

中国水稻土的粘土矿物*

張 效 年

(中国科学院土壤研究所)

土壤的粘土矿物組成,与土壤的物理化学性质和土壤肥力有密切的关系,例如,土壤的吸收性能、膨胀收缩、粘着性、持水性、透水性等都受着粘土矿物的类型和数量的深刻制约;某些粘土矿物如云英(illite)等,又是土壤钾素的有效来源。粘土矿物与腐殖质相结合所形成的有机无机复合体,可以使土壤形成良好的结构,提高土壤肥力。

由于水稻土的熟化速度较快,而粘土矿物的变化则比较缓慢,所以水稻土的粘土矿物的組成仍然受着水稻土的前身土壤的很大影响。由于水稻土前身的成土母质及其所受的风化作用和成土作用有所不同,因此它们的粘土矿物組成也有差异,很自然,这些差异也为水稻土所继承。但是在灌溉、耕耘、施肥等生产活动的影响下,土壤剖面中的铁、锰等活性部分的分化,表层粘粒的向下淋移,以及犁底层的形成等现象,表明在水稻土成土过程中受到了人为因子的深刻影响。粘土矿物的組成和数量虽然变化比较缓慢,但在频繁的农业生产活动中,仍有相当显著的变化。

我們应用X射线粉末照象法**、差热分析法***、化学分析法等鉴定了一部分水稻土的粘土矿物。研究时用研磨分散法提取小于2微米的粘粒,以 H_2O_2 除去有机质后,低温烘干、磨细。以下是这方面的主要研究结果。

一、成土母质对水稻土粘土矿物組成的影响

水稻土的前身是水稻土发育的基础。不同前身的矿物組成的差异,常被水稻土所继承,并明显地反映在其粘土矿物組成上,特别对一些熟化程度较低的水稻土,这种关系更为明显。

为了说明方便起见,将所研究的水稻土综合为六种情况来讨论。

(一) 砖红壤发育的水稻土

本类水稻土主要分布在华南热带地区,如广东西南部、云南东南部、福建东南沿海及台湾南端等地区。表1与图1,为其化学性质与差热曲线,附表1为其X射线衍射数据(34748和34750号标本的X射线衍射图谱见图8)。

由差热曲线看出,27951和27953号标本的主要粘土矿物是高岭类和三水铝石,前者以570℃左右吸热谷与1000℃左右的放热峰为其特征,275℃吸热谷为后者的典型热反

* 工作系在于天仁先生指导下完成,陈家坊、蒋剑敏、文启孝等同志提供很多意见。标本是由各野外队和工作点的同志供给。一般化学分析是由分析室测定。肖秀英、杨德湧等同志参加部分工作。

** X射线粉末照象法,采用Fe靶,电压35KV,电流10mA,曝光3小时左右,照象机分大小两种,大的直径114.6毫米,小的直径57.3毫米。

*** 差热分析法,采用自动控制加热、自动照象记录的差热分析仪。标本预先在饱和硝酸钙保湿器中放置四、五天。标本用量0.3克左右。

应。表 1 中,这两个标本的代换量低,每百克只有 10 毫当量左右,全钾仅分别为 0.38% 和 0.29%,吸着水也很低,而结合水却高达 18.0%,这也证明其主要粘土矿物为高岭类和三水铝石。

