第19卷 第3期 土 壤 学 报 Vol. 19, No. 3
1982 年 8 月 ACTA PEDOLOGICA SINICA Aug., 1982

太白山北坡土壤的粘土矿物*

陈 俊 卿
(中国科学院西北水土保持研究所)

太白山位于陕西省西部，绝顶海拔近 4000 米，是秦岭山脉的主峰，属于我国西北中部地区最高名山之一。地理位置约为北纬 33.9—34.15 度，东经 107.4—108.0 度。由于秦岭的屏障使潮湿的海洋气团不易深入西北，同时也阻挡了北方的寒潮不致长驱南下，所以秦岭已成为自然地理上划分我国东部南北的重要界线。太白山的气候具有南温带的温和气候和北亚热带的温暖气候特点，属于温带和亚热带过渡性地带。太白山南北二坡的生物气候有明显差异：南坡山势和缓，气温略高而湿润，海拔 1300 米以下年平均气温 14—15℃，年降水量 750—900 毫米，植被以栓皮栎和麻栎等夏绿阔叶林为主，土壤为黄棕壤；海拔 1300—2200 米年气温 11.4—14.0℃，年降水量 800—930 毫米，植被以红桦和松栎等针阔叶林为主，土壤为山地棕壤；海拔 2200—3000 米，植被以冷杉和毛红桦等针叶林为主，土壤为山地灰化土(暗棕壤)。然而北坡山势陡峻，气温稍低而干燥，海拔 1500 米以下年气温 13℃，年降水量 690—750 毫米，植被则以松栎林和散生的侧柏等为主，且长势不良，土壤为山地褐土或淋溶褐土；海拔 1500—2500 米年气温稍低，雨量较多，降水集中夏季，秋有霖雨，年气温 12.4℃，年降水量 780—900 毫米，植被以松栎林为主，主要树种有锐齿栎、栓皮栎等，土壤为山地棕壤；海拔 2500—3200 米，山高气候寒冷而湿润，年气温低于 8℃，年降水量 840—960 毫米，植被为针叶林，主要树种有冷杉间牛皮桦、落叶松等，土壤为山地灰化土(暗棕壤)；从海拔 3000 米起降水量有所减少，植被类型亦发生显著变化，以密枝杜鹃、高山绣线菊等高山低矮灌丛草甸植被为主，土壤由森林草甸土向高山草甸土和原始土壤过渡。山体大多以古老的变质岩所构成，其中尤以片岩和片麻岩为主，伴有花岗岩、大理岩等。在海拔 3760 米的太白山顶部拔仙台附近，曾经遭受山地冰川侵袭，至今仍有明显的冰川地貌遗迹。

太白山南北二坡的植物、森林、地质、地貌等方面均有较系统的研究报道[1][1]，然而在土壤方面只见有部分野外调查资料[2]，迄今少见对太白山的土壤理化性质有比较系统的研究报道。为此，我们特选了九个具有代表性的主要土壤剖面，分离出粘粒（＜1 微米），进行了化学分析、差热分析和 X-射线衍射分析，对部分试样还作了电子显微镜照像。根据分析结果阐明太白山北坡土壤中粘土矿物的组成及其特征，提供进一步综合研究太白山土壤时参考。

* 此项工作系在朱显谟先生指导下进行并曾得许冀泉同志的热情帮助，同时田积莹、杜修立、喻华达等同志对本文提过有益的意见，谨此一并致谢。

1) 刘慎谔，1962：陕西太白山森林植被分布。西北生物土壤研究所植物研究室。

2) 李贻铨，1963：秦岭南坡林区的土壤。中国林业科学院科技情报资料。

一、供试土壤概况

根据不同土类分布情况，从山麓至山顶选了九个主要土壤剖面：

剖面 1(TB-7) 为山地褐土，采自李家崖北山坡农地；海拔约为 1330 米；母质为大理岩残积物，土壤质地为中壤。植被除次生栓皮栎外尚有黄栌、板栗、杏等。土壤呈微碱性到碱性，CO_2 含量为 0.04—2.71%（次生碳酸盐化）。

剖面 2(TB-12) 为山地棕壤，采自中山寺与下白云之间陡坡山地（一般为 30°）；海拔约为 1570 米；母质为片麻岩残积物。A_1 层质地为轻壤，心土为中壤，底土由于夹杂较多的棕色粘土泥粒，故质地为粘土；剖面上部呈中性，下部呈酸性。植被以锐齿栎为主，其他尚见有山杨、山杏、山桃、山柳、胡枝子、黄栌、绣线菊等。

剖面 3(TB-20) 为山地弱灰化土，采自平安寺分水岭，海拔约为 2790 米；母岩为花岗片麻岩坡积物，土壤质地为中壤—轻壤；均呈酸性反应。植被以冷杉、牛皮桦、华山松混交林为主，尚生长有刺柏、杜鹃、羊齿等。

