

# 鄂、湘两省山地土壤粘粒矿物的研究\*

## I. 大别山南坡土壤中的粘粒矿物

徐凤琳 李学垣 黄巧云 曲晨晓 周家武

(华中农业大学)

### 摘 要

对大别山南坡不同海拔高度的7个土壤剖面的粘粒矿物组合、化学组成及表面化学特性进行了研究。结果表明:14埃矿物、高岭石是供试土壤的主要粘粒矿物,其次是水云母。山麓土壤中多蛭石,随海拔升高,蛭石迅速减少,14埃过渡矿物逐渐增多,山体中、上部出现少量绿泥石。随海拔升高,高岭石含量稍减,但结晶度增强、水云母含量增多,并有少量12埃混层矿物。三水铝石在海拔920米处的底土层中开始出现,并随海拔继续升高而增多。供试土壤粘粒化学组成和表面化学性质随海拔升高的变化与其粘粒矿物组成的变化相符。根据研究结果,主要讨论了14埃过渡矿物与蛭石的区分和三水铝石的成因。

近年来,热带、亚热带土壤粘粒矿物(包括氧化物)与胶体表面化学性质的研究引起了国内外学者的关注<sup>[1,2]</sup>。为了适应我国山区经济发展对山区土壤资源合理开发利用、综合治理和土壤系统分类的需要,我们对大别山、幕阜山、神农架、莽山等山系垂直带谱土壤的粘粒矿物组合及其表面特性进行了研究。本文主要报道湖北省境内大别山南坡土壤的研究结果:

## 一、供试土壤与测试方法

(一) 供试土样 采自大别山南坡,从山麓至最高峰(天堂寨)不同海拔高度的7个土壤剖面(表1)共20个土层。其地理位置系北纬 $30^{\circ}40'$ — $31^{\circ}10'$ ,东经 $115^{\circ}$ — $116^{\circ}$ ,属北亚热带季风气候区。母岩系太古界变质岩(主要为斜长片麻岩)和混合花岗岩(吕梁-燕山期酸性岩浆侵入所造成的)。大别山地区气候温和,雨量充沛,降水集中且强度大,4—8月降水量占年降水量的69%。从山麓至山顶,气温、降雨量、植被类型和土壤有明显的垂直变化(表1)。

(二) 测试方法 1.粘粒分离与提取:土样经 $0.5N NaOH$ 和超声波分散,用沉降法分离出小于2微米粘粒。一部分用氯化钙絮凝,制成钙质粘粒,另一部分用稀盐酸絮凝制成氢质粘粒。2.铁、铝的溶提:称取一定量的钙质粘粒,用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠-重碳酸钠法(DCB法)除去游离氧化物,收集浸提液供测铁和铝。另取一定量钙胶,用DCB法脱铁铝后,再用 $1N$ 柠檬酸钠溶液煮沸处理,收集浸提液并测定其中的铝。经上述两种浸提处理后的粘粒,洗净制成干样待测。3.粘粒的X射线衍射

\* 本项研究系国家自然科学基金资助课题。文稿承许冀泉研究员审阅并提出宝贵意见,特此致谢。

表 1 不同海拔高度的气候、植被概况及供试剖面点的位置

Table 1 The climatic condition and vegetation under different altitude and location, altitude for sampling

剖面编号 Profile No.	土壤类型 Soil type	采样地点 Location for sampling	海拔(m) Altitude	年平均温度(°C) Annual mean temperature	年降雨量(mm) Annual mean rainfall	植被 Vegetation
1	黄棕壤 Yellow brown earth	罗田城郊	120	16.4	1248	马尾松疏林 毛竹, 油桐 茶, 杉木
2		陈家坳	340			
3		天堂寨林场	620	14.2	1358	
4	山地黄棕壤 Mountain yellow brown soil	老寺庙	920	11.7	1617	落叶阔叶 混交林
5		杨家坳	1190			
6		杨家坳上面	1430			
7	山地灌丛草甸土 Mountain shrubby meadow soil	薄刀峰上面	1600	7.6	1959	草丛灌木