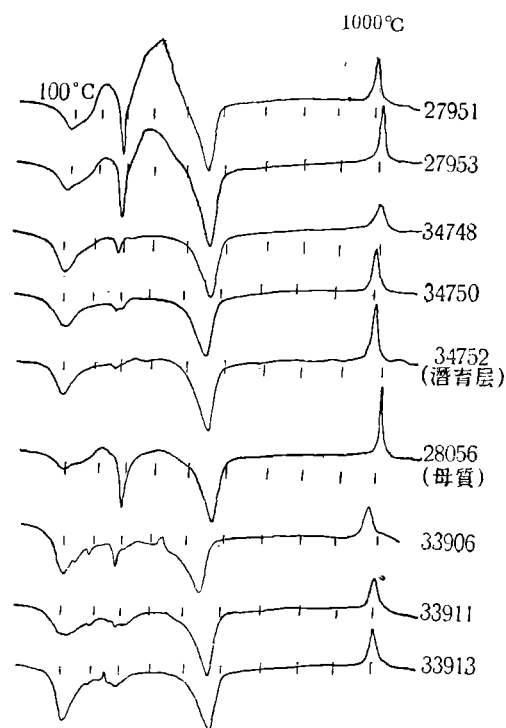


图 1 砖红壤母质及其发育的水稻土的差热曲线

福建漳浦、云南蒙自的标本以及广东徐闻的另外二个标本(34748、34750 号)与前述标本有所不同,虽然粘土矿物仍以高岭类为主,但三水铝石含量却大为减少,同时有明显的蒙脱类矿物存在,差热曲线低温吸热谷的变大,吸着水和代换量的增高,都指明这一点。蒙脱类矿物的晶层间距,视吸收水分子的多少而变化在 14—20 Å 之间,附表 1 中 33913 号标本的 16.3 Å 谱线和 33906 号标本的 15.8 Å 谱线以及图 8 中 34748 号标本的 14.7 Å 的小衍射峰即为蒙脱类矿物所有。我们认为这类土壤中的蒙脱类矿物,有的来源于其前身。但是,也有的是在水稻土成土过程中由于人为耕种的影响而产生的,关于这一点,在后面还要谈到。

本类水稻土含氧化铁量很高,从差热曲线和 X 射线衍射数据判断,应以含水氧化铁为主。石英含量很少,为本类土壤的又一特

点。33913 号标本可能含有少量迪开石(7.9 Å 谱线)。

典型的砖红壤是由玄武岩、石灰岩、玢岩等基性岩石在热带地区经强烈的风化作用而形成的。盐基淋失殆尽,并由于脱硅的结果,聚积了大量的铁铝氧化物,粘土矿物组成也较简单,以高岭石—三水铝石—赤铁矿为主^[1,2]。在长期种植水稻以后,粘土矿物仍以高岭类为主,但三水铝石明显减少,同时形成了不同量的蒙脱类矿物。采自徐闻的标本可做为砖红壤发育的水稻土的典型代表。

(二) 酸性母岩风化物及红壤发育的水稻土

这种水稻土广泛分布于长江以南各地,特别是酸性岩石的山区和丘陵地区分布更多。我们从江西、广东采集了一部分由花岗岩、片岩风化物及红壤发育的水稻土,进行了鉴定,其结果分别列于表 2、图 2 和附表 2。

由图 2 差热曲线看出,这些水稻土都是以高岭类矿物为主,560—580°C 的大吸热谷和 1000°C 左右的放热峰为其指示热

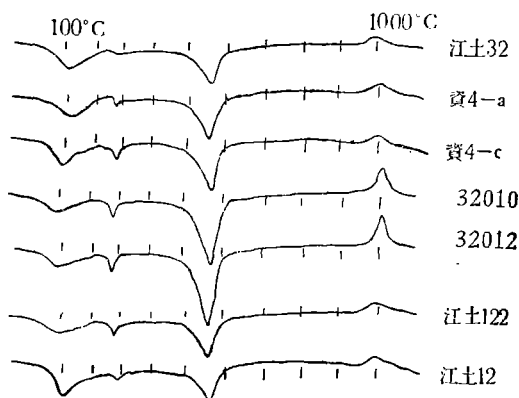


图 2 酸性母岩风化物及红壤发育的水稻土的差热曲线

表 1 磚紅壤發育的水稻土的化學性質

標本号	地 点	深 度 (厘米)	土 壤 (<1毫米)		粘 粒 (<2微米)*					SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃
			pH (水)	机 质 (%)	粘粒含量 (<2微米%)	代 換 量 (毫当量/百克)	全 钾 (K ₂ O%)	吸 着 水 (%)	結 合 水 (%)		
27951	广东徐闻	0—10	5.1	4.83	28.3#	10.9	0.38	2.7	18.0	—	—
27953	”	25—50	5.0	3.15	43.5#	9.6	0.29	2.6	17.5	1.57	1.30
34748	”	0—18	6.7	4.42	28.7#	24.6#	0.17#	4.1#	13.7#	2.14#	1.56#
34750	”	30—42	6.9	—	36.0#	20.4#	0.15#	4.6#	14.8#	2.16#	1.51#
33911	福建漳浦	0—15	7.3	1.91	41.5	27.0	0.27	4.5	15.5	—	—
33913	”	30—40	6.7	1.15	41.0	24.3	0.37	6.6	13.2	—	—
33906	云南蒙自	30—40	7.9	3.56	24.0	32.0	0.68	6.2	11.9	—	—