剖面 4(TB-33) 采自放羊寺西小山顶斜坡上（坡向 NE15°，坡度10°），海拔约为 3225 米，为片麻岩坡积物发育的山地灰化土，土壤质地为壤土—中壤；土壤呈强酸性。主要植被有冷杉、金背枇杷、密枝杜鹃、高山绣线菊等，地面主要为苔藓。

剖面5 (TB-39) 采自文公庙附近斜坡，海拔约为 3620 米，为云母片麻岩和花岗片麻岩的混合冰积物发育的生草灰化土。有机碳含量 A_1 层高达 9.42%；土壤呈酸性。植被由密枝杜鹃、爬枇杷、太白花、太白茶、壳柳、秋水参、苔藓及散生的落叶松组成。

剖面 6(TB-29) 为森林草甸土，采自放羊寺东乱石堆斜坡（阴坡）落叶松纯林地，海拔约为 3240 米；母质为片麻岩坡积物，土壤质地为壤土，呈酸性反应。植被以落叶松为主，伴生果梅、高山绣线菊、海棠、云杉、牛皮桦和苔藓组成的草甸植被。

剖面 7(TB-31) 为亚高山草甸土，采自放羊寺后背山坡，海拔约为 3240 米；母质为花岗片麻岩坡积物；土壤质地为壤土，土壤呈酸性。以密枝杜鹃、矮枇杷为主的植被，伴有苔藓、野韭菜、羊齿及散生的落叶松幼苗等。

剖面 8(TB-36) 为亚高山原始草甸土，采自太白山西峰三爷海，海拔在 3744 米左右；母质为片麻岩冰川沉积物；底土质地为壤砂土，底土以上均为砂质壤土。土壤呈酸性。主要由矮枇杷、爬枇杷、太白花、太白茶、太白韭、密枝杜鹃、苔藓、壳柳和地衣等组成原始草甸植被。

剖面 9(TB-38) 为原始土壤(草甸化)，采自三官殿附近。土层很薄，仅能采取二层。海拔高达 3880 米；母质为片麻岩和花岗岩。高等植物着生后细土渐向草甸土过渡；从外观来看表层为细土夹细砾，底土为砾质中壤，下接母岩。土壤呈酸性。植被由密枝杜鹃、太白花、太白茶、太白韭、地衣、苔藓、矮枇杷等组成。

以上各剖面的简要理化性质列于表 1。

二、实 验 方 法

1. 试样的制备　土壤依次用 0.05*N* 盐酸除去碳酸盐；用 6% 双氧水除去有机质，加 2% 碳酸钠煮沸 5—10 分钟以分散土粒，以沉降法分离出＜1 微米，经稀盐酸凝聚后，用水洗去多余的酸，在 60℃ 以下烘干，磨细过 140 目筛备用。

2. X-射线衍射分析　将粘粒用镁-甘油饱和，制成定向薄膜[7]，在苏联制 УРС-50И 型 X-射线衍射仪上用 CuKα 辐射进行分析。管压 30 千伏，管流 8 毫安；笔录速度 2°(2θ)/

分；发射狭缝约 1 毫米，接收狭缝为 0.1 毫米。

3. 差热分析　试样先在贮有硝酸钙饱和液的干燥器中放置 4—5 天，称取 0.5 克，以煅烧过的氧化铝为中性物，用德国制 1550·404/3 型全自动差热分析仪，以每分钟 10℃ 的速度从室温加热至 1050℃，记录仪灵敏度为 1/2。

4. 化学分析　氧化钾是用 $HF-HClO_4$ 分解试样，用蔡司 III 型火焰光度计测定；阳离子交换量采用半微量速测法[3] 测定；有机碳采用丘林法测定；SiO_2 采用动物胶脱水重量法；Fe_2O_3 采用重铬酸钾容量法；Al_2O_3 采用络合滴定法。粘粒部分的硅铝铁分析结果列于表 1。

三、结果讨论

（一）各类土壤的粘粒的化学和矿物学特征

山地褐土分布于半湿润地带，淋溶不盛，土壤呈盐基饱和态，粘粒只有移动，没有分解。据研究样品的分析结果，A_1 层粘粒含量为 21.0%，粘化层粘粒含量可高达 29.5%，钙积层以下降低为 17.5%，反映了山地褐土以次生粘化为主的特征。粘粒的化学组成变化不明显，粘土矿物尚停留在水化脱钾阶段，以水云母为主，只有少量绿泥石、蛭石和蒙脱石，剖面上下颇为一致，与华北平原的褐土[4,5]相比极为相似。

山地棕壤位于褐土之上，淋溶作用比褐土强，剖面内除粘粒移动外，尚有铁铝二三氧化物的移动，硅铝率和氧化钾含量都比褐土低。X-射线衍射谱、差热分析和电子显微镜分析（图 1，2 和照片 1）表明，山地棕壤与山地褐土相比，粘粒中水云母较少而蛭石较多，但也同褐土一样含有少量蒙脱石和绿泥石。

