

江苏海涂土壤粘土矿物的数值分类*

易淑棻 陈邦本 王绍华

(南京农业大学)

摘 要

根据江苏海涂土壤及其陆源物质粘土矿物的相对含量、结晶程度等四个性状的聚类分析,将江苏海涂土壤的成土母质分为三大陆源类型:黄河沉积类;长江沉积类和沂沭河沉积类。分类结果与土壤的地理位置有良好一致性。说明在测定数据正确、选用的性状和聚类统计量适当的情况下,对粘土矿物含量和性状进行聚类分析,可得到比较客观和正确的分类,是粘土矿物研究中可采用的分类方法。

在海涂资源调查研究中常以粘土矿物组成和含量作为海涂土壤物质来源和分区的依据^[1-3]。但这些文献都是对粘土矿物的 X 射线衍射图和有关数据作一般性直觉的类比分析,只能粗略地阐述为“相似”、“不同”、“较多”、“较少”,没有确切的数量指标。而且因不同作者的主观性,常对类似的资料作出不同的推断和结论。为了确切说明江苏海涂物质来源和分布范围,本文分析了江苏沿海南起长江口北至绣针河口的海涂土样和其陆源物质——长江、黄河、沂沭河沉积物的粘土矿物组成,并对其进行聚类分析,使一般性类比中难以辨认的相似点或差距得到较好的显现,从而得到比较客观和确切的数据分类,现介绍如下。

一、样品和方法

海涂土样采自启东、如东、东台、大丰、射阳、滨海、响水、赣榆 8 县海堤外平均高潮线以上的滩涂部位,其中 6 号样采自岸外的东沙。样点位置基本覆盖了江苏自南到北的整个海岸线。典型长江沉积物采自扬中县和上海崇明县;黄河沉积物采自河南封丘;沂沭河沉积物采自赣榆县堤内和沭阳县;海州湾基岩风化物采自连云港云台山。各土样的分析号、采样号和分布位置见表 1。

将土样先氧化有机质,用酸洗除碳酸钙,以碳酸钠分散土样,用沉降法提取 $< 2\mu$ 胶体。胶体去除游离氧化铁,经 $MgCl_2$ 和甘油水溶液处理,制成定向薄膜,在 Philips X 射线衍射仪上扫描,得出 X 射线衍射图谱。根据 Biscayc 衍射峰强度对比法^[10]求出粘土矿物的相对含量;根据 Biscayc 谷峰比法和 Dunoyer de Segonzac 的锐度指数法^[4]测定蒙脱石和水云母的结晶程度。

选取能反映海涂土壤物质来源差异的粘土矿物的有关性状,进行主成分分析和聚类分析,对土样进行聚类,作出聚类图^[9]。

* 土化系 85 届唐晓冬、张毅同学参加部分采样和分析工作;杨德涌同志提供封丘土样 X 射线衍射图;陈铭达老师清绘插图。谨此一并致谢

表 1 样品号及地点
Table 1 Sample No. and sampling localities

分析号 Analysis No.	土样号 Sample No.	采样深度 (cm) Depth	采样地点 Sampling locality	土样类型 Sample type
1	1-1	5—20	扬中红星大队	长江沉积物
2	2-1	5—20	崇明长征农场	长江沉积物
3	701	0—15	启东兴垦农场堤东 250 米	海涂
4	3-1	5—20	如东瓦仔港东南 2000 米	海涂
5	308	17—59	东台瓣门口堤东 300 米	海涂
6	6-1	5—20	东沙(东台河口岸外沙州)	海涂
7	019	0—18	大丰围海闸堤东 1000 米	海涂
8	212	20—60	射阳大喇叭新堤东 500 米	海涂
9	5-1	5—20	滨海扁担港口	海涂
10	403	13—50	响水五圩堤外 150 米	海涂
11	603	10—30	赣榆朱翟河口	海涂
12	11-1	5—20	赣榆民主圩东北 500 米	海涂
13	8-1	0—16	赣榆沙河高原大队	新沭河冲积物
14	9-1	10—20	赣榆沙河辉埠大队	新沭河冲积物
15	7-1	5—20	沭阳南关荡	沂沭河冲积物
16	封 10	48—115	河南封丘潘店	黄河沉积物
17	10-1	5—20	云台山	片麻岩风化物