分析: 将各种处理的粘粒分别制成镁饱和和甘油扩展定向薄片和钾饱和定向薄片及其 300°C 和 550°C 加温片, 在 JDX-10P3A 型 X 射线衍射仪上用 CuK $\alpha$  辐射。在管压 34 千伏、管流 18 毫安条件下进行测定。4. 铁、铝含量的测定: 试铁灵铁铝联合比色法。5. 粘粒阳离子交换量: EDTA-铍盐法。6. 粘粒的化学全量分析: 氢质粘粒经 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 熔融后, 用重量法测硅、氟化钾取代 EDTA 容量法测铝。其它元素分别用原子吸收光谱法或比色法测定。

## 二、结果与讨论

### (一) 不同海拔高度土壤的粘粒矿物组合

从供试土壤粘粒镁饱和和甘油扩展定向片(简称镁片)和不同温度处理的钾饱和定向片(简称钾片)的 X 射线衍射图谱(见图 1)可以看出: 剖面 1 以蛭石(镁片衍射谱上有强的 14 埃峰, 而钾片衍射谱上 14 埃峰收缩, 10 埃峰增大)和结晶差的高岭(7.2—7.4 埃, 3.58—3.61 埃峰宽散, 550°C 加热处理后特征峰消失)为主, 有少量水云母(10.0 埃、5.0 埃、3.34 埃)。剖面 2、3 以高岭、14 埃过渡矿物(镁片上的 14 埃峰在钾片上无变化, 钾片加热 300°C 后 14 埃峰收缩变成了 14—10 埃宽峰, 钾片经 550°C 处理后, 收缩成 10 埃峰)和蛭石为主, 有少量水云母, 与剖面 2 相比, 剖面 3 蛭石含量较少, 高岭的结晶较好, 并有微量 12 埃混层矿物(14 埃矿物与水云母的混层)。剖面 4 以 14 埃过渡矿物、高岭石和水云母为主, 少量绿泥石(镁片上有 14.2 埃、7.1 埃、4.7 埃、3.56 埃峰, 钾片加热 550°C 后, 特征峰即 14 埃峰不变), 微量 12 埃混层矿物, 底土层中有微量三水铝石(4.86 埃、4.37 埃峰, 300°C 加热处理后, 特征峰消失)。剖面 5、6 以 14 埃过渡矿物, 水云母和高岭石为主, 少量三水铝石(底土层含量高于表土)和绿泥石及 12 埃混层矿物。剖面 6 的水云母含量比剖面 5 略多, 而三水铝石稍少。剖面 7 以结晶差的高岭、14 埃过渡矿物和水云母为主, 有一定量的三水铝石、12 埃混层矿物和少量绿泥石。

上述结果表明大别山南坡土壤粘粒矿物组合有以下特点: 主要粘粒矿物是 14 埃矿物和高岭石, 其次是水云母; 山麓土壤的 14 埃矿物是蛭石, 随着海拔升高, 蛭石迅速减少, 14

