

中国变性土的分布、特性和分类

张 民 龚子同

(山东农业大学, 271000) (中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文研究了我国主要变性土的区域分布、某些发生学特性和分类问题。研究结果表明:我国变性土及变性土型土壤有广泛分布,从热带、亚热带到暖温带。其共同的成土条件是:有一定干湿交替的气候、低平的地势、富含盐基的母质和粘重的质地。据估计,此类土壤约占全国总土地面积的 1% 左右。变性土是在特殊的地球化学环境和干湿交替的条件下形成的,深受地域性因素的影响,其成土年龄古老而发育程度较弱。一般变性土带有某些水成土的特征,而钙质变性土兼有水成土和钙层土但又不完全与它们相同的成土地球化学特点。所研究的 11 个剖面中,有 8 个属于中国土壤系统分类(首次方案)^[1]中的变性土土纲,其余 3 个则属于潮湿土土纲。

关键词 变性土,地理分布,发生特性,系统分类

变性土 (Vertisols) 是美国《土壤系统分类学》一书中十大土纲之一^[26],也是联合国粮农组织和教科文组织编制的世界土壤图中的一级土壤单元之一^[22]。变性土及变性土型土壤在世界上的分布极广泛。鉴于这类土壤的颜色深暗以及高度胀缩和扰动的特性,以致会出现耕作困难、建筑物断裂、倒塌等问题,这方面早已引起广大农民、土壤工作者、农学工作者以及工程设计方面的注意。关于变性土在我国的存在和分布问题虽有一些报道^[6,15,18],但作为一个独立的土纲是在 1985 年《中国土壤系统分类初拟》中才正式提出的^[1]。我国的变性土主要是农地,在长期耕作条件下,其形成、属性以及分类指标等有与世界变性土共同之处,但也有不同的地方。因此研究我国变性土的地理分布特点、发生特性、地球化学特征和形成年龄,对于明确这类土壤在我国土壤系统分类中的位置,阐述其发生的历史过程和肥力演变规律都是十分必要的。同时也可变性土的改良、区划和合理利用提供科学依据。

一、变性土的地理分布

根据作者的调查研究,参考现有资料^[15],结合中国土壤系统分类(首次方案)按照土壤水分状况把我国变性土划分为湿润变性土和潮湿变性土两个亚纲的具体情况^[1],把我国变性土按照气候带大致分成三个分布区域,以下续分为八个分布区(图 1),现分述如下:

(一) 热带湿润变性土分布区域 (I)

海南岛北部和雷州半岛玄武岩台地,在其小型排水区域台地残积物上发育的土壤,脱硅富铝化作用强烈,形成富含高岭石、三水铝石和氧化铁的砖红壤,在我国土壤系统分类

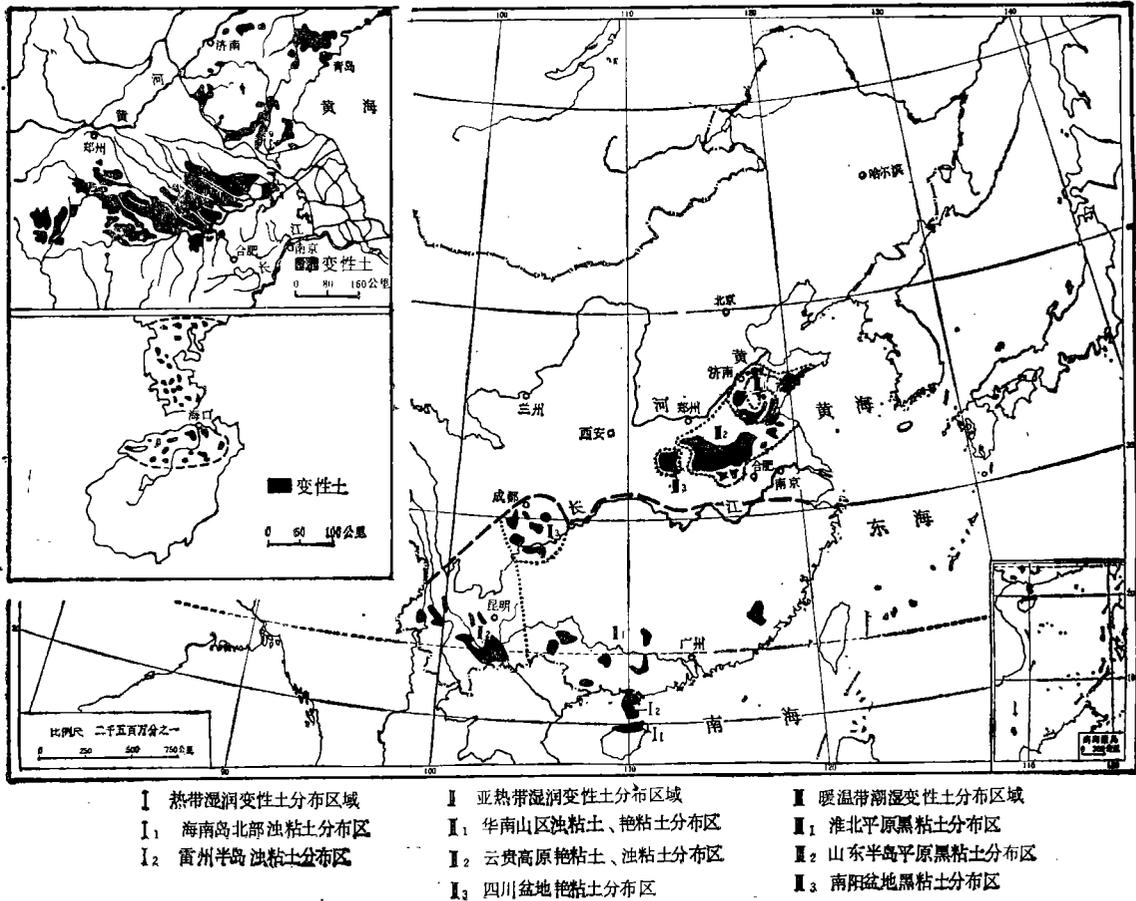


图 1 中国变性土地理分区图

Fig. 1 Area of vertisols in China

中属铁铝土纲^[2]。而在凹地坡积物上则形成富含蒙脱石、蛭石、绿泥石和高岭石的暗色粘土。二者在颜色、矿物组成、理化特性等方面都有明显的不同^[24]。这种暗色粘土在我国土壤系统分类中属于湿润变性土亚纲中的油粘土土类。由于降雨量和蒸发量的差别，海南岛北部油粘土分布区 (I₁) 多为水田^[24]，而雷州半岛油粘土分布区 (I₂) 则多为旱地。其中一部分种稻时间长，水稻土特征发育明显的则属变性水稻土。

(二) 亚热带湿润变性土分布区域 (II)

具干湿交替的热带亚热带湿润气候条件的华南山区某些凹陷低地、河谷盆地、河成阶地 (II₁)。如在福建漳浦一带沿海低丘台地下段或低平地带玄武岩风化物上发育的粘质土壤明显地区别于地带性土壤——赤红壤，而具有变性土的特征^[6]。广西右江、邕江和明江几个河湖盆地，属南亚热带湿润季风气候区，干湿季节明显，在泥岩或粘土岩出露的地段以及第三纪湖相沉积物的河谷阶地上发育的暗色粘质土壤，也具有明显的变性土特征^[8]。另外云贵高原 (II₂) 和四川盆地 (II₃) 的紫色、红色、黄色等粘质土壤，多为水稻田，特别是昆明高原曲靖地区的胶泥田，有些也可划为变性土，属湿润变性土亚纲。