* 代換量用醋酸法。全鉀用過氯酸消化，火焰光度計測定。吸着水為在相對濕度 50% 情況下放置兩天後測定。結合水為 700℃ 時的失重，吸着水、結合水皆以烘干土為基礎，下皆同。# 系小於 1 微米粘粒。

表 2 酸性母岩風化物和紅壤發育的水稻土的化學性質

標 本 號	地 點	成土母質	深 度 (厘米)	土 壤 (<1毫米)		粘 粒 (<2微米)				SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃
				pH (水)	有機質 (%)	粘粒含量 (<2微米%)	代 換 量 (毫當量/百克)	全 鉀 (K ₂ O%)	吸着水 (%)		
江土 32	江西安义	花崗岩 風化物	表 层	5.2	2.69	22.0	27.7	1.99	3.4	11.9	—
資 4—a	江西資溪		0—20	6.6	3.10	13.0	22.5	2.24	2.0	12.1	—
資 4—c			40—65	6.4	0.81	17.5	21.1	2.18	5.6	14.1	—
32019	广东博罗	”	0—10	4.8	3.18	19.8	12.9	1.11	2.4	13.3	—
32012			30—60	5.9	1.21	26.0	11.5	1.26	2.1	13.8	1.58
江土 118	江西大余	片 岩 風化物	0—15	5.6	2.55	10.5	19.9	2.51	—	—	—
江土 122			0—16	5.2	2.78	11.0	17.8	2.25	2.2	12.8	1.69
江土 10	江西乐平	紅 壤	0—13	6.1	4.02	31.0	20.5	2.10	3.6	12.4	1.83
江土 12			23—46	6.4	1.36	35.0	20.5	2.05	—	11.9	—

表 3 第四纪红色粘土发育的水稻土的化学性质

标 本 号	地 点	深 度 (厘米)	土 壤 (<1 毫米)		粘 粒 (<2 微米)						
			pH (水)	有 机 质 (%)	粘粒含量 (<2 微米%)	代 换 量 (毫当量/百克)	全 钾 (K ₂ O%)	吸 着 水 (%)	结 合 水 (%)	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃
27093 进 2-a 进 2-c 29313 29315	浙江义乌	0—12	5.2	1.81	24.6	25.6	1.95	3.4	9.7	3.03	2.45
	江西进贤	0—14	7.0	1.60	22.0	23.4	2.62	2.9	10.3	—	—
		24—40	7.1	0.66	27.0	25.8	2.56	3.7	10.0	—	—
	湖南长沙	0—15	6.3	2.70	29.1	20.9	2.57	3.2	10.7	—	—
		37—56	7.1	0.82	22.0	23.8	2.78	5.1	—	—	—

表 4 紫色土发育的水稻土的化学性质

标 本 号	地 点	深 度 (厘米)	土 壤 (<1 毫米)		粘 粒 (<2 微米)						
			pH (水)	有 机 质 (%)	粘粒含量 (<2 微米%)	代 换 量 (毫当量/百克)	全 钾 (K ₂ O%)	吸 着 水 (%)	结 合 水 (%)	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃
江土 113 } 江土 115 } 33862 } 33864 }	江西赣州	0—15	6.0	2.20	37.4	18.8	3.74	2.7	9.9	—	—
		25—41	7.5	0.79	—	18.3	3.64	2.4	9.2	2.44	2.00
	云南曲靖	0—17	6.8	2.89	49.0	24.4	3.51	4.3	9.0	—	—
		40—70	6.5	—	45.5	23.1	3.63	5.1	8.6	—	—

表 5 石灰岩堆积物发育的水稻土的化学性质

标本号	地 点	深 度 (厘米)	土 壤 (<1 毫米)		粘 粒 (<2 微米)					
			pH (水)	有 机 质 (%)	粘粒含量 (<2微米%)	代 换 量 (毫当量/百克)	全 钾 (K ₂ O%)	吸 着 水 (%)	结 合 水 (%)	
33729	广 西 罗 城	0—15	7.9	6.96	27.0	26.0	1.02	—	—	
33731		25—100	8.0	—	25.0	24.1	1.04	3.3	10.8	
33735		0—20	7.3	5.62	31.0	33.5	1.07	—	—	
33737	广 西 宜 山	50—100	7.6	1.29	53.0	24.9	1.02	5.6	13.4	