剖面 3—5 是三个灰化土，土壤酸度较强，富里酸和活性棕色胡敏酸对土壤矿物有较大的破坏作用[6]，铝硅酸盐矿物如黑云母类经水化后脱钾作用强烈，剖面内矿物分异明显。山地弱灰化土（剖面 3）A_2 层粘粒含量低，有 SiO_2 聚积，B_1 层粘粒和二三氧化物都有增多，除 C 层以水云母为主外，上部土层均以蛭石占优势，并伴有高岭石和绿泥石；灰化层蛭石最多，阳离子交换量较高，氧化钾含量最低。山地灰化土（剖面 4）酸度最高，SiO_2 聚积不如剖面 3 明显，但氧化铁和粘土矿物的分异却比较明显，蛭石含量以 A_2/B_1 过渡层最多，阳离子交换量高达 65.4 毫克当量/100 克。生草灰化土（剖面 5）酸度较弱，剖面内仅见二三氧化物的淋溶和淀积，水云母脱钾作用甚弱，较大量的蛭石仅见于底土。

森林草甸土是森林向草甸过渡的土壤类型。由于坡积的影响，剖面上下粘粒变化很大，A 层粘粒含量为 C 层的二倍半。表土有机质虽然很丰富，但酸度较弱，剖面内矿物组成以水云母为主而且变化不大，仅底土有少量氧化铁聚积，森林在成土过程中尚未起明显作用。

剖面 7—9 是三个亚高山草甸土，粘粒含量较高，但没有移动；有机质分解慢累积多，土壤酸度不如灰化土强，但土体内脱钾脱硅作用较明显。亚高山草甸土（剖面 7）上部两土层酸度较弱，粘粒氧化钾含量较高，粘土矿物以水云母为主；下部两土层酸度较强，粘粒氧化钾含量低为 2.15%，矿物分异明显，以蛭石为主，伴随水云母、高岭石和少量绿泥石，仅底土层有少量氧化铁聚积。亚高山原始草甸土（剖面 8）粘粒和粘粒氧化钾随剖面自下而上增加显著，A_1 层氧化钾含量高达 3.71%，底层阳离子交换量较高而氧化钾最低为