二、结 果

(一) 主要粘土矿物类型

所有土样的 X 射线衍射图列于图 1。由图可见,所有海涂和河流沉积物均具有明显的 17.6—19.2 Å、9.93—10.0 Å、7.08—7.13 Å、4.95—5.0 Å、4.71 Å、3.53 Å 和 3.33 Å 的衍射峰(在 2θ 24—26° 进行 0.25°/分的慢扫描, 3.53 Å 峰可分为 3.58 Å 和 3.53 Å 两个峰),说明所有海涂和河流沉积物均含有蒙脱石、水云母、高岭石和绿泥石。各衍射图中 10 Å、5 Å、3.33 Å 三个峰齐全,峰高突出,衍射强度大,说明均以水云母为主。这种水云母-蒙脱-绿泥石-高岭石的矿物组合,与已报道的江苏、浙江海涂以及海洋沉积物粘土矿物的一般组成是一致的^[1,6,7]。

云台山片麻岩风化物(17号)与所有海涂图谱明显不同,其 10 Å 峰较弱,18 Å 峰极弱,14 Å 峰较强,并有 12 Å 的弱峰,说明其水云母比海涂土样少,蒙脱石极少,而以 14 Å 为特征峰的蛭石较多,并可能有黑云母与蛭石的混层矿物^[8]。

(二) 粘土矿物的相对含量和结晶程度

各土样水云母、蒙脱石、高岭石+绿泥石含量和水云母锐度指数、蒙脱石的 v/p 列于表 2。它们的平均值、标准差和变异系数列于表 3。从表 3 可见,所有海涂和河流沉积物均以水云母为主($\bar{x} = 67.00\%$),但各土样间的差异较小($C.V. = 5.69\%$),显然水云母含量不宜作为江苏海涂陆源类型和分区的参数。蒙脱和高岭石+绿泥石的含量较少,但不同海涂和陆源物质间的差异明显($C.V.$ 分别为 36.56% 和 23.41%),蒙脱石由北向南递