(三) 暖温带潮湿变性土分布区域 (III)

华北平原的变性土集中分布在淮北平原、山东半岛平原和南阳盆地的砂姜黑土分布区。分布地形低洼、质地粘重、并含大量蒙脱类膨胀性矿物,在明显干湿交替的条件下,地表出现开裂、闭合,大多具有较明显的变性特征^[13,14]。且地下水位较浅,具潮湿土壤水分状况,在分类上属潮湿变性土亚纲。

III₁ 为淮北平原黑粘土分布区 位于暖温带南部,地处我国南方湿润气候和北方干旱气候的过渡地带,干湿季节分明,变性土分布最为广泛。其成土母质为河湖相黄土性粘质沉积物^[11],富含 CaCO_3 和粗粉砂。淮北平原地势平坦,地下水埋深仅 1—2 米。在较湿润气候条件下,土体中 CaCO_3 的淋溶淀积作用明显。在地势较低的地方又由于富含 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}$ 的地下水位的升降,在土体的不同层次形成了大小、形状、硬度不同的钙质结核,有些土壤的底部可出现砂姜硬盘。同时造成氧化还原交替的环境,促使铁锰氧化物的活跃迁移,在许多层次中形成了铁锰结核和锈纹锈斑。另外在长期耕作、施肥等人为活动影响下,因而没有出现美国土壤系统分类中所规定的某些形态学指标,如挤压微地形 (gilgai) 等。但按其基本属性应属变性土^[3]。

III₂ 为山东半岛平原黑粘土分布区 本区属于暖温带季风气候,干湿季节明显,所分布的变性土与淮北平原变性土的类型基本相同。主要分布在山东山地丘陵北部和西部的平原交接洼地、山间盆地、河间洼地以及南四湖和北五湖的周围。由于其土壤母质深受次生黄土及本区山地河流冲积物的影响,也直接影响到土壤的理化性质,表现出与淮北平原变性土有许多不同的特点^[13]。

III₃ 为南阳盆地黑粘土分布区 位于河南西部的南阳盆地,属于暖温带与亚热带过渡气候,具有明显的干湿季节。在黄淮冲积扇的边缘、大别山、桐柏山交接洼地以及南阳盆地的中南部低平地区的第四系上更新统湖相沉积物母质上发育的砂姜黑土,质地粘重,具有变性土的基本特征。由于气候较为干旱,土体开裂比淮北平原黑粘土更为严重。

上述地理分布仅是初步估计,随着工作的深入,可能会在其它地区确认变性土的分布。例如分布于华北平原低洼地区的某些湿潮土(群众名称为黑淤土、鸡粪土等),颜色深暗,质地粘重,湿胀干裂现象明显,其理化性状和耕作性能类似黑粘土。有的在剖面下部或更深处可见埋藏黑土层、砂姜层以及砂姜硬盘。又如山东的北五湖区,由于全新世以来新构造运动的影响,五个湖有四个已干涸无水,辟为农田。土壤颜色深暗,质地粘重,在过去长期积水的还原条件下,促使了蒙脱类胀缩性矿物的形成和留存。在目前干湿交替的条件下,出现干时僵硬开裂、湿时粘闭膨胀的现象,耕作十分困难。在有些弃耕或管理粗放的湖心区,还可见明显的挤压微地形 (gilgai),表现有变性土的特征。这些暗色粘性土在土壤系统分类上的归属尚有待进一步研究。

二、变性土的形成因素与发生特性

(一) 成土因素对变性土发生特性的影响

1. 气候的影响 我国变性土分布在热带、亚热带和温带等几个气候带,由于温度、

表1 不同气候带变性土之间某些发生特点的比较*

Table 1 Comparison of some generic characteristics among Vertisols in different climatic zones

气候带 Climatic zone	剖面地点 Location of profile	层次及深度 (cm) Horizon and depth	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%) Fe _t	Al ₂ O ₃ (%)	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / R ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	游离 Fe ₂ O ₃ (%) Fe _d	活性 Fe ₂ O ₃ (%) Fe _o	Fe游离 度(%) Fe _d /Fe _t	Fe活化 度(%) Fe _o /Fe _d	base value	粘土矿物 Clay mineral
热带	I-1 海南琼山	黑土层 50—80	38.17 39.63	21.17 17.27	19.03 28.28	3.40 2.37	2.00 1.71	1.40 2.59	12.00 13.03	0.19 /	56.7 75.4	1.6 /	0.17 /	/
		粘粒												高岭蒙脱混合型
带	I-2 广东徐闻	黑土层 28—70	48.75 42.64	7.97 6.74	24.28 32.36	3.40 2.23	2.81 1.97	4.77 7.51	3.60 3.47	0.29 /	45.2 51.5	8.0 /	0.10 /	/
		粘粒												高岭型
亚热带	II-1 广西田东	黑土层 0—14	47.44 49.90	5.61 7.71	14.25 28.03	5.64 3.02	4.51 2.56	3.97 5.69	3.77 5.36	0.26 /	67.3 68.2	7.0 /	1.69 /	/
		粘粒												蒙脱水云母混合型
暖	III-1-1 安徽蒙城	黑土层 25—40	69.63 57.49	4.71 8.04	13.32 22.54	8.87 4.32	7.23 3.52	4.42 4.39	0.59 1.67	0.12 /	12.5 20.8	20.0 /	0.83 /	/
		粘粒												蒙脱型
温	III-2-1 山东枣庄	黑土层 18—60	62.28 57.12	6.28 6.83	15.20 21.27	6.95 4.55	5.50 3.78	3.79 4.87	2.09 2.18	0.07 /	33.3 31.9	3.1 /	1.02 /	/
		粘粒												蒙脱型
带	III-2-3 山东宁阳	黑土层 18—56	70.28 59.01	4.43 5.88	13.38 20.75	8.91 4.82	7.35 4.08	4.73 5.52	0.93 /	0.03 /	21.0 /	3.4 /	0.94 /	/
		粘粒												蒙脱型
	III-2-4 山东高密	黑土层 35—82	64.79 55.77	5.51 6.51	15.34 23.24	7.61 4.07	5.83 3.45	4.36 5.59	1.44 2.28	0.12 /	26.2 35.0	3.2 /	0.82 /	/
		粘粒												蒙脱型
	III-2-5 山东淄博	黑土层 30—60	65.57 60.08	4.44 4.93	12.91 21.08	8.61 4.83	7.06 4.20	4.55 6.69	0.54 1.37	0.07 /	12.3 27.8	13.5 /	1.39 /	/
		粘粒												蒙脱水云母混合型

* SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃ 全量用 Na₂CO₃ 熔融法测定。Fe_d 用“DCB”法提取, Fe_t 用草酸铵—草酸缓冲液提取, 原子吸收光谱测定。粘土矿物类型用 X 射线衍射和透射电镜以及化学定量方法鉴定。