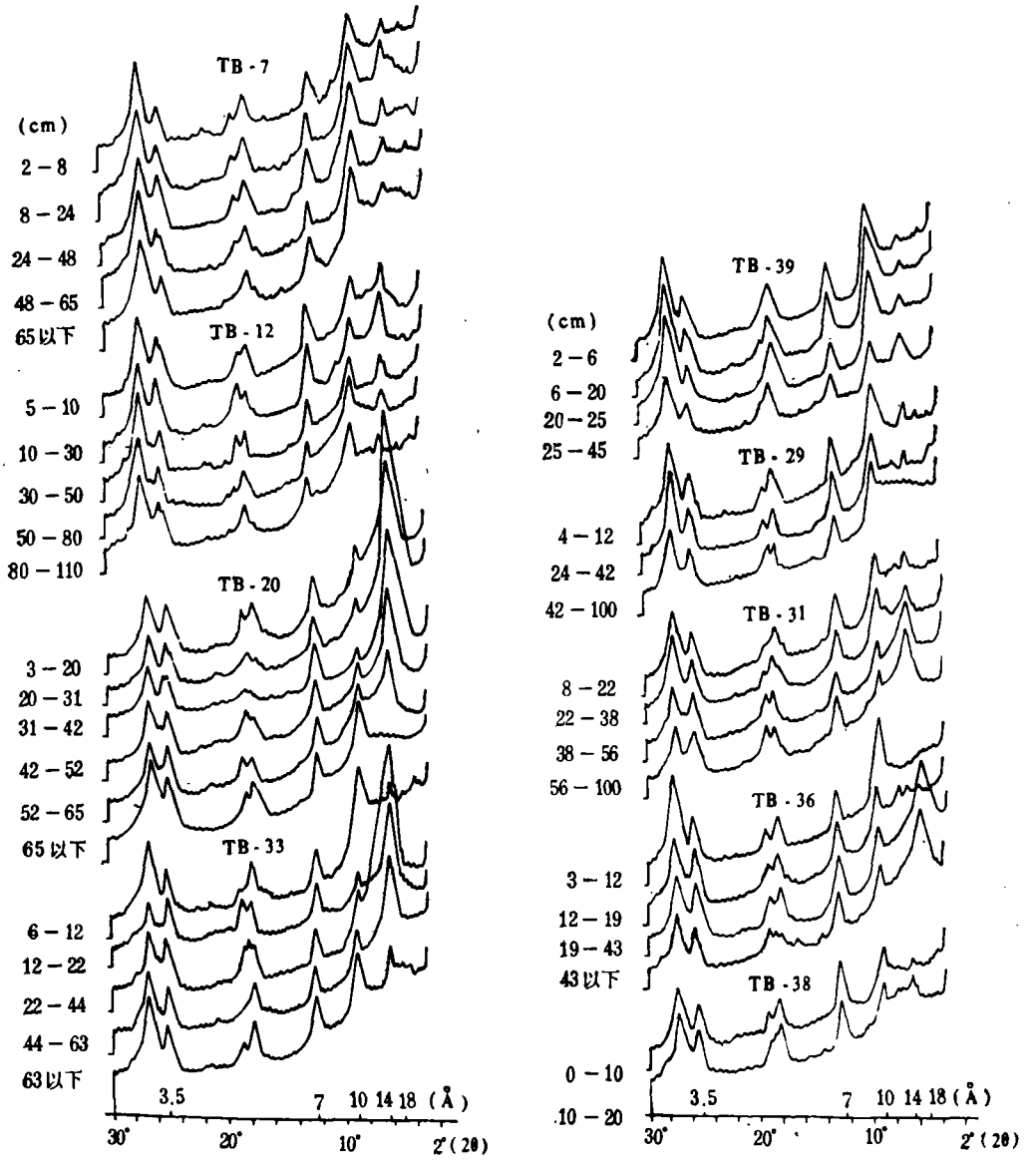
表1 太白山北坡土壤及粘粒的理化性质*

Table 1 The physical and chemical properties of soil and clay on the north slope of Taibai mountain

剖面号 Profile No.	土壤名称和海拔高度(m) Soil type and altitude	发生层 Horizon	深度(cm) Depth	土壤 (<1mm) Soil				粘粒 (<1μ) Clay					
				pH		有机碳(%) Organic carbon	<1微米粘粒(%) clay <1μ	阳离子交换量(meq/100g) CEC	K_2O (%)	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$
				(H_2O)	(KCl)								
1 (TB-7)	山地褐土 Mountain cinnamon soil 1330	A_1	2—8	7.90	6.48	1.54	21.00	46.80	3.25	43.05	21.85	10.81	3.35
		P_1	8—24	7.10	6.13	0.62	29.50	—	2.98	43.21	21.68	10.76	3.38
		P_2	24—48	7.09	6.00	0.36	25.00	47.20	2.94	43.72	21.60	10.62	3.44
		B_{Ca}	48—65	8.40	6.60	0.32	19.00	—	2.96	43.67	21.69	10.72	3.42
		B/C	65以下	8.50	6.87	0.27	17.50	46.20	2.89	43.63	21.83	10.88	3.39
2 (TB-12)	山地棕壤 Mountain brown earth 1570	A_1	5—10	7.13	6.87	2.80	16.40	35.70	2.96	44.60	22.04	9.89	3.43
		A_2	10—30	6.90	6.48	1.57	14.00	—	2.64	44.27	22.85	10.40	3.29
		B_1	30—50	6.72	5.50	0.22	19.20	41.10	2.49	43.08	23.65	10.75	3.09
		B_2	50—80	6.20	4.60	0.18	20.20	—	2.75	43.30	23.49	10.76	3.13
		C	80—110	5.70	3.98	0.37	20.30	45.00	2.88	43.28	23.36	10.77	3.14
3 (TB-20)	山地弱灰化土 Mountain weakly podzolic soil 2790	A_1	3—20	6.40	5.88	2.17	22.70	47.75	2.37	43.75	22.28	11.58	3.32
		A_2	20—31	6.41	5.83	1.15	15.60	52.90	1.75	44.98	22.04	10.20	3.46
		B_1	31—42	6.04	4.80	1.47	24.60	37.30	2.42	41.23	22.20	12.57	3.02
		B_2	42—52	5.95	4.70	0.97	18.80	—	1.85	41.74	22.86	11.66	3.10
		B_3	52—65	5.90	4.67	0.40	11.90	—	1.95	43.18	22.59	10.85	3.23
		C	65以下	6.00	4.72	0.20	17.30	40.25	2.39	43.68	22.43	10.73	3.30