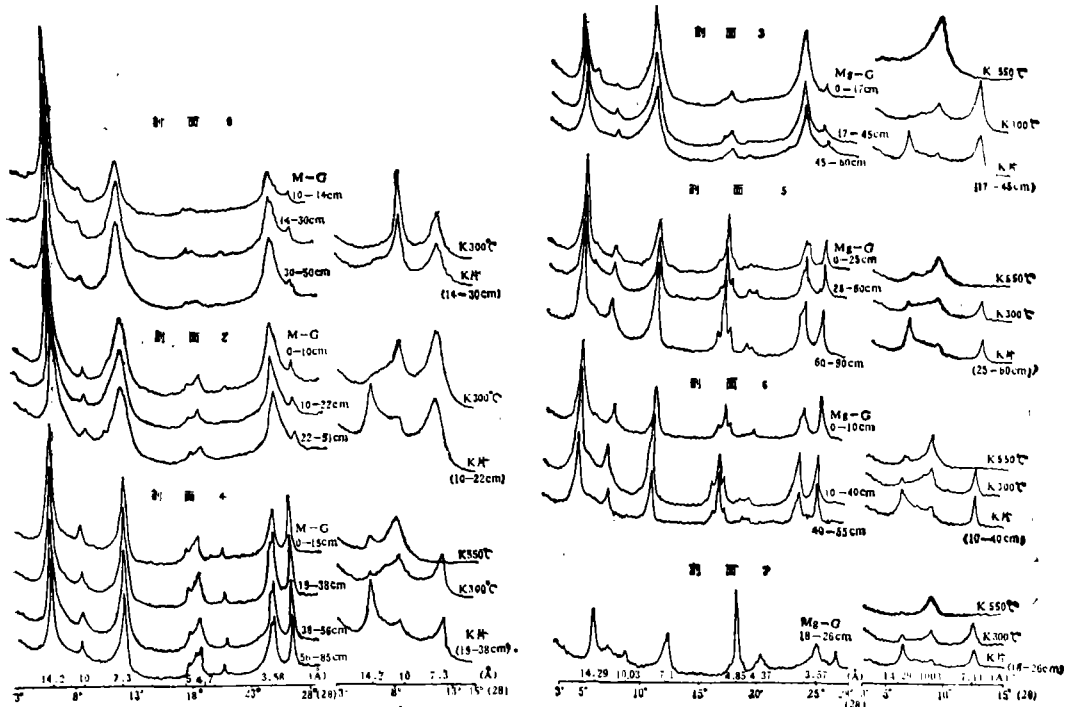


图 1 大别山不同海拔高度的土壤粘粒 X 射线衍射图谱  
 Fig. 1 X-ray diffraction patterns of the soil clay fractions under different altitude

埃过渡矿物逐渐增多,山体中、上部有少量绿泥石;随海拔上升,高岭石含量稍减但结晶度增强,水云母和 12 埃混层矿物增多;三水铝石在海拔 920 米处的底土层中开始出现,其含量大体随海拔升高而增多。

(二) 土壤粘粒矿物组合与粘粒的化学组成和粘粒阳离子交换量

表 2 的数据表明供试土壤粘粒的氧化钾含量大体上随海拔升高而增加,与粘粒中水云母含量随海拔升高而增加的趋势相吻合。剖面 1—3 粘粒的氧化镁含量随海拔升高而降低,与粘粒中蛭石含量的相应减少相一致。剖面 4—6 粘粒氧化镁含量随海拔升高而增加的趋势与其中绿泥石、12 埃混层矿物含量的增加趋势相符。粘粒的硅铝率随海拔升高而减小的趋势与粘粒中 14 埃过渡矿物和三水铝石(在海拔 920 米以上)随海拔升高而增多的变化趋势相一致。

剖面 1—4 粘粒的阳离子交换量依次降低,与它们蛭石含量的依次降低,14 埃过渡矿物含量的相应增高相符。至于剖面 5—6 粘粒阳离子交换量升高,则与其 2:1 型粘粒矿物含量稍高有关。

(三) 土壤的酸度与交换性质

从表 3 可知,剖面 1 土壤的 pH 值接近 6,交换性铝含量每百克土小于 1 毫克当量,交换性钙、镁占交换性盐基总量的 90% 以上,而交换性钾、钠仅占 3% 左右,盐基饱和。剖面 2、3、4 土壤的 pH 值依次略有降低,交换性铝大于 3 毫克当量,这些变化与土壤中 14 埃过渡矿物的相应增多有关。剖面 5、6 土壤的 pH 值在 5.4—5.5 之间,交换性铝含量比剖