** bs 值 = $\frac{K_2O + Na_2O + CaO + MgO}{Al_2O_3}$ (分子比)。

表 2 土壤化学组成的比较*
Table 2 Comparison of chemical composition of Vertisols

化学成分 Chemical composition (%)	铁铝质变性土 Ferrallitic Vertisols		钙质 变性土 Calcareous Vertisols		地壳中元素的丰度 Abundance of elements in the crust (%)				
	海南广东剖面数 2 个 Two profiles		安徽剖面数 2 个 Two profiles			山东剖面数 5 个 Five profiles			
	平均值和标准差 Mean value and standard variation	样品数 Number of samples	平均值和标准差 Mean value and standard variation	样品数 Number of samples		平均值和标准差 Mean value and standard variation	样品数 Number of samples		
SiO ₂	42.60±4.67	8	48.47±9.46	8	67.89±2.33	8	62.18±3.65	23	57.64
Fe ₂ O ₃	14.88±5.35	8	5.74±1.71	8	4.91±0.43	8	4.91±0.43	8	6.73
Al ₂ O ₃	21.67±4.80	8	15.52±3.03	8	13.30±1.03	8	13.30±1.03	8	15.45
CaO	0.86±0.68	8	11.10±8.15	8	1.98±1.07	8	1.98±1.07	8	7.01
MgO	0.73±0.55	8	1.21±0.26	8	2.71±0.28	8	2.71±0.28	8	3.87
TiO ₂	7.38±4.99	8	0.61±0.12	8	0.69±0.03	8	0.69±0.03	8	0.88
MnO	0.075±0.039	8	0.080±0.040	8	0.086±0.009	8	0.086±0.009	8	0.15
K ₂ O	0.11±0.04	8	1.50±0.29	8	1.83±0.20	8	1.83±0.20	8	2.32
N ₂ O	0.21±0.39	8	0.25±0.10	8	1.37±0.08	8	1.37±0.08	8	2.87
P ₂ O ₅	0.11±0.05	8	0.13±0.05	8	0.12±0.01	8	0.12±0.01	8	0.23
烧失量	10.91±1.97	8	15.34±5.71	8	5.25±0.66	8	5.25±0.66	8	CO ₂ = 1.29
CaCO ₃	tr	8	19.17±14.27	8	2.71±1.72	8	2.71±1.72	8	
MgCO ₃	tr	8	0.22±0.15	8	0.52±0.24	8	0.52±0.24	8	

* 土壤全量化学组成用 N₂O, CO₂ 和 MgCO₃ 测定是用 0.025molL⁻¹HCl, 40°C 温度下浸提, 原子吸收光谱法测定。

表 3 土壤中微量元素丰度⁽¹⁾的比较
Table 3 Comparison of abundance of trace elements in soils

元素 Elements (ppm)	铁铝质变性土 Ferrallitic Vertisols		钙质变性土 Calcareous Vertisols		世界土壤中元 素的平均含量 Mean content of elements in soil of the world (ppm)	地壳中元素的丰度 Abundance of element in the crust (ppm)
	Two profiles		Nine profiles			
	平均值和标准差 Mean value and standard variation	样品数 Number of samples	平均值和标准差 Mean value and standard variation	样品数 Number of samples		
Cu	43.1±29.2	5	5.9±9.6	25	2~50	70
Zn	125.0±25.8	5	97.5±44.7	25	60	80
Co	69.9±59.0	5	11.7±6.7	25	3	40
Ni	157.1±52.6	5	38.3±19.3	25	40	100
Cr	364.2±100.4	5	101.4±89.7	25	200	200
V	326.9±165.3	5	112.6±26.8	25	100	150
Sr	tr	5	150.3±114.5	25	—	150
Ba	89.0±23.4	5	608.1±180.7	25	500	430
Pb	16.2±7.8	5	18.5±6.7	25	12	0.01

* 土壤中微量元素全量用 HF-HClO₄ 消化, Pb 用原子吸收光谱法, 其余元素用 ICP 等离子体光谱测定。

降水量和蒸发量的差别,不同气候带的变性土不可避免地受当地气候因素的影响,带有地带性烙印。从表 1 可以看出,自热带、亚热带到暖温带,随着纬度的增加,变性土土体及粘粒的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 分子比率明显地增大,而铁的游离度则有相反的趋势。同时粘土矿物类型和风化淋溶系数 (ba 值) 也存在着一定的差异(表 1)。但这种变化和差异与地带性土壤之间的变化和差异相比则小得多。而不同气候带气候因素对变性土发生的影响却有一个共同的特点,即干湿季节分明,造成土体中的干湿交替过程,促使了变性土特有形态的形成。

2. 母质的影响 不同母质上发育的变性土存在着差异。从颗粒组成上看,玄武岩坡积物上发育的变性土(I-1 和 I-2)和广西粘土岩残积物上发育的变性土(II-1和 II-2),粘粒($<0.002\text{mm}$)含量很高(平均值 $58.4 \pm 12.0\%$, $n = 16$),最高的可达 73.3%,其剖面分布也较为一致。而发育在淮北平原和山东半岛平原河湖相黄土状母质上的 7 个土壤剖面的土壤粘粒含量则相对较低,粉砂粒尤其是粗粉砂($0.01-0.05\text{mm}$)的含量则很高,有些层次远高于粘粒含量,达 50—70%,这与黄河中游标准黄土颗粒组成十分相似^[9]。并且在剖面分布上又表现为中、上部土体质地粘重,黑土层粘粒含量最高(平均值 $39.4 \pm 8.4\%$, $n = 7$),下部土体质地较轻,硬砂姜层粘粒含量最低(平均值 $26.8 \pm 6.7\%$),呈现出多元母质的特点。山东的几个剖面由于受山地河流冲积物的影响,又各自表现出某些不同的颗粒分布特点。

从化学成分上看(表 2),玄武岩坡积物发育的土壤(I-1 和 I-2),其铁铝氧化物含量远远高于其它剖面,虽然富铝化程度较砖红壤弱,但在土壤地球化学分类上仍属于富铝类型^[17]。而发育在钙质母质上的 9 个土壤剖面各层次中均含有数量不等的碳酸盐,在地球化学分类上属于碳酸盐类型^[17]。为了便于比较,本文把前者称为铁铝质变性土,后者称为钙质变性土。表 2 的结果还表明,9 个钙质变性土之间由于母质成因类型的不同,在化学组成上也存在着一定的差异。

母质类型的不同对土壤中微量元素的丰度影响更大。从表 3 可以看出,铁铝质变性土中 Co、Ni、Cr、V 等铁族元素的含量远高于钙质变性土,而 Sr 和 Ba 两个碱土金属元素则恰恰相反(表 3)。这些都充分说明,土壤往往会继承母质的某些特性。

3. 地形的影响 从表 4 可以看出,发育在玄武岩凹地坡积物上的变性土,土体和粘粒的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 分子比率显著地高于发育在玄武岩台地残积物上的砖红壤,土壤 pH 值和风化淋溶系数 (ba 值) 也明显较高,而铁的游离度则明显较低。说明变性土脱硅富铝化作用较弱,风化淋溶作用也较弱。变性土中含有更多的 2:1 型胀缩性粘土矿物,并在 I-1 剖面中出现了砖红壤中所没有的蒙脱石,其 CEC 远高于砖红壤(表 4)。且变性土的剖面层次发育不明显。在我国暖温带主要属于变性土的砂姜黑土(黑粘土)与白浆土的土链组合中,处于较低部位的砂姜黑土,土壤 pH 值、代换量、粘粒的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 分子比率都明显地高于较高部位的白浆土,而铁的游离度则明显低于白浆土^[9]。砂姜黑土与地带性土壤(棕壤、褐土)相比,差异更为显著^[13,14]。