4 (TB-33)	山地灰化土 Mountain podzolic soil 3225	A_{1-2}	6—12	5.80	4.80	14.50	25.70	44.00	3.20	44.99	21.99	8.59	3.47
		A_2	12—22	5.53	4.20	3.50	24.30	—	1.51	45.45	22.60	9.29	3.41
		A_2/B_1	22—44	5.41	3.37	1.89	24.60	65.40	2.01	46.07	22.59	8.09	3.45
		B_2	44—63	5.29	3.47	2.18	26.30	—	1.99	43.34	21.92	11.43	3.35
		B_3	63以下	5.09	3.95	1.81	11.80	43.50	2.45	42.13	21.03	13.04	3.40
5 (TB-39)	生草灰化土 Sward podzolic soil 3620	A_1	6—20	6.07	5.29	9.42	23.70	36.00	3.17	45.75	22.19	9.52	3.49
		A_2/B_1	20—25	6.07	4.91	3.19	22.10	41.90	3.39	46.68	23.85	7.30	3.32
		B_2	25—45	6.23	5.30	1.66	17.60	—	2.79	40.36	21.78	14.09	3.14
6 (TB-29)	森林草甸土 Forest-meadow soil 3240	A_1	4—12	6.02	5.37	12.70	24.80	39.30	2.80	45.13	21.69	9.32	3.53
			12—24	5.92	5.34	9.99	22.10	—	—	—	—	—	—
			24—42	6.40	5.53	1.78	17.00	44.90	2.87	42.20	21.21	12.23	3.38
		C	42—100	6.61	5.71	1.39	9.70	40.40	2.34	41.39	21.42	13.57	3.28
7 (TB-31)	亚高山草甸土 Subalpine meadow soil 3240	A'''	8—22	6.40	5.63	5.02	25.20	42.60	2.54	43.51	21.40	11.13	3.43
		A'''/B_1	22—38	6.33	5.61	1.54	23.20	—	2.97	42.50	21.77	11.67	3.30
		B_2	38—56	6.10	5.20	1.17	22.60	42.15	2.15	41.29	21.58	12.25	3.24
		B_3	56—100	5.88	4.75	1.17	21.00	38.10	2.00	40.27	21.35	13.30	3.21
8 (TB-36)	亚高山原始草甸土 Subalpine primitive meadow soil 3744	A_1	3—12	5.80	5.17	14.50	24.90	37.00	3.71	45.54	22.56	8.36	3.43
			12—19	6.40	5.55	2.96	18.60	—	2.71	43.99	22.57	10.49	3.31
			19—43	5.90	5.00	1.97	8.60	46.40	2.57	41.83	21.74	12.15	3.27
		C	43以下	5.80	4.80	1.43	13.10	—	2.04	42.04	22.04	11.20	3.24
9 (TB-38)	原始土壤(草甸化) Primitive soil 3880	A_0	0—10	5.85	5.30	7.43	23.70	37.70	3.17	42.97	21.40	11.25	3.40
			10—20	5.79	5.27	2.37	19.60	—	2.55	40.47	23.08	13.23	2.98

* 土壤的理化性质系原土壤分析室分析；史瑞云同志作了部分机械组成。



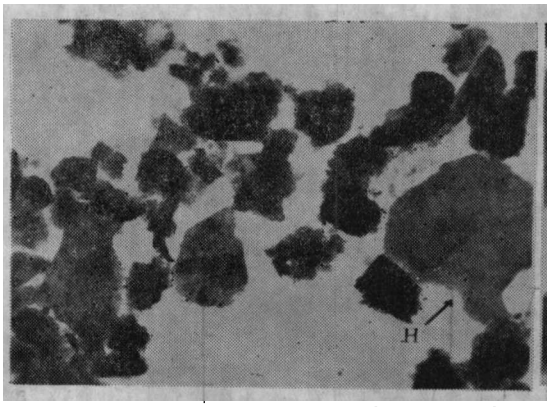
注：图中 TB-7—TB-38 为剖面号码

Note: TB-7—TB-38 are the profile No.

图 1 太白山北坡土壤粘粒的 X-射线衍射谱 (CuKα)

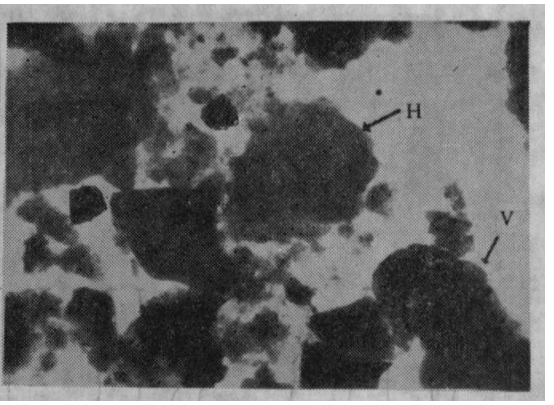
Fig. 1 X-ray diffraction patterns of the soil clay on the north slope of Taibai mountain (CuKα)

2.04%。X-射线衍射谱和电子显微镜分析（图 1 和照片 1）表明，上部两土层以水云母为主，并伴有高岭石、蛭石和绿泥石。氧化钾和 10 Å 峰值均较高，说明 A_1 层还含有来自母岩的云母。下部两土层则以大量的蒙脱石为主，显然是受冰川作用的影响，否则质地不会那么轻，可用冰川泥发育的土壤中，蒙脱类矿物来自母质并非成土作用的产物来解释[8]。草甸化原始土壤[2](剖面 9)因成土时间短，土层薄，有机矿物质分解甚慢，云母类矿物尚停留在水化脱钾作用初期阶段，粘土矿物组成与剖面 8 上部土层极为相似。



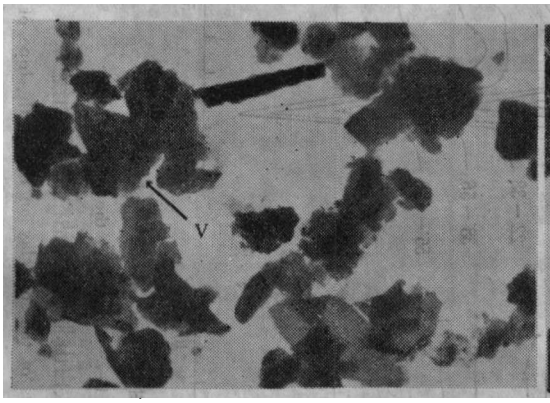
剖面 1　山地褐土，8—24cm(×10000)，水云母 (H)