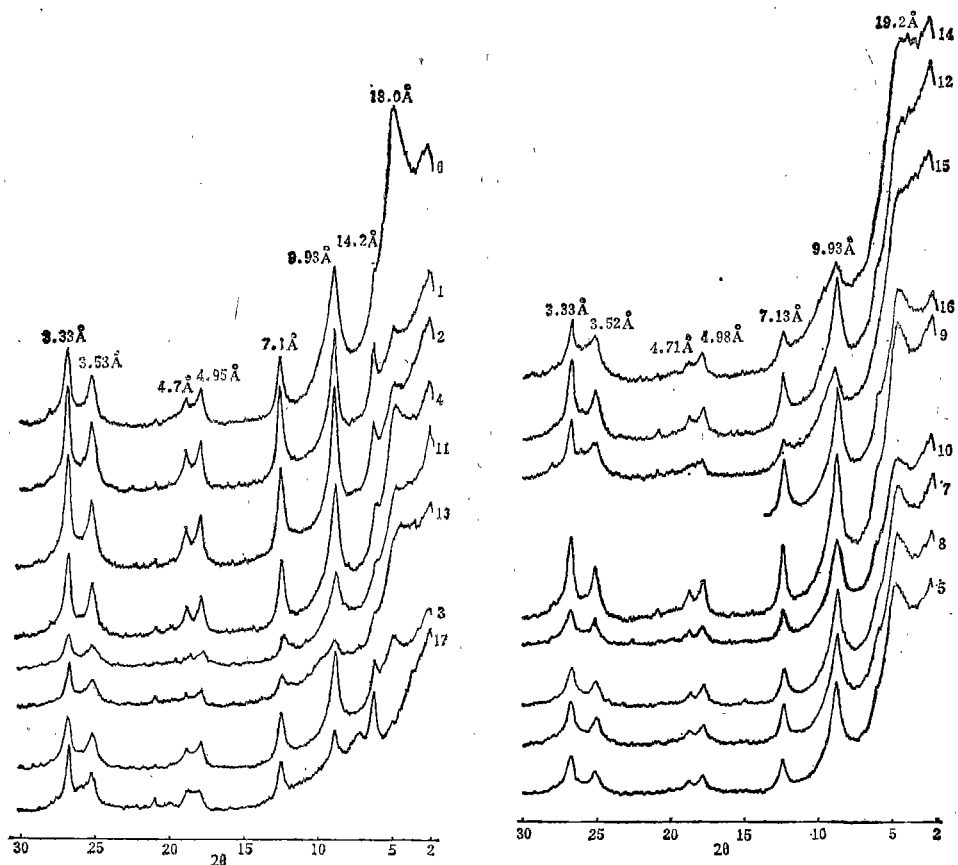


图1 各土样 (<math> < 2\text{m}\mu </math>) X 射线衍射图谱

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of soils

减,距黄河沉积物愈远愈少;高岭石+绿泥石则从南向北,距长江愈远愈少。水云母锐度指数也有明显差异 ($C. V. = 32.42\%$),长江沉积物及其邻近海涂指数小,显示结晶较好;黄河特别是沂沭河沉积物及邻近海涂的指数增大,水云母结晶较差。蒙脱石 v/p 土样间差异更大 ($C. V. = 150\%$),沂沭河沉积物及其邻近海涂的 v/p 特别小,表明它们的蒙脱石晶形极差。由此可见,蒙脱石含量、高岭石+绿泥石含量、水云母锐度指数和蒙脱石 v/p 四组数据体现了江苏海涂物质来源和分区上的差异,故选用这四个性状进行主成分分析和聚类分析。云台山片麻岩风化物(17号)的矿物类型与所有海涂截然不同,也不适宜用 Biscaye 法计算含量,故不列入聚类分析。

(三) 粘土矿物含量和结晶度的主成分分析和聚类分析

各土样(1—16号)蒙脱石含量、高岭石+绿泥石含量、水云母锐度指数和蒙脱石 v/p 四个性状间的相关矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} 1.00 & -0.77 & 0.80 & -0.16 \\ -0.77 & 1.00 & -0.37 & 0.15 \\ 0.88 & -0.37 & 1.00 & -0.21 \\ -0.16 & 0.15 & -0.21 & 1.00 \end{pmatrix}$$

表 2 各土样粘土矿物相对含量和结晶程度

Table 2 The relative content and crystallinity of clay minerals

分析号 Analysis No.	土样号 Sample No.	相对含量 ¹⁾ (%) Relative content			水云母锐度指数 ²⁾ (mm) Sharp index of hydrous mica	蒙脱石 ³⁾ v/p Montmorillonite
		水云母 Hydrous mica	蒙脱石 Montmorillonite	高岭石+绿泥石 Kaolinite + Chlorite		
1	1-1	68.2	5.0	26.8	3.8	0.18
2	2-1	71.9	4.8	23.4	4.0	0.17
3	701	71.1	7.6	21.3	4.9	0.28
4	3-1	68.7	11.6	19.7	4.9	0.23
5	308	68.2	18.5	13.2	6.0	0.30
6	6-1	64.6	19.3	16.1	6.0	0.53
7	019	68.6	19.0	12.4	5.5	0.28
8	212	66.0	19.4	14.6	6.0	0.29
9	5-1	67.7	15.1	17.2	5.5	0.30
10	403	72.1	15.5	12.4	6.8	0.22
11	603	68.1	17.7	14.2	5.5	-0.21
12	11-1	68.3	15.8	15.9	5.6	-0.37
13	8-1	59.4	22.8	17.8	9.5	0.12
14	9-1	57.9	25.0	17.1	12.0	0.11
15	7-1	64.5	22.6	12.9	8.4	-0.31
16	封 10	66.7	16.7	16.6	5.8	0.45
17	10-1	—	—	—	—	—