表 2 土壤粘粒化学组成  
Table 2 The chemical composition of soil clay fraction

剖面号 Profile No.	深度 Depth (cm)	烧失量 Loss on ignition	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	FeO <sub>2</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	分子率 Molecular ratio		阳离子交换量 CEC meq/100g clay
													SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
1	0-14	15.55	41.02	22.48	12.33	1.98	0.16	0.43	3.14	1.16	0.39	0.56	2.30	3.10	44.15
	14-30	14.20	40.84	23.41	12.95	1.98	0.18	0.60	3.18	1.08	0.31	0.58	2.19	2.97	
	30-50	14.15	40.77	24.68	12.73	1.98	0.24	0.22	2.60	0.93	0.34	0.57	2.11	2.81	
2	0-10	16.96	40.14	24.93	11.41	1.76	0.08	0.10	2.55	1.04	0.28	0.47	2.12	2.74	33.03
	10-22	14.33	39.32	26.31	13.03	2.21	0.23	0.11	2.11	0.88	0.14	0.78	1.93	2.54	
	22-51	13.47	39.78	25.44	13.44	2.26	0.30	0.11	1.88	0.98	0.21	0.90	1.99	2.66	
3	0-17	17.78	37.06	27.86	12.98	1.47	0.026	0.04	1.03	1.03	0.08	0.403	1.74	2.26	24.56
	17-45	14.30	37.98	28.78	15.09	1.62	0.065	0.00	0.91	0.77	0.06	0.421	1.68	2.24	
	45-60	14.33	38.00	28.02	13.39	1.50	0.129	0.31	0.95	0.93	0.08	0.728	1.77	2.31	
4	0-15	16.36	41.41	26.52	8.02	0.87	0.032	0.02	1.68	1.87	0.17	0.125	2.38	2.85	22.51
	15-38	12.87	45.67	27.38	9.08	0.93	0.045	0.03	1.98	1.94	0.16	0.077	2.41	2.84	
	38-56	12.55	44.80	27.72	9.13	0.84	0.045	0.11	1.86	1.84	0.15	0.056	2.27	2.75	
	56-85	12.56	44.33	29.10	8.50	0.80	0.052	0.21	1.71	1.78	0.15	0.087	2.18	2.59	
5	0-25	27.84	31.81	25.91	7.73	1.25	0.045	0.13	2.13	1.77	0.23	0.822	1.75	2.09	28.72
	25-60	20.57	33.77	29.90	8.32	1.15	0.077	0.17	2.54	1.92	0.16	0.586	1.63	1.92	
	60-90	16.53	36.89	30.14	8.97	1.27	0.084	0.07	2.57	2.09	0.15	0.488	1.75	2.14	
6	0-10	31.28	36.19	21.66	5.09	0.82	0.039	0.05	1.87	2.47	0.31	0.424	2.47	2.84	25.96
	10-40	15.18	37.88	28.51	10.64	1.38	0.103	0.08	2.94	2.68	0.19	0.530	1.82	2.26	
	40-55	17.60	33.13	32.07	9.47	1.25	0.122	0.12	2.63	2.08	0.21	1.100	1.48	1.76	
7	18-26	--	27.01	34.63	4.71	0.64	--	--	--	--	--	--	1.22	1.33	--



面 2—4 稍低,可能与有机质对铝的络合作用有关。随着海拔升高,交换性盐基总量和交换性钙、镁占交换性盐基总量的百分数均明显降低,可能与海拔高处的土壤经历有机物的络合淋溶作用较强有关。

**(四) 蛭石、14 埃过渡矿物与土壤化学性质的关系及其区分**

我国北亚热带的黄棕壤及其山地土壤中 14 埃矿物含量较多,但它究竟是蛭石、绿泥石还是 14 埃过渡矿物为主,或几种矿物同时并存,在近年来的报道中,其说不一<sup>[2,5]</sup>。我们的研究结果,大别山土壤剖面 1 中的 14 埃矿物全是蛭石。剖面 2、3、4、5、6、7 中的 14 埃矿物大部分是 14 埃过渡矿物,剖面 2、3 还分别含有少量蛭石,剖面 4—7 中则还含有少量绿泥石。以蛭石为主的土壤其 pH 值大于 5.6,属于微酸性;交换性铝与交换性氢含量均很低;粘粒阳离子交换量较高。以 14 埃过渡矿物为主的土壤,其 pH 值一般小于 5.6,属于酸性范围;交换性铝含量显著提高,大大超过交换性氢的含量,粘粒阳离子交换量较低。可见在含 14 埃矿物较多的土壤中区分出蛭石与 14 埃过渡矿物实属十分必要,这对研究该地区土壤的形成、分类和改良利用都有一定的意义。

14 埃过渡矿物与蛭石在层间物质组成和特性方面的不同,为其区分提供了可能:蛭石在镁-甘油片 X 射线衍射谱上的 14 埃峰,一般在室温风干(层电荷低的蛭石也可能在 300℃ 加热后)的钾片衍射谱上可以收缩成对称的 10 埃尖峰(如图 1 中剖面 1 的衍射谱);而 14 埃过渡矿物镁-甘油片的谱线上的 14 埃峰在风干钾片的图谱上不显示收缩,需要经过 300℃ 甚至 550℃ 处理后才能收缩成为一向低角度延伸的不对称的 10 埃峰(如图 1 中除剖面 1 以外的其余各剖面的谱线)。

供试土壤粘粒用柠檬酸钠溶液煮沸浸提除去层间羟基铝后再制成钾片进行 X 射线衍射分析(图 2)可以看出:不含 14 埃过渡矿物的剖面 1 的粘粒处理前后谱线变化不大;含