从以上讨论可以认为,变性土是由母质和地形所支配的在干湿交替气候条件下所形成的“隐域性”土壤。

(二) 变性土的某些地球化学特征

表 4 变性土与地带性土壤
Table 4 Comparison of some genetic

剖面号及地点 Profile No. and locality	土壤类型 Soil type	母质 Parent material	地形 Relief	层次 Horizon	深度 (cm) Depth	pH (H ₂ O)	交换量 CEC (cmol kg ⁻¹)	
							土体 Soil	粘粒 Clay
I-1 海南琼山	变性土	玄武岩 坡积物	台地凹 陷低地	A 黑土层	0—20 50—80	5.7	7.18	15.51
						7.5	18.39	34.76
I-2 广东徐闻	变性土	同上	同上	A 黑土层	0—20 28—70	5.8	9.99	14.20
						6.3	13.49	18.32
*玄-6(Q ₁) 海南琼山	砖红壤	玄武岩 残积物	台地中 上部	A B	0—20 20—75	5.1	6.6	4.7
						5.3	3.6	3.8
*玄-2(Q ₂) 海康英利	砖红壤	同上	同上	A B	0—20 20—145	4.8	7.9	8.7
						5.1	4.3	7.7

*玄-6、玄-2的资料,参考史学正,1984(硕士论文),油印稿及参考文献[5]。

1. 铁铝质变性土形成中的某些地球化学特征 我国热带地区玄武岩风化物上发育的变性土与砖红壤在地形序列上呈土链组合,在亚热带也有类似情况^[6]。在地貌上,砖红壤遭受侵蚀,而变性土则接受沉积。在地球化学上,砖红壤涉及到元素的淋溶和迁移过程。但由于其所处的母质和气候条件相同,在元素的迁移序列上也存在着某些相似之处。为了便于比较,我们将变性土和砖红壤元素的富集系数和迁出量列于表5中。结果表明,4个剖面都是以 Fe、Al、Ti 富集较多,富集系数均大于1。而 Ca、Mg、K、Na 大多已淋失,富集系数远小于1。元素相对富集的顺序在不同剖面之间也有差异。砖红壤中的氧化物相对富集顺序为 $TiO_2 > Fe_2O_3 \approx Al_2O_3 > MnO > P_2O_5$; $^{1)} > SiO_2 > K_2O > MgO > Na_2O > CaO$ 。海南琼山 I-1 变性土剖面中元素的相对富集顺序为 $TiO_2 > Fe_2O_3 > Al_2O_3$; $> MnO > SiO_2 > P_2O_5 > K_2O > CaO > MgO > Na_2O$ 。广东徐闻 I-2 变性土剖面中元素的相对富集顺序为 $TiO_2 > Al_2O_3 > SiO_2$; $> P_2O_5 > Fe_2O_3 > MnO > K_2O > Na_2O > CaO > MgO$ 。从上述比较中可以看出,由于海南琼山的年降雨量(1500.5mm)大于广东徐闻的年降雨量(1339.5mm),而年蒸发量则是海南琼山(1594.5mm)小于广东徐闻(1946.3mm),所以在较湿润条件下,Fe₂O₃比Al₂O₃更易在洼地中富集,锰与铁的化学性质相近,在I-1剖面中富集程度也高于I-2剖面。由于I-1剖面中铁含量和铁富集率远高于铝,因此在土壤地球化学分类上属于铁质富铝化变性土。而I-2剖面铝的含量和富集率则远高于铁,在土壤地球化学分类上属于铝质富铝化变性土^[7]。但变性土与砖红壤相比,两个变性土剖面的 Fe₂O₃、Al₂O₃ 和 MnO 的富集系数都明显地低于砖红壤,有的甚至差1倍以上。而 TiO₂、SiO₂ 和 CaO、MgO、K₂O 和 Na₂O 的富集系数则明显地高于砖红壤,有的高出几倍甚至十几倍,迁出量的结果从另一

1) : 左边的元素氧化物富集系数 ≥ 1 , 表示元素在土壤中富集,而;右边的元素氧化物富集系数 < 1 , 是土壤中淋失的元素。但为了表示相对富集的顺序,仍按富集系数的大小排列。

某些发生特点的比较

characteristics between Vertisols and Latosols

SiO ₂ /Al ₂ O ₃		SiO ₂ /R ₂ O ₃		铁游离度(%) Fe _d /Fe _t		ba 值 ba Value	粘土矿物 Clay mineral
土体 Soil	粘粒 Clay	土体 Soil	粘粒 Clay	土体 Soil	粘粒 Clay		
5.50 3.40	1.98 2.37	2.70 2.00	1.44 1.71	34.5 56.7	78.2 75.4	0.23 0.17	高岭石为主,较多 蒙脱石和针铁矿
3.11 3.40	2.05 2.23	2.51 2.81	1.76 1.97	60.0 45.2	59.9 51.5	0.11 0.10	高岭石为主,较多 蛭石针铁矿
1.94 1.41	1.34 1.25	1.15 0.92	0.94 0.87	76.3 78.0	89.3 90.9	0.05 0.03	高岭石赤铁矿为主,较多 三水铝石,少量蛭石
2.28 2.14	1.65 1.65	1.60 1.51	1.21 1.21	79.3 84.4	82.6 82.4	0.03 0.02	高岭石为主,三水铝石,赤 铁矿、针铁矿、少量蛭石

侧面验证了上述的结论(表 5)。从表 4 某些发生特点的比较来看,变性土的 ba 值在 0.1 以上,而砖红壤在 0.05 以下。变性土土体和粘粒的 SiO₂/Al₂O₃ 和 SiO₂/R₂O₃ 分子比率大于砖红壤,而铁的游离度则小于砖红壤,进而说明变性土的脱硅富铝化成土作用也较弱。另外在 1-2 剖面中 SiO₂ 的富集系数为 1 超过了 Fe₂O₃,这是由于台地砖红壤脱硅富铝化过程中所产生的活性 SiO₂ 进入了低地,同时为变性土中 2:1 型粘土矿物的合成和稳定提供了物质基础和必要条件。综上分析表明,尽管铁铝质变性土成土过程中有富铝化特征,但与地带性土壤相比则相对较弱。

2. 钙质变性土形成中的某些地球化学特征 钙质变性土中常出现铁锰结核和钙质结核。结核作为最常见的土壤新生体,是土壤中元素迁移和富集的产物,不仅具有表征成土过程的意义,而且对于研究环境变迁也有重要意义。

(1) 结核中元素的富集 铁锰结核中由于铁锰氧化物的富集,一些重金属元素也随之在铁锰结核中强烈富集。而钙质结核中富集的元素主要是 Ca,其次是 Sr 和 Mn。钙质结核中 CaO 含量可高出土体几倍到几十倍,且主要以 CaCO₃ 的形式存在。而 Si、Fe、Al、Ti 等元素含量则显著地低于土壤,表现为明显的富 Ca 贫 Si 和 Ti^[21]。

(2) 土壤中元素间以及元素与成土过程的关系 根据 R 型因子分析方法的原理^[7],对 25 个钙质变性土土层样品的 19 个元素含量计算相关系数矩阵^[22],再用雅可比法求得特征值与特征向量,得出 R 型因子载荷矩阵,选取前四个主因子,其累积方差贡献率已达 78.6% (表 6)。因此可以认为已经提取了足够分析的信息量。

从表 6 可以看出,第一主因子以 Mn 为代表性元素,其次是 Fe,是钙质变性土氧化还原过程中元素活跃程度的量度。正向载荷较大的是 Mn、Fe、Co、Ni、V 等变价元素,表明这些元素的迁移和富集是由于土体内的氧化还原过程所引起的。而与 Fe、Mn 元素地球化学性质不同的 Ca、Sr、Na 等元素为负向载荷,说明这些元素的迁移和富集与氧化还原过程无关。