- 1) Biscaye 衍射峰强度法。计算结果与 Горбунов 的 K_2O 含量法相近,对海涂土样作为半定量是可用的。该法研究样品亦为海洋沉积物。
 2) Dunoyer de Segonzac 锐度指数,指 10\AA 峰半高宽毫米数。
 3) 指 18\AA 峰谷深(v)与峰高(p)之比。

表 3 各土样(1—16)粘土矿物含量与性状的平均值

Table 3 The mean values of content and properties of clay minerals

项 目 Item	水云母含量 Content of hydrous mica	蒙脱石含量 Content of montmorillonite	高岭石+绿泥石含量 Content of kaolinite + Chlorite	水云母锐度指数 (mm) Sharp index of hydrous mica	蒙脱石 v/p Montmorillonite
平均值 \bar{X}	67.00%	16.03%	16.98%	6.26	0.16
标准差 (S)	3.81	5.86	3.98	2.03	0.24
变异系数(C.V.)(%)	5.69	36.56	23.41	32.43	150

表 4 入选的特征值和特征向量

Table 4 Selected eigenvalues and eigenvectors

主成分 Principal component	1	2
特征值 (λ)	2.3745	0.9399
累计方差(%)	59	83
特征向量 (I)	-0.6277	0.1738
	0.5194	-0.1758
	-0.5385	0.0145
	0.2149	0.9689

表 5 16 个土样之间的几何距离 (D_{ij}^2)
Table 5 Geometrical distance between 16 soil samples

分析号 Analysis No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2	0.204														
3	1.069	0.345													
4	2.176	1.065	0.198												
5	11.201	8.449	5.381	3.516											
6	10.931	8.394	5.456	3.652	0.434										
7	11.163	8.402	5.342	3.486	0.006	0.538									
8	10.387	7.739	4.817	3.063	0.016	0.462	0.016								
9	6.162	4.207	2.163	1.061	0.781	0.928	0.799	0.591							
10	8.291	5.921	3.409	1.973	0.260	0.839	0.231	0.148	0.276						
11	9.672	7.514	5.768	5.022	6.105	9.150	5.761	5.712	5.591	4.459					
12	9.466	7.484	6.015	5.487	7.481	10.700	7.108	7.019	6.609	5.546	0.085				
13	8.124	5.929	3.983	3.051	3.385	5.654	3.139	3.071	2.979	2.140	0.422	0.805			
14	8.701	6.396	4.299	3.253	3.104	5.379	2.862	2.823	2.916	1.987	0.503	0.952	0.017		
15	13.333	10.618	8.167	6.895	5.751	9.111	5.393	5.498	6.325	4.619	0.381	0.700	0.774	0.706	
16	8.226	6.012	3.552	2.121	0.466	0.208	0.533	0.380	0.211	0.408	7.365	8.652	4.264	4.100	7.758

用 Jacobi 法求矩阵 R 的四个特征值, 从中选取两个较大的特征值及相应的特征向量 (表 4)。表 4 中第 1 主成分构成较大的变异, 其方差贡献为 59%, 对应的载荷量以蒙脱石 v/p 较小, 其他三个性状数值接近, 表明该主成分主要反映了蒙脱石含量、高岭石+绿泥石含量和水云母的锐度指数; 第 2 主成分占总变异的 24%, 从载荷量看, 主要是由蒙脱石 v/p 表现的。

根据特征值 λ_1 、 λ_2 和相应的特征向量以及土样四个性状的标准化值 a_{ij} , 由式 (1) 计算各土样 (i) 的第 1、2 主成分 \tilde{X}_{i1} 和 \tilde{X}_{i2} 。然后用式 (2) 计算 16 个土样间的几何距离 D_{ij}^2 , 列于表 5。表 5 第 1 竖行为各土样对典型长江沉积物 (1 号) 的距离, 第 15 横行为各土样对典型黄河沉积物 (16 号) 的距离。