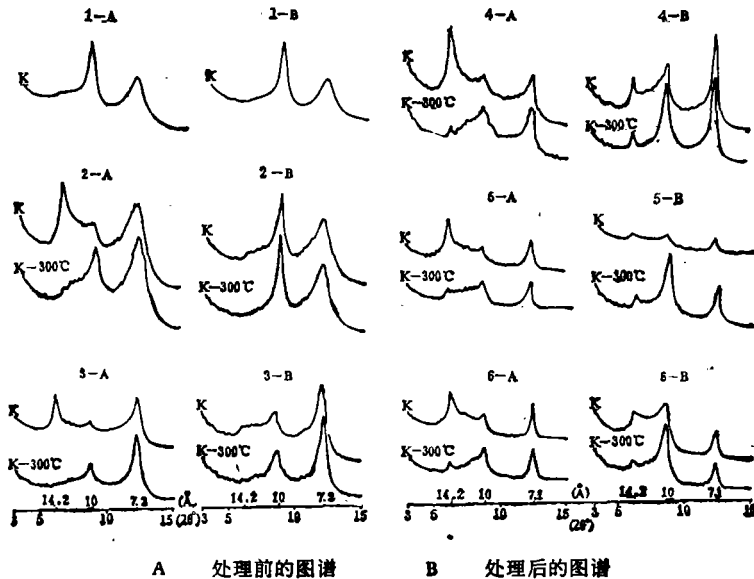


图 2 柠檬酸钠处理前后钾片 X 射线衍射

Fig. 2 X-ray diffraction patterns of the soil fractions before and after treatment by sodium citrate solution A-before treatment, B-after treatment.

表4 粘粒(B层或AB层)经DCB法和柠檬酸钠溶提的铁、铝量及处理前后CEC的变化\*

Table 4 The amount of Fe and Al in solution extracted by DCB sodium citrate, and the change of CEC before and after treatment for clay fraction

剖面号 Profile No.	DCB 法溶提铁 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %) Fe ext- racted by DCB	DCB 和柠檬酸钠溶提 的铝量 Al extracted by DCB Sodium citrate (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %)			阳离子交换量 (毫克当量/100 克粘粒) CEC (meq/100g Clay)			增加量(毫克当量/ 100克粘粒) Increment (meq/100g clay)		增加量(%) Increment (%)	
		(1)	(2)	(1)+(2)	A	B	C	B-A	C-B	$\frac{B-A}{A} \times 100$	$\frac{C-B}{B} \times 100$
		1	5.61	0.33	0.76	1.09	44.15	47.63	46.69	3.48	-0.94
2	8.04	0.51	0.94	1.45	33.03	38.44	40.44	5.41	2	16.38	5.20
3	8.74	0.73	0.86	1.59	24.56	30.77	31.44	6.21	0.67	25.29	2.18
4	5.33	1.04	1.18	2.22	22.51	27.42	35.62	4.91	8.2	21.81	29.91
5	3.89	2.21	2.16	4.37	28.72	31.09	40.79	2.37	9.7	8.25	31.20
6	5.37	1.76	1.82	3.58	25.96	29.18	40.37	3.22	11.19	12.40	38.34

\* 表中数据均按未经 DCB 法和柠檬酸钠溶液处理前的粘粒样为基准计算。

(1) DCB 法溶提; (2) 柠檬酸钠溶提。A 为未处理, B 为 DCB 溶液处理。C 为 DCB 溶液处理后又经柠檬酸钠溶液处理。

14 埃过渡矿物的土壤粘粒处理后 14 埃峰均有明显收缩。从表 4 可见含蛭石的粘粒经柠檬酸钠处理前后阳离子交换量变化不大, 所溶提的铝量较小。而含 14 埃过渡矿物的粘粒处理后阳离子交换量明显增大, 其增加量(%)随海拔升高而增大, 与其所溶提的铝量随海拔而增大的变化趋势一致, X 射线分析与化学分析结果(表 4) 可以相互验证。