表 5 铁铝质变性土与地带性砖红壤元素富集和迁移的比较(氧化物含量是占灼烧土重的%)

Table 5 Comparison of element enrichment and translocation between ferrallitic Vertisols and Latosols

剖面号及地点 Profile No. and locality	土壤类型 Soil type	层次 Horizon	深度 Depth (cm)	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CsO	MgO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
I-1 海南琼山	变性土	耕作层	0-20	42.59	21.38	13.14	0.38	0.81	19.47	0.171	0.00	0.15	0.10
		黑土层	50-80	41.88	23.23	20.88	1.04	0.57	10.73	0.098	0.08	0.10	0.07
		富集系数* 迁移量**		0.80 37.30	1.83 -43.60	1.27 0	0.10 92.34	0.09 92.55	7.30 -473.9	0.81 36.27	0.13 89.99	0.04 96.68	0.33 73.94
玄-6(Q ₁) 海南琼山	砖红壤	A	0-20	33.13	31.32	28.81	0.17	0.29	5.09	0.291	0.20	0.15	0.37
		B	20-75	29.12	29.24	35.13	0.08	0.23	5.26	0.259	0.11	0.09	0.33
		母岩(玄武岩)		52.9	12.32	13.99	7.97	7.03	1.95	0.157	0.66	2.84	0.32
I-2 广东徐闻	变性土	富集系数 迁移量		0.57 76.13	2.42 -0.01	2.39 0	0.01 99.45	0.04 98.54	2.67 -11.86	1.70 28.72	0.21 91.51	0.04 98.44	1.06 55.47
		耕作层	0-20	51.75	10.65	28.18	0.65	0.69	5.35	0.069	0.18	0.08	0.20
		黑土层	28-70	54.41	8.90	27.10	0.78	0.51	5.61	0.007	0.15	0.06	0.10
玄-2(Q ₂) 海南英利	砖红壤	富集系数 迁移量		1.00 46.13	0.92 50.38	1.84 0	0.09 95.10	0.07 95.96	4.68 -153.9	0.49 73.34	0.31 83.35	0.13 98.62	0.94 48.79
		A	0-20	42.65	21.02	31.75	0.05	0.21	3.01	0.283	0.16	0.07	0.09
		B	20-145	41.54	21.50	32.95	0.04	0.18	2.93	0.242	0.11	0.09	0.16
	母岩(玄武岩)			53.89	10.34	14.88	8.17	7.73	1.18	0.131	0.52	2.61	0.14
		富集系数 迁移量		0.77 64.89	2.07 5.92	2.20 0	0.01 99.77	0.02 98.92	2.49 -0.13	1.89 14.20	0.23 89.80	0.03 98.48	1.08 51.26

* 土壤富集系数由 A, B(A, B) 层含量的加权平均值除以母岩中的含量而得。

** 迁移量 = 母岩氧化物% - (A, B 层含量加权平均值 × 母岩 Al₂O₃/A, B 层 Al₂O₃ 含量的加权平均值) × 100%

表 6 钙质变性土中元素的 R 型主因子载荷特征向量

Table 6 Main factor loading eigenvector of elements in calcareous Vertisols by R mode

主因子 Main factor		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
特征值 Eigen value		7.177	4.156	2.538	1.049
贡献率 (%) Var.	各主因子 Each factor	37.8	21.9	13.4	5.5
	累积 Cum.		59.7	73.1	78.6
1. Si		0.040	-0.286	-0.462	-0.070
2. Fe		0.309	0.155	0.095	-0.124
3. Al		0.240	0.251	-0.176	-0.340
4. Ca		-0.208	0.121	0.450	0.197
5. Mg		0.188	-0.237	-0.131	0.422
6. Ti		0.115	0.198	-0.406	-0.032
7. Mn		0.323	-0.035	0.236	0.110
8. K		0.069	-0.361	-0.182	-0.169
9. Na		-0.033	-0.472	-0.083	0.085
10. P		0.027	0.117	-0.222	0.730
11. Cu		0.274	0.085	0.213	0.031
12. Zn		0.196	0.139	-0.210	0.088
13. Co		0.332	-0.032	0.175	0.118
14. Ni		0.334	-0.145	0.064	0.099
15. Cr		0.188	0.191	-0.126	-0.022
16. V		0.352	0.083	0.002	-0.079
17. Sr		-0.090	-0.386	0.171	-0.125
18. Ba		0.256	-0.278	0.092	-0.107
19. Pb		0.266	-0.187	0.198	-0.006
主要元素 关联	正向	Mn, Fe, Co, Ni, V	Al, Ti, Cr, Zn	Ca, Mn, Sr, Cu, Pb, Co	P, Ca, Mg
	负向	Ca, Sr, Na	Fe, Sr, K, Si	Si, Ti, P, Zn	Fe, Al, K
代表性 土壤样品	F 值	S ₁₆ , F ₁ = 10.032	S ₁₅ , F ₂ = +4.081	S ₄ , F ₃ = +3.500	F ₁₁ , F ₄ = +2.62
		S ₂₁ , F ₁ = -3.560	S ₁₃ , F ₂ = -2.235	S ₇ , F ₃ = -3.360	S ₁₅ , F ₄ = -2.15

第二主因子以 Al 为代表性元素, 其次是 Ti。如果将此主因子的特征向量乘以 -1, 即改变分量的符号, 它仍然是该主因子的特征向量^[4]。改变正负量后, 显而易见 Na 和 Sr 为代表性元素, 因此 F₂ 是土壤淋溶过程中元素易淋失程度的量度。改变正负量后, Na、Sr、K、Si 具有较大的正向载荷, 说明在成土过程中, 一旦这些元素经风化从矿物中释放出来, 是易淋溶和迁出土体的元素。而 Al、Ti、Cr、Zn 等元素具有较大的负向载荷, 是相对稳定不易淋失的元素。由于钙质变性土风化淋溶作用较弱, 所以 Na、Sr、K、Si 等易淋溶元素的淋失和迁出也是很少的, 而实际上它们在 F₂ 中具负向载荷也正说明了这一点。

第三主因子以 Ca 为代表性元素, 是钙质变性土中元素迁移和富集过程中元素活跃程度的量度。正向载荷最大的是 Ca, 其次是 Mn、Sr、Cu、Pb、Co, 说明 Ca 是钙质变性

土成土过程中迁移并在某层次中富集最活跃的元素,同时 Mn、Sr 也较为活跃。而 Cu、Pb、Co 等元素的活跃迁移主要受锰氧化物专性吸附所致^[21]。Si、Ti、Zn、Al、P 等元素具有较大的负向载荷,它们是钙质变性土元素迁移和富集过程中较为惰性的元素。