$$\tilde{X}_{ik} = \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \sum_{i=1}^4 l_{jk} \cdot a_{ij} \quad k=1, 2 \quad (1)$$

$$D_{ij}^2 = \sum_{k=1}^2 (\tilde{X}_{ik} - \tilde{X}_{jk})^2 \quad (2)$$

根据表 5 各土样间距离对土样进行聚类。开始 16 个土样自成一类, 然后按距离最近的原则合并成新类, 再按 (3) 式重新计算新类间距离。

$$D_{jk}^2 = \frac{1}{N_j N_k} \sum_{i \in jk} D_{ik}^2 \quad (3)$$

D_{jk}^2 为第 j 类与第 k 类的几何距离, N_j 、 N_k 分别为第 j 类和第 k 类的样品数。

最后得出各土样在不同聚类水平上的聚类图 (图 2)。图 2 确切地将 16 个土样划分为长江、黄河和沂沭河三类沉积物。

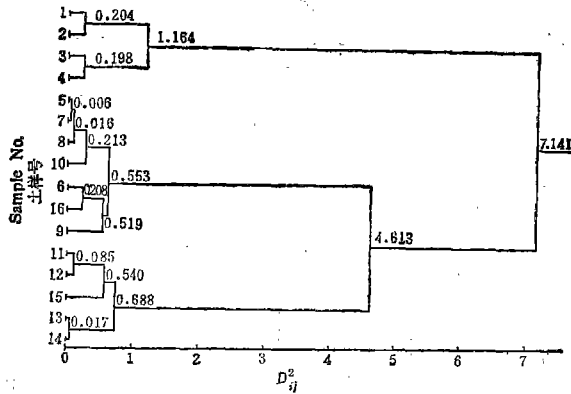


图2 土样粘土矿物含量和性状的聚类图

Fig. 2 Cluster diagram of clay mineral contents and properties of soil samples

三、讨论

以上聚类分析结果(表5、图2)可说明以下几点:

1. 土样2(崇明)、3(启东海涂)、4(如东海涂)与典型长江沉积物(1号,扬中)的距离较小(0.204—2.176),而其他土样与长江沉积物的距离陡增至6.162—11.201,形成一截然界线。土样〈1,2〉与〈3,4〉之间距离不大于1.164。显然,这四个土样为一类。说明如东至启东岸段海涂的物质来源主要是长江沉积物。该岸段比古长江水下三角洲的范围小得多,这是因为江苏沿海有一从北向南的沿岸泥沙流^[3],北部古黄河泥沙南侵覆盖在长江三角洲上,使表层长江沉积物的范围退缩。

2. 土样5(东台海涂)、6(东沙海涂)、7(大丰海涂)、8(射阳海涂)、9(滨海海涂)、10(响水海涂)与典型黄河沉积物(16号,河南封丘)的距离极小(0.208—0.533),而其他土样与黄河沉积物的距离都在2以上(2.121—8.652),又形成一个截然的分界。显然,土样〈5,6,7,8,9,10,16〉为一类。说明如东以北东台至响水岸段海涂粘土矿物类似黄河沉积物,黄河沉积物是该岸段海涂的主要物质来源。而且这7个土样之间的距离也极小,在逐级并类中最大距离不超过0.553,说明海涂之间的差异很小。该岸段占江苏海岸线的绝大部分,其范围和样点数都大于如东以南长江沉积区和北部的沂沭河沉积区,但土样间的差异却小于以上两地区,这说明古黄河沉积物对江苏海涂的影响不仅在范围上占绝对优势,而且在物质组成和性状上也排除和掩盖了其他陆源物质的干扰,表现得很均匀一致。

3. 海州湾地区赣榆县海涂(11、12号)与长江、黄河沉积物的距离均较大,而与沂沭河沉积物(13、14、15)距离较小,并类中最大距离不超过0.688。结果,土样〈11、12、13、14、15〉并为一类,说明海州湾海涂的物质来源主要是沂沭河沉积物。从表2也可看出海州湾海涂与沂沭河沉积物的蒙脱石的不良晶形非常一致,并迥然区别于其他土样。在进一步并类中,该类与黄河沉积物并为一类,从表2也看出其蒙脱石、高岭石+绿泥石含量接近黄河沉积类,这说明海州湾海涂也受到黄河沉积物的一定影响。由于云台山基岩风化物的粘土矿物类型和含量都完全不同于其他海涂土样,因此可认为云台山基岩风化