Profile 1 Mountain cinnamon soil, Hydromicas (H)



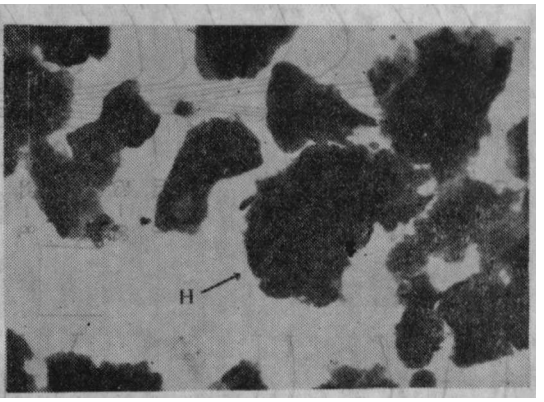
剖面 2　山地棕壤，30—50cm(×10000)，水云母(H)和蛭石(V)

Profile 2 Mountain brown earth, Hydromicas (H) and vermiculite (V)



剖面 3　山地弱灰化土，20—31cm(×10000)，蛭石 (V)

Profile 3 Mountain weakly podzolic soil, Vermiculite (V)



剖面 8　亚高山原始草甸土，12—19cm (×10000)，水云母 (H)

Profile 8 Subalpine original meadow soil, Hydromicas (H)

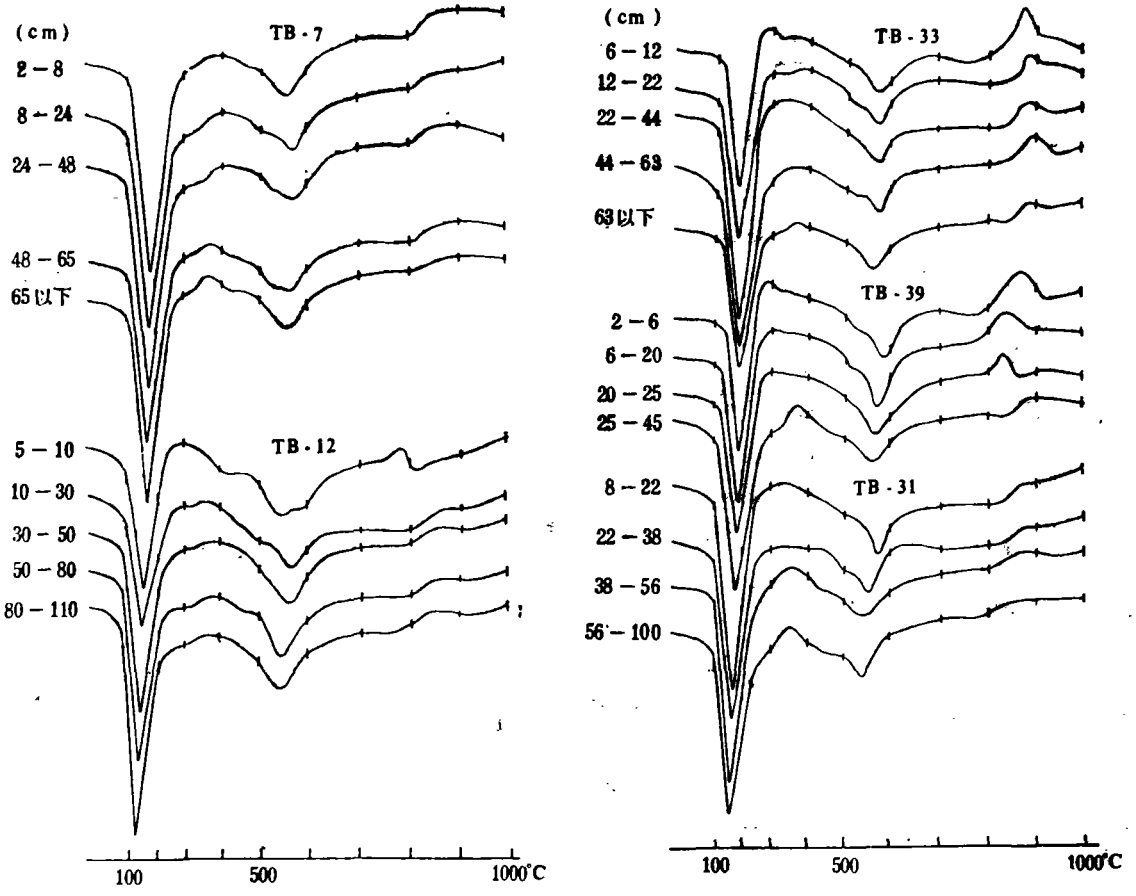
照片 1　太白山北坡土壤粘粒的电子显微镜照片

Photo. 1 Electron microscopic photograph of the soil clay on the north slope of Taibai mountain