第四主因子以 P 为代表性元素,是钙质变性土 P 有效化过程中元素作用强弱的量度。P 在 F₄ 中具有最大的正向载荷,其次是 Mg 和 Ca,这与钙质土壤中 Ca-P 含量高的事实相符^[20]。但许多研究表明,钙质变性土中由于氧化还原过程频繁交替,P 大多成为闭蓄态 (O-Fe-P 和 O-Al-P),甚至超过 Ca-P 含量^[13,14]。土壤淹水(如旱田改水田)或滞水造成的土壤还原条件则有利于闭蓄态 P 向非闭蓄态转化^[20]。在 F₄ 中 Fe 和 Al 具较大负向载荷,说明 Fe、Al 在 P 的闭蓄机制中对 P 形态的转化起着重要作用。全量分析结果以及大量资料都表明,钙质变性土的黑土层全 P 量明显低于上、下土层^[13,14]。这是由于黑土层是植物根系可达的层次,且质地粘重,雨季可经常处于还原状态,闭蓄态 P 可向非闭蓄态较为有效的形态转化而经常不断地被植物吸收所致。F₄ 的负向代表性样品 (S₁₇) 正是剖面 III-2-2 的黑土层,是所有 25 个样品中全 P 量最低的,也证明这个过程的存在。Fe 和 Al 具较大负向载荷,正说明钙质变性土中 P 在某些情况下是以闭蓄态形式存在,所以土壤中 P 的有效性是很低的,这与众多的分析结果是相吻合的^[14]。

将第一主因子载荷为纵轴,第二主因子载荷为横轴作图(图 2),更明显地表示出钙质变性土中元素间以及元素与成土过程的关系。变价元素 Mn、Fe、Co、Ni、V 等聚集在横轴的右端,它们的地球化学性质相近,是钙质变性土氧化还原过程中活跃的元素。稳定元素 Al、Ti、Cr、Zn 等聚集在右上方,在 F₂ 上具较大正值,而易淋溶元素 Na、Sr、K、Si 则聚集在纵轴下方,在 F₂ 上具较大负值,正说明钙质变性土淋溶作用弱,易淋溶元素也很少淋溶和迁出土体。Ca 单独分布在左上方,是钙质变性土中迁移和在某层次中富集的元素。

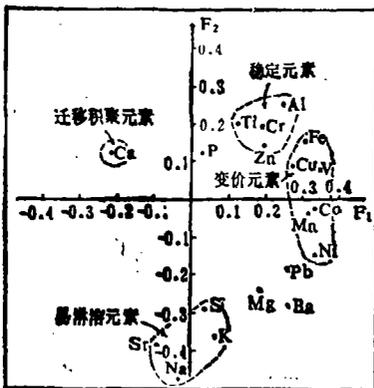


图 2 钙质变性土元素间以及元素与成土过程的关系

Fig. 2 Relationship among elements and relationship between elements and soil-forming process in calcareous Vertisols

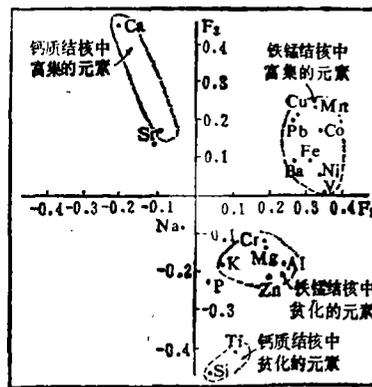


图 3 钙质变性土元素在迁移和富集过程中的关系

Fig. 3 Relationship among elements in the process of translocation and enrichment in calcareous Vertisols

将第一主因子载荷和第三主因子载荷作图(图 3),可以看出元素在迁移和富集过程中的关系。Ca 和 Sr 分布在左上方,钙富集时, Sr 也随之富集,而 Si 和 Ti 分布在右

下方,说明 Ca 富集时, Si 和 Ti 则贫化。钙质结核是 CaCO_3 的富集产物, 结核中富 Ca、Sr, 贫 Si、Ti 的事实与土壤中元素迁移富集的分析结果完全吻合。Mn、Fe、Co、Ni、V 和 Cu、Pb、Ba 等元素聚集在右上方, 它们都是铁锰结核中富集的元素^[12]。表明这些元素有着共同的迁移富集特征, 这与元素的地球化学性质相近和铁锰氧化物的专性吸附密切相关^[10, 21]。而 K、Zn、Al、Cr、Mg 等元素聚集在右下方, 它们是铁锰结核和钙质结核中都贫化的元素, 表明这些元素在成土过程中的地球化学行为既不同于 Fe 和 Mn, 也不同于 Ca 和 Sr。

从以上讨论可以看出, 元素的主因子分析更明确地揭示了钙质变性土形成中的两个重要成土地球化学过程, 即(1)Ca 和 Sr 的活跃迁移并在某层次富集或形成钙质结核的过程; (2)Mn、Fe、Co、Ni 等变价元素的活跃迁移, 并在土体中聚积形成锈斑、胶膜、凝团或铁锰结核的过程, 同时由于铁锰氧化物的专性吸附作用, Cu、Pb、Ba、P 等元素也随之迁移和富集。另外还揭示了钙质变性土中 P 的地球化学形为以及 P 在其形态转化过程中与其它元素之间的关系。

三、关于变性土的分类

在现代土壤系统分类出现之前, 变性土及其变性土型土壤至少有 50 多个地方性和乡土性名称。如腐殖质黑粘土 (Grumusols, 美国), 黑棉土 (Regur, Black cotton soils, 印度), 黑粘土 (Black clays, 澳大利亚), 蒂尔黑土 (Tirs, 摩洛哥) 等等。“Vertisols” 这个名称是 1956 年在巴黎举行的第六次国际土壤学会上首次被引用的^[25]。美国第七次土壤分类草案 (1960) 以及 “Soil Taxonomy” (1975) 中都把 “Vertisols” 作为十大土纲之一。此后被越来越多的国家所接受, 因而在各国的科技文献中广被应用。

目前世界上对变性土的分类采用较多的是美国土壤系统分类制^[25, 26, 27]。首先按照变性土的诊断特性鉴定变性土纲 (Vertisols), 然后按照土壤水分状况将变性土划分为夏旱变性土 (Xererts)、干热变性土 (Tortisols)、湿润变性土 (Uderts)、半干润变性土 (Usterts) 四个亚纲和按颜色指标划分土类^[9]。联合国世界土壤图 (FAO/UNESCO, 1974) 也将变性土作为一级上图单元, 其下续分为: (1) 暗浊变性土 (Pellic Vertisols); (2) 艳色变性土 (Chromic Vertisols)^[22]。最近国际变性土委员会 (ICOMERT) 建议在变性土原有四个亚纲的基础上, 增设潮湿变性土 (Aquerts) 和冷凉变性土 (Boreerts) 亚纲。土类的划分不在以颜色为依据, 而是按盐基饱和、水分状况和是否有硬盘、盐积层等划分土类。联合国世界土壤图例 (1988, 修订版) 继 1987 年修改稿的基础上又作了进一步修改, 将变性土续分为: 饱和变性土 (Eutric Vertisols)、不饱和变性土 (Dystric Vertisols)、钙积变性土 (Calcic Vertisols) 和石膏变性土 (Gypsic Vertisols) 四个二级单元^[28]。

中国土壤系统分类初拟 (1985) 首次明确设立了变性土纲^[4]。该分类的二稿 (1987) 根据我国的具体情况将我国的变性土分为湿润变性土和潮湿变性土两个亚纲, 并根据颜色指标将湿润变性土分为黑粘土和红粘土两个土类, 将潮湿变性土分为青粘土和棕粘土土类。根据二稿的鉴定标准, 本文所研究的 11 个剖面, 除 III-2-3 外, 其余 10 个均属于变

表 7 供试土壤所属土纲亚纲和土类(首次方案)
Table 7 Comparison of order, suborder and great group of studied soils among