### (五) 关于三水铝石的成因

从大别山南坡海拔 920 米以上山地土壤粘粒的 X 射线衍射图谱上 4.85 埃和 4.37 埃峰的出现, 以及粘粒的硅铝率较低, 可以证实这些土壤中含有三水铝石。长期以来认为土壤中的三水铝石是铝硅酸盐矿物顺序风化的最终产物, 是砖红壤的特征性矿物, 其伴生矿物常常是 1:1 型高岭类矿物及铁、锰氧化物和水合氧化物(如赤铁矿、针铁矿、软锰矿等)。近 20 多年来发现在始成土中<sup>[4]</sup>、晚近的火山灰土<sup>[7]</sup>、以及高山土壤中<sup>[8]</sup>都可有三水铝石。铝硅酸盐矿物, 特别是斜长石在风化的初期阶段就可形成三水铝石<sup>[6]</sup>。可见土壤中的三水铝石, 可以是铝硅酸盐顺序风化的最终产物, 也可以是在强烈淋溶、迅速脱硅条件下风化初期的产物; 既可存在于高度风化的土壤中, 也可存在于轻度风化的土壤中。地处北亚热带大别山南坡海拔 920 米以上的山地土壤中的三水铝石显然属于后一种成因。此地的年平均气温较低, 为 11.7—7.6℃, ≥10℃的积温小于 4500℃, 多暴雨, 年平均降雨量 1617—1959 毫米, 母质为斜长石花岗片麻岩, 地势较陡, 坡度大, 土壤质地带砂性、结持力弱, 排水良好, 淋溶强烈, 有利于三水铝石的生成。其伴生矿物除 1:1 型高岭和铁、锰氧化物外, 还有相当数量的 2:1 型粘土矿物(如水云母、14 埃过渡矿物、12 埃混层矿物及绿泥石)。所以, 它的存在并不能用来说明这些土壤的风化强度高。

### 参 考 文 献

[1] 于天仁, 袁可能, 李学垣, 1986: 近年来土壤化学发展中的一些问题。干旱区研究, 第 3 卷 3 期, 17—28 页。  
 [2] 中国科学院南京土壤研究所主编, 1978: 中国土壤。科学出版社。

- [ 3 ] Dual, R. 1988: Changes in the use of upland soils in the tropics. proceedings of International Conference on the Management and Fertilization of upland Soils.
- [ 4 ] Eswaran, H. and De Coninck, F. 1971: Clay minerals formation and transformations in basaltic soils in tropical environments. *Pedologie*, 21, 181—210.
- [ 5 ] Li Xueyuan, Xu Fenglin, Liu Fan. 1986: Study on 14Å intergrade mineral of red earth and yellow brown earth in Hubei province. Current progress in soil research in People's Republic of China. Jiangsu Sci. and Techno. Publishing House.
- [ 6 ] Macias, V. F. 1981: Formation of gibbsite in soils and saprolites of temperatehumid zones. *Clay Minerals*, 16, 43—52.
- [ 7 ] Mizota, C. 1976: Relationships between the primary mineral and the clay mineral composition of some recent andosols. *Soil Sci, Plant Nuter.* 22, 257—268.
- [ 8 ] Reynolds, R. C. 1971: Clay mineral formation in an alpine environment. *Clay and Clay Minerals*, 19: 361—374.

## STUDIES ON THE CLAY MINERALS OF MOUNTAIN SOILS IN HUBEI AND HUNAN PROVINCES

### I. THE CLAY MINERALS OF SOILS ON THE SOUTH SLOP OF THE DABIE MOUNTAINS

XU Fenglin, Li Xueyuan, Huang Qiaoyun, Qu Shenxiao and Zhou Jiawu  
(Huazhong Agricultural University, Wuhan)

#### Summary

The association and chemical composition of clay mineral and cation exchange properties of 20 soil horizons in 7 soil profiles on the south slop of the Dabie Mountains in Hubei Province were studied. The results indicated that: 1). the 14Å minerals and kaolinite were the main clay minerals in the soils examined, and the secondary was illite. The 14Å clay mineral of soil on the feet of mountains was vermiculite. The content of vermiculite decreased whereas the content of 14Å intergrade mineral in soils increased with the rising of the altitude. The chlorite was found in the middle and upper parts of the mountains. And with an rising of the altitude, the content of kaolinite decreased slightly but the degree of crystallinity was enhanced and the content of illite increased as well as a small amount of 12Å interstratified mineral was found. 2). the gibbsite was found in the subsoil at an altitude of 920m, then it not only was found in all horizons of soil profiles but also its amount increased as the elevation was going up. 3). the chemical composition of soil clay fraction, even the surface chemical properties varied with the rising of altitude, which was quite agreeable to the change of clay minerals. 4). between the 14Å clay minerals, vermiculite and 14Å intergrade mineral in soils, there were apparent differences in their CEC, pH value and the amount of exchangeable aluminum.

The methods for identification of these minerals and the formation of gibbsite are discussed.