(二) 绿泥石和蛭石及高岭石的区别

为了判明 14 埃衍射峰究竟是蛭石还是绿泥石矿物，曾采用以下三种方法[9,10]，即 (1) 用 1*N* 氯化钾充分饱和并风干；(2) 用 1*N* 氯化钾饱和后在 300℃ 和 550℃ 分别加热 1 小时；(3) 另外用 1*N* 醋酸钾煮沸并风干。从几种标准粘土矿物的 X-射线衍射谱(图 3)可以看出，蒙脱石的 $\alpha(001)$ 值在镁-甘油饱和时为 18 埃，用 1*N* 氯化钾饱和后收缩为 12.27 埃；蛭石的 14 埃峰闭合为 13 埃；绿泥石的 14 埃峰不变；高岭石的 7 埃峰则无任何变化。若将上列各矿物的水制薄片在 550℃ 加热 1 小时，蛭石的 14 埃峰全部闭合为 10 埃；绿泥石在此温度下仅部分脱水，使 14 埃峰强度增大几倍，而其他几个峰则相应减弱；高岭石在此温度下丧失其结晶性，故 7 埃峰消失。

山地灰化土(剖面 3 和 4)用 1*N* 氯化钾饱和并风干和用 1*N* 醋酸钾煮沸后 (图 4)，原

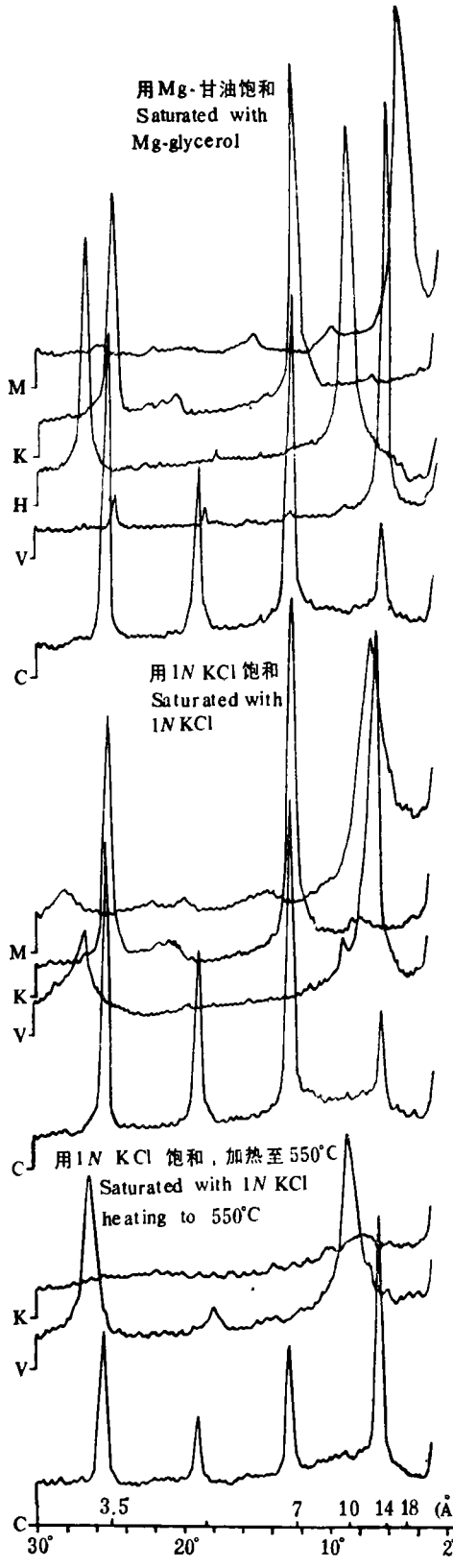


注：图中 TB-7—TB-39 为剖面号码

Note: TB-7—TB-39 are the profile No.