剖面代号 Profile No.	地点 Locality	黑土层粘土矿物类型 Type of clay mineral of black horizon	黑土层 线胀系 数 (COLE) Black horizon	黑土层 有机质 Black horizon O. M. (%)	显示明显变性特征土层的颜色 Color of characteristic horizon		中国 CSTC 土纲 Order
					干态 Dry	湿态 Moist	
I-1	海南琼山	高岭蒙脱混合型	—	0.92	褐灰(10YB4/1)	黑褐(10YR3/1)	变性土
I-2	广东徐闻	高岭型	—	1.41	褐灰(10YR5/1)	黑褐(10YR3/1)	变性土
II-1	广西田东	蒙脱水云母混合型	—	0.64	黄橙(10YR7/3)	黄橙(10YR6/4)	变性土
II-2	广西百色	蒙脱水云母混合型	0.096	0.63	浅黄(2.5Y8/4)	浅黄(2.5Y7/4)	变性土
II-1-1	安徽蒙城	蒙脱型	0.105	1.24	褐灰(10YR4/1)	黑(10YR2/1)	变性土
II-1-2	安徽涡阳	蒙脱型	0.100	0.80	褐灰(10YR5/1)	黑褐(10YR3/1)	潮湿土
III-2-1	山东枣庄	蒙脱型	—	1.45	黑褐(10YR3/1)	黄(10YR2/1)	变性土
III-2-2	山东临沂	蒙脱型	0.091	1.04	黑褐(10YR4/2)	黑褐(10YR3/1)	变性土
III-2-3	山东宁阳	蒙脱型	—	0.73	黄褐(10YR4/2)	黑褐(10YR2/2)	潮湿土
III-2-4	山东高密	蒙脱型	0.112	0.96	褐灰(10YR4/1)	黑(10YR2/1)	变性土
III-2-5	山东淄博	蒙脱水云母混合型	—	0.95	褐灰(10YR4/1)	黑(10YR2/1)	潮湿土

性土土纲。但二稿中变性土纲和土类划分的标准不够具体和严格,并且没有提出其它土纲中变性土型亚类的具体指标。

近年来我国变性土发生分类的研究有了很大进展,随着研究的深入和资料的积累,对制订变性土及变性型土壤分类的具体诊断指标提出进一步的要求。最近中国土壤分类协作组对二稿进行了修订。按颜色指标将湿润变性土亚纲分为浊粘土和艳粘土两个土类,潮湿变性土亚纲只设黑粘土土类。同时在有关土纲中增设了变性的亚类,并制订了相应的指标^[5]。按照首次方案中关于变性特性、土壤水分状况和颜色等定量诊断标准,现将本文所研究的 11 个土壤剖面所属土纲、亚纲和土类以及与美国土壤系统分类和联合国世界土壤图上图单元的比较列于表 7 中。由表可见,11 个剖面中有 8 个是属于中国土壤系统分类中的变性土土纲,这与美国土壤系统分类和世界土壤图一级上图单元正相符合。其余 3 个属于中国土壤系统分类中的潮湿土土纲和美国土壤系统分类中的新成土土纲(Entisols)。8 个变性土剖面中有 4 个属于湿润变性土亚纲,其中 I-1 和 I-2 两剖面属浊粘土土类,而 II-1 和 II-2 两剖面则属于艳粘土土类。另外 4 个变性土剖面均属于潮湿变性土亚纲中的黑粘土土类。而 III-1-2、III-2-3 和 III-2-5 三个剖面则属于正常潮湿土亚纲中的砂姜黑土土类(表 7)。

我国的变性土分布面积最大而且最为集中的是砂姜黑土地区。根据首次方案对变性土和变性土型土壤的定义和诊断指标,综合本文以及以往的研究,我国现行分类中的砂姜黑土,有一部分属于变性土。它们是从土表至 50 厘米或更深处的各亚层含有 $\geq 30\%$ 的

与美国土壤分类及世界土壤图上图单元的比较

CSTC (1st Project), Soil Taxonomy (USDA) and Map unit in Map of the world

土壤系统分类 (首次方案) (1st Project)		美国土壤系统分类 (Soil Taxonomy, U. S. A., 1975)			联合国世界土壤图上图单元 Map unit in map of the world (FAO/UNESCO, 1988)	
亚纲 Suborder	土类 Great group	土纲 Order	亚纲 Suborder	土类 Great group	一级上图单元 1st map unit	二级上图单元 2nd map unit
湿润变性土	洩粘土	Vertisols	Uderts	Pelluderts	Vertisols	Eutric Vertisols
湿润变性土	洩粘土	Vertisols	Uderts	Pelluderts	Vertisols	
湿润变性土	洩粘土	Vertisols	Uderts	Chromuderts	Vertisols	Calcic Vertisols
湿润变性土	洩粘土	Vertisols	Uderts	Chromuderts	Vertisols	
潮湿变性土	黑粘土	Vertisols	Usterts	Pellusterts	Vertisols	— —
正常潮湿土	砂姜黑土	Entisols	Aquents	Haplaquents	—	
潮湿变性土	黑粘土	Vertisols	Usterts	Pellusterts	Vertisols	Calcic Vertisols
潮湿变性土	黑粘土	Vertisols	Usterts	Pellusterts	Vertisols	
正常潮湿土	砂姜黑土	Entisols	Aquents	Haplaquents	—	—
潮湿变性土	黑粘土	Vertisols	Usterts	Pellusterts	Vertisols	Calcic Vertisols
正常潮湿土	砂姜黑土	Entisols	Aquents	Haplaquents	—	

粘粒(< 2 微米)(在土壤受耕作施肥影响下,耕作层的质地可能稍轻,但上部18厘米的粘粒含量的加权平均值应至少为30%),并且具备变性土诊断特性的砂姜黑土,在首次方案中称为黑粘土土类。如 III-1-1、III-2-1、III-2-2 和 III-2-4 四个剖面。而其余的砂姜黑土则归为潮湿土纲中的四个剖面。其中具备(1)大多数年份的某一时期,在50厘米深度中有宽度 ≥ 0.5 厘米的裂隙,在某些部位至少长30厘米,并向上延伸至土表或耕层底部;(2)土表至50厘米深度范围内,若干亚层的粘粒含量 $\geq 35\%$;(3)土表至50厘米深度范围内,若干亚层的线性膨胀系数(COLE) ≥ 0.05 ;(4)土表至1米深度范围内可能线胀度(PLE) ≥ 6 厘米等变性现象的,则属于变性的砂姜黑土亚类,如 III-1-2 剖面。不具备上述变性现象的则属于砂姜黑土中的其它亚类,如 III-2-3 和 III-2-5 剖面。因此砂姜黑土中有相当一部分属于变性土或变性土型土壤,尚有一部分则无明显的变性特征。其具体的比例和分布面积有待进一步的研究。其它有关土纲中变性土型亚类的诊断指标除 COLE 稍有不同外,其余指标均与砂姜黑土土类相同。

关于我国变性土的诊断指标,亚纲、土类和亚类的划分依据,高级分类与基层分类的衔接还有待于进一步的研究,既要参照国际上普遍采用的标准,以便国际间交流,又要结合我国的具体情况来确定。由于我国的变性土大多是耕种土壤,并深受水成作用的影响,地表的开裂和闭合远不如国外变性土明显,所以在划分亚纲时就不能照搬美国按土壤中裂隙开闭次数和天数的标准^[9]。划分土类时的颜色指标和土层范围也应有所差别。另外,我国除目前首次方案中提出的湿润和潮湿两变性土亚纲外,还可能有其它类型的变性