物对海州湾海涂的影响是很微小的。

4. 以上根据粘土矿物含量和性状的聚类分析结果与土样的地理位置相当一致, 不仅三类陆源物质及其邻近的海涂聚为一类, 在每类内部也清楚地反映出土样实际距离愈近, D_{ij}^2 也愈小。如 2 号(崇明)、3 号(启东)、4 号(如东)土样离长江的距离依次增加, 其 D_{ij}^2 也依次增加 (0.204—1.069—2.176); 同一县的土样, 如 11、12 号(赣榆)之间的 D_{ij}^2 很小 (0.085) 而聚在一组。另外, 很有意义的是地理位置相距颇远的 16 号(封丘、黄河沉积物) 与 9 号(滨海废黄河口) 间的 D_{ij}^2 仅 0.212 而聚在一起, 这虽与位置的远近不相一致, 但却正反映了它们历史上同为一河的亲缘关系。这均非巧合, 不通过聚类分析, 是不易显现的。

上述聚类结果(如东以北为黄河沉积物区, 其蒙脱石含量陡增)与野外调查(发现如东县小洋口以北海涂的膨胀性和粘性增加)也颇吻合。我们认为在测定数据正确, 选用的土样性状和聚类统计量适当的情况下, 通过主成分分析和聚类分析, 可以得到比较客观和确切的数值分类。它可以避免土壤性状一般性类比中的粗放性和主观性, 并能反映出土壤之间内在的不易显现的相互关系。

参 考 文 献

- [1] 陈邦本等, 1985: 江苏省海涂土壤的粘土矿物组成。南京农业大学学报, 第 1 期, 47—53 页。
- [2] 任美铎等, 1986: 近海与潮间带沉积。江苏海岸带和海涂资源综合调查报告, 64—87 页, 海洋出版社。
- [3] 任美铎等, 1986: 沿岸泥沙运动。江苏海岸带和海涂资源综合调查报告, 62—63 页, 海洋出版社。
- [4] 南京大学地质系, 1980: 粉晶 X 射线物相分析。193—197 页, 地质出版社。
- [5] 丁士晟, 1981: 多元分析方法及其应用。362—387 页, 吉林人民出版社。
- [6] 董永发等, 1981: 温州海岸沉积物特征。全国海岸带和海涂资源综合调查温州试点区报告文集。221—223 页, 华东师范大学出版社。
- [7] 郑洪汉等, 1982: 中国海洋沉积物粘土矿物初步研究。第三次全国第四纪地质会议论文集, 80—85 页, 科学出版社。
- [8] 许冀泉、熊毅等, 1983: 粘粒层状硅酸盐。土壤胶体第一册, 第 98 页, 科学出版社。
- [9] 刘来福, 1979: 作物数量性状的遗传距离及其测定。遗传学报, 6: 3, 249—255 页。
- [10] Biscaye, P. E., 1965: Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the atlantic ocean and adjacent seas and oceans Geol. Soc. Amer. Bull., 76: 803—832.

NUMERICAL CLASSIFICATION OF CLAY MINERALS IN BEACH SOILS OF JIANGSU

Yi Shuqi, Chen Bangben and Wang Shaohua

(Nanjing Agricultural University)

Summary

By the main component and cluster analysis of the properties, the relative contents, crystallinity etc. of clay minerals in beach soils and their parent materials, the parent materials of the soils were divided into three types, i.e. the deposits of Yellow River, Yangtze River and Yishu River. The results obtained well consisted with the geographical locations of the soil samples, which indicates that under the premises of correct analytic figures, proper selected properties and right grouping statistics, cluster analysis of the contents and characters of clay minerals is practicable for classification of clay minerals in soil.