图 2 太白山北坡土壤粘粒的差热曲线

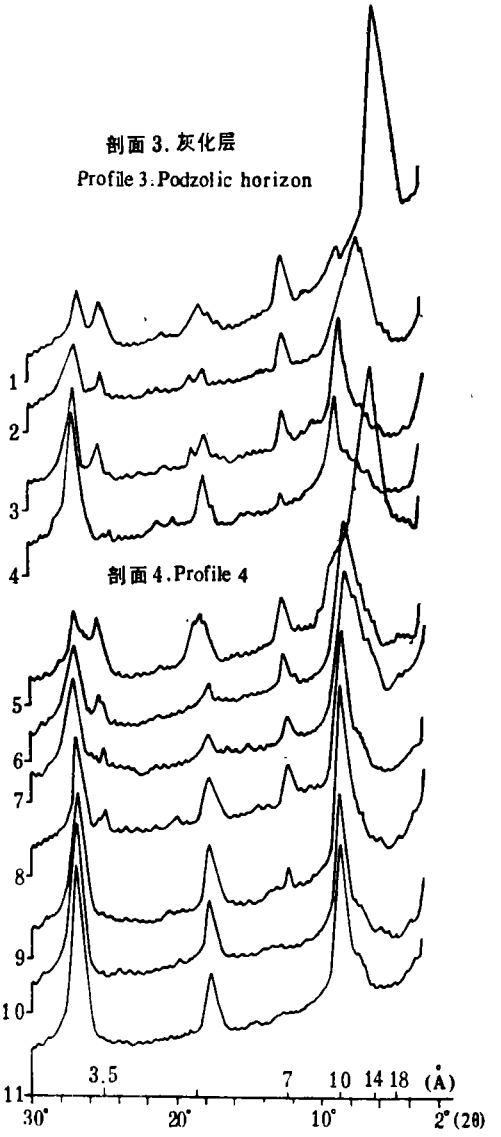
Fig. 2 Differential thermal curves of the soil clay on the north slope of Taibai mountain



M——蒙脱石 Montmorillonite　K——高岭石 Kaolinite　H——水云母 Hydromicas　V——蛭石 Vermiculite　C——绿泥石 Chlorite

图3 标准粘土矿物不同处理的X-射线衍射谱 (CuKα)

Fig. 3 X-ray diffraction patterns of standard clay minerals with different treatments



1，5——镁-甘油饱和 Saturated with Mg-glycerol
2，6——1N KCl　3，8——1N KCl + 300℃
4，10——1N KCl + 550℃
7——1N $KC_2H_3O_2$　9——1N $KC_2H_3O_2$+300℃
11——1N $KC_2H_3O_2$ + 550℃

图4 剖面3，4灰化层经钾处理前后的X-射线衍射谱(CuKα)

Fig. 4 X-ray diffraction patterns of podzolic horizon in soil profiles 3 and 4 before and after treatment with potassium

来用镁-甘油饱和时的 14 埃峰闭合为 10—14 埃之间的宽峰，峰值在 11 埃。若将水制薄片在 550℃ 加热 1 小时，则 14 埃闭合为 10 埃，但由于 10 埃峰向低角度扩散，显示不出少量绿泥石 14 埃峰值的增强，所以我们认为太白山山地灰化土 X-射线衍射谱中的 14 埃峰是以蛭石为主，兼有少量的绿泥石存在。

参 考 文 献

[1] 刘灏清，1959：关于秦岭的两个地质问题。西北大学学报，2 期，79—82 页。
[2] 朱显谟，1963：陕西太白山岩生植物和原始成土过程。土壤学报，11 卷 1 期，1—9 页。
[3] 许冀泉、熊毅，1955：阳离子交换量半微量速测法。土壤学报，3 卷 1 期，31—37 页。
[4] 许冀泉，1961：中国土壤胶体研究 III，褐土胶体的矿物组成。土壤学报，9 卷 3—4 期，103—109 页。
[5] 陈佐忠，1979：北京香山地区褐土粘土矿物的研究。土壤学报，16 卷 4 期，387—396 页。
[6] 罗贤安、李香兰，1979：太白山山地土壤的腐殖质研究。土壤学报，16 卷 4 期，341—351 页。
[7] 唐诵六、熊毅，1964：X-射线衍射仪鉴定开展式粘土矿物甘油处理法。土壤学报，12 卷 4 期 461—464 页。
[8] Beavers, A. H., 1957: Source and deposition of clay minerals in peorian loess. Science, Vol. 126, p. 1285.
[9] Black, C. A., 1965: Methods of soil analysis. pt. 1, p. 690, USA: American Society of Agronomy, Inc., Pub. (Rept.).
[10] Антипов-каратаев. И. Н., 1961: О системах методов применяемых в США при исследовании глинистых минералов. Почвоведение, No. 10, 110—113.

CLAY MINERALS OF SOILS ON THE NORTH SLOPE OF TAIBAI MOUNTAIN

Chen Jun-qing

(*Northwest Institute of Water and Soil Conservation, Academia Sinica*)

Summary

The clay mineral composition in soil varies regularly with the vertical distribution of soils on the north slope of Mt. Taibai. From the altitude of 1330 m on which the mountain cinnamon soil developed on residual deposits of marble contains dominantly hydromicas with some montmorillonite and kaolinite. To the altitude of 1570 m on which the mountain brown earth developed on the residual deposits of gneiss under mixed forest of coniferous and broad-leaved trees is predominated by hydromicas and vermiculite with a small quantity of montmorillonite and chlorite; while on the altitude above 2790 m, the mountain podzolic soil derived from the same parent material under fir forest contains large quantity of vermiculite and montmorillonite and accumulates more iron oxides in the lower layer of the profile. With the transition from forest to alpine meadow on the altitude of 3744 m, the mountain meadow soil there contains also mainly hydromicas with more vermiculite and montmorillonite.