土存在。最近有的土壤工作者提出我国可能存在夏旱变性土、干热变性土和冷凉变性土^[6]。但由于目前有关资料甚少,在分类系统中还不能全部体现出来。这些都需要我们进一步深入的研究,以使我国变性土的分类更趋完善。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所土壤分类课题组, 1985: 中国土壤系统分类初拟。土壤, 第 17 卷 6 期, 290—310 页。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类基金课题组, 1987: 中国土壤系统分类(二稿)。土壤学进展, 土壤系统分类研讨会特刊。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 1990: 中国土壤系统分类(首次方案)。科学出版社。
- [4] 中国科学院地质研究所, 1964: 第四纪地质问题。科学出版社。
- [5] 史学正、龚子同、李庆远, 1987: 不同时期形成的铁质富铝土特性及其在发生上的意义。土壤学报, 第 24 卷 2 期, 170—179 页。
- [6] 朱鹤健、谭炳华、陈健飞, 1989: 福建省变性土特性的研究。土壤学报, 第 26 卷 3 期, 287—297 页。
- [7] 余金生、李裕伟, 1985: 地质因子分析。110—137 页, 科学出版社。
- [8] 林世如、杨心仪, 1986: 广西膨胀土形成发育的环境条件及其性态观察。广西农业科学, 第 6 期, 20—24 页。
- [9] 赵其国等译, 1985: 美国土壤系统分类检索。科学出版社。
- [10] 南京大学地质学系, 1979: 地球化学。科学出版社。
- [11] 南京大学地理系地貌教研组, 1961: 第四纪地质学。人民教育出版社。
- [12] 张民、龚子同, 1989: 钙质变性土形成中的某些地球化学特征。土壤, 第 21 卷 5 期, 226—233 页。
- [13] 张俊民主编, 1986: 山东省山地丘陵区土壤。山东科技出版社。
- [14] 张俊民主编, 1988: 砂姜黑土综合治理研究。安徽科技出版社。
- [15] 黄瑞采等, 1987: 中国变性土和变性土性土壤的地理分布。南京农业大学学报, 第 10 卷 4 期, 63—68 页。
- [16] 黄瑞采等, 1988: 关于中国土壤系统分类中变性土分类研究的商榷。南京农业大学学报, 第 11 卷 1 期, 65—69 页。
- [17] 龚子同, 1980: 我国成土风化壳的地球化学类型。土壤专报, 第 37 号, 1—22 页。
- [18] 席承藩, 1983: 我国土壤分类与国际土壤分类的评比研究。土壤专报, 第 38 号。
- [19] 耿国强、徐琪、熊毅, 1987: 苏北砂姜黑土与白浆土的形成同生态环境演变的关系。土壤学报, 第 24 卷 4 期。
- [20] 蒋 柏藩, 1981: 磷肥在土壤中的形态、转化及其有效性。土壤学进展, 第 3 期, 1—11 页。
- [21] 熊 毅等, 1983: 土壤胶体。第一册, 土壤胶体的物质基础。科学出版社。
- [22] FAO/UNESCO, 1974: "Soil map of the world 1:5, 000,000", Vol. 1, Legend, Paris.
- [23] FAO/UNESCO, 1988: "Soil map of the world 1:5, 000,000", Vol. 1, Legend, Revision, Rome.
- [24] Pan, G. X. & Huang, R. C., 1988: Investigation on Vertisols in the tropical and subtropical regions of China. Advances in soil science.
- [25] SMSS, 1983: "Keys to Soil Taxonomy", Technical Monograph. No. 6, Cornell University, Ithaca, New York.
- [26] Soil survey staff, 1975: "Soil Taxonomy", U. S. A. Dep. Agricultural Handbook No. 436, Washington, D. C.
- [27] Wilding, L. P., et al., 1983: Pedogenesis and Soil Taxonomy. II. Soil orders, Chpt. 3. Elsevier pub. Co., Amsterdam.
- [28] Wilding, L. P. & Puentes, R., 1988: VERTISOLS: their distribution properties, classification and management. Texas A & M University Printing Center.

DISTRIBUTION, CHARACTERISTICS AND TAXONOMIC CLASSIFICATION OF VERTISOLS IN CHINA

Zhang Min

Gong Zitong

(Shandong Agricultural University, 271000)

(Institute of Soil Science Academia Sinica)

Summary

The paper deals with distribution, some genetic characteristics and taxonomic classifica-

tion of main Vertisols in China. Eleven profiles from main areas of Vertisols in China were studied. The research content included: (1) morphological features, physical and chemical properties, abundances of macro-elements and trace-elements, iron and manganese oxides and clay minerals of main soil genetic horizons; (2) chemical and mineralogical composition of iron-manganese concretions and calcareous concretions etc.

The results show that Vertisols and Vertisol-type soils in China are distributed widely from tropical zone, subtropical zone to warm temperate zone, which could be roughly divided into three areas: (I) tropical Udic Vertisol area, including two pell clay soil regions in depressed lowlands of basalt tablelands of the northern Hainan Island and Leizhou Peninsula; (II) subtropical Udic Vertisols area, including three pellic and chromic clay soil regions in lowlands, basins and river terraces of southern China, Yunnan-Guizhou Plateau and Sichuan basin; and (III) warm temperate zone Aquic Vertisol area, including three black clay soil regions in lowlands of Huaibei Plain, Shandong Peninsula Plain and Nanyang Basin. Their soil-forming factors are characterized by the alternation of wet and dry climate, low and flat terrain, parent material with abundant bases and heavy texture. The area of the soils was estimated at about one percent of the total land area of China.

Vertisols are formed under conditions of special geochemical environment and alternation of wet and dry climate, being greatly affected by local soil-forming factors. Once the soils formed, Vertisols always tend to "self-perpetuating" and show some "pedogenic inertia", which often results in the longer soil-forming time but weaker development degree of the soils. Generally speaking, Vertisols have some characteristics of Aquosols. In the soil-forming process, some variable valence elements, such as Fe, Mn, Co and Ni, translocate actively and form various iron-manganese concretions, nodules, rust streak, rust spot and so on. On the calcareous parent materials, meanwhile, Ca and Sr also translocate actively and form various carbonate concretions, calcareous concretions or duripans. Therefore, calcareous Vertisols have some characteristics of both aquosols and Pedocals.

Eight of all studied profiles belong to Vertisol order in CSTC (1st PROJECT) and also correspond with the criteria of Vertisols in "Soil Taxonomy" (USDA, 1975) and "Soil Map of the World" (FAO/UNESCO, 1988). Among all the profiles, two from tropical area (profile I-1 from Qiongsan, Hainan and profile I-2 from Xuwen Guangdong) belong to pellic clay soil group in Udic Vertisol suborder, two from subtropical area (profile II-1 from Tiandong and profile II-2 from Baise, Guangxi) belong to chromic clay soil group in Udic Vertisol suborder, four of seven profiles from warm temperate zone Shajiang black soil area belong to black clay soil group in Aquic Vertisol suborder, while the other three profiles belong to Shajiang black soil group in orthic Aquosol suborder under Aquosol order. One profile (profile III-1-2 from Guoyang, Anhui) has Vertic features and belongs to Vertic shajiang black soil subgroup, while the other two profiles (profile III-2-3 from Ningyang, profile III-2-5 from Zibo, Shandong) do not have evident vertic features.

Key words Vertisols, Geographic distribution, Genetic characteristics, Taxonomic Classification