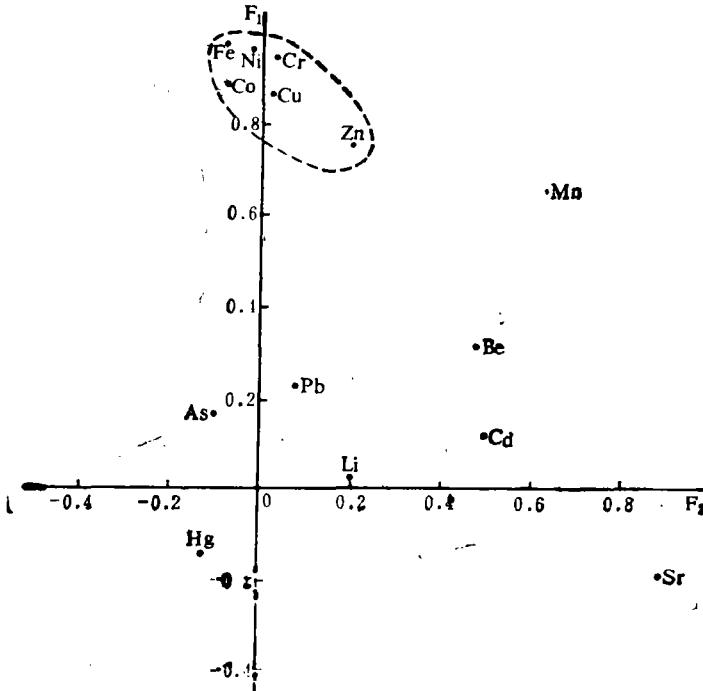


图 2 海南岛土壤元素间的关系

Fig. 2 Relationship among soil elements of Hainan Island

铁、钴、镍、铬、锰属亲铁元素<sup>[4]</sup>, 它们的地球化学性质较接近, 尤其是  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  和  $\text{Cr}^{3+}$ , 它们的离子半径和负电性都很接近, 因此, 在海南岛土壤中这些元素之间表现有密切关系, 它们可以出现在同一主因子中。  $\text{Zn}^{2+}$  的离子半径与  $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Co}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$  的离子半径接近, 且在表生作用下,  $\text{Zn}^{2+}$  常可以替换矿物晶格中的  $\text{Fe}^{2+}$ 。因此, 土壤中锌与铁族元素之间存在较好的联系<sup>[5]</sup>, 可出现在同一主因子中。铅、镉、汞和铊、铜同属亲硫元素, 但除锌和铜的地球化学性质相近外, 其它元素之间的地球化学性质差异较明显, 尤其在表生作用下, 它们的迁移与富集能力有差异。因此, 在土壤中铅、镉、汞之间几乎无明显的联系, 而且与铜和铊之间也无明显联系。所以在海南岛土壤中它们出现在同一主因子中的可能性几乎不存在。锆在地质体中常以抗风化的硅酸盐和氧化物形式存在, 在成土过程中, 抗风化物易残留在原地和近处富集, 因此, 在该地区土壤中的 15 个元素中, 它单独出现在另一主因子中。铈和锆的地球化学性质相反, 所以又出现在另一主因子中。

### 参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1980: 中国土壤。科学出版社。
- [2] 中国科学院地质研究所编著, 1977: 数学地质引论。地质出版社。
- [3] 曹志浩等著, 1979: 矩阵计算和方程求根。人民教育出版社。
- [4] 南京大学地质系编, 1979: 地球化学。科学出版社。
- [5] 戴昭华、黄衍初, 1984: 天津地区土壤中若干金属元素间的相关性。土壤学报, 第 21 卷 3 期, 314—318 页。
- [6] Paut Horst, 1965: Factor Analysis of Data Matrices. Holt, Rinehart and Winston, INC.

## FACTOR ANALYSIS FOR SOME ELEMENTS IN SOIL OF HAINAN ISLAND

Dai Zhaohua and Huang Yanchu

(*Institute of Environmental Chemistry, Academic Sinica*)

### Summary

The distribution of some elements in soil of Hainan Island was studied with method of factor analysis based on the analytical data of the samples collected from the area. The contents of Co, Ni, Cd, Li, Cu, Cr, Mn and Pb were determined by AAS, those of Fe, Zn, Sr, and by XRF, those of As by Ag-DDTC spectrophotometry and that of Hg by cold vapour atomic absorption method.

The data from Q mode analysis showed that the soil samples were distinguished into two main types, i. e. that with higher contents of Fe, Co, Ni, Cr, Mn, Cu, and Zn and that with lower contents of these elements. While the data from R mode analysis showed that the soil samples were distinguished into several types including that with higher contents of the elements of iron family and those with higher contents of Sr, Zr, etc.