变化。275℃ 的小吸热谷的出现,表明有少量三水铝石存在。从附表 2 看出,这些标本中都含有一定量的云泰,10.0 Å 为其特帜谱线。粘粒的氧化钾含量,除了 32010 和 32012 两个标本外,都在 2.0—2.3% 之间,也可证实云泰的存在。从 X 射线衍射数据和差热曲线,还可看出大部分标本有蒙脱类矿物存在。附表 2 中的江土 32 和资 4—c 二标本的 15.4 和 14.6 Å 谱线即为蒙脱类矿物的特帜谱线。差热曲线上低温吸热谷较大,和代换量较高等也表明有少量蒙脱类矿物存在。由片岩风化物发育的江土 122 号标本,从其吸着水较低和代换量也低来推断,它们一般不含蒙脱类矿物。花岗岩风化物和红壤发育的水稻土都含有一定量的石英,而片岩风化物发育的水稻土,石英含量较少,这由附表 2 的 X 射线衍射数据中,3.33—3.35 Å 谱线的强弱可以看出。2.68—2.69 Å 谱线表明标本中有少量氧化铁和含水氧化铁存在。资 4—c 标本有一 6.25 Å 的弱谱线,表明有少量纤铁矿 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 存在。因其热变化温度与三水铝石相近,在差热曲线上被三水铝石所掩盖,没有显示出来。

在本类土壤中,32010 和 32012 号标本的代换量,全钾量和吸着水量都低,而结合水较高。结合其差热曲线来推断,此标本以高岭类矿物为主,而云泰和蒙脱类矿物含量极少。可能这是因为该土壤系处于高温多雨的热带地区,其母质已遭受强烈的红壤化作用,矿物组成以高岭类为主,母质的这种特点,也反映到水稻土的粘土矿物组成上。

(三) 第四纪红色粘土发育的水稻土

这类土壤分布很广,北从浙江,南到广西都有分布,特别在华中的江西、湖南等省,所占面积更大。我们以浙江、江西、湖南所采集的标本为例来说明,其结果分别列于表 3、图 3 和附表 3。

差热曲线中明显的 560℃ 的吸热谷和 980℃ 的放热峰表明,高岭类为本类土壤的主要粘土矿物,但其谷峰较少,可见含有一定量的热惰性矿物。从 X 射线衍射数据看出,每个标本都有极强的石英特帜谱线(3.33—3.36 Å, 1.82 Å, 1.54 Å, 1.37 Å),指明有多量的石英存在。本类水稻土普遍含有多量云泰,附表 3 中的 10 Å 谱线较强,和表 3 中粘粒的

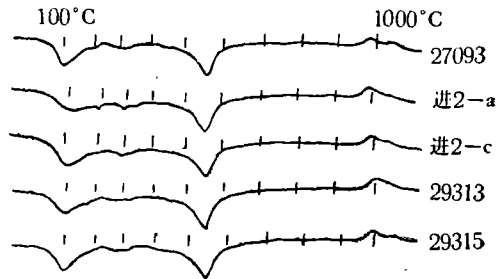


图 3 第四纪红色粘土发育的水稻土的差热曲线

全钾量较高,以及差热曲线上中温吸热谷温度较低,其热变化的开始温度也较低,且变化缓慢等,都证明有多量云泰存在。在进 2—c 标本的 X 射线衍射图谱上,15.8 Å 为一弱的扩散谱线,它与 10 Å 谱线已连在一起成为一条带,这一方面说明有蒙脱类矿物存在,同时也说明云泰正向蒙脱类矿物转化。其他标本,从差热曲线和代换量来判断,都有少量蒙脱矿物存在。

(四) 紫色土发育的水稻土

紫色土是由紫色砂岩或紫色页岩形成的,因含基性矿物较多,紫色土一般为中性或微碱性。本类水稻土在江西、云南、四川等省都有分布。我们以采自江西赣州和云南曲靖的两个剖面为代表,说明其粘土矿物组成。表 4、图 4 和附表 4 分别列出了该标本的有关材料。

从江土 115 号标本的X射线衍射数据中,看到有 $10.1\text{ \AA}$ 和 $7.12\text{ \AA}$ 两条中强度的谱线,表明此标本含有约等量的云母和高岭石,差热曲线的形状、全钾含量、阳离子代换量以及吸着水和结合水含量等都指明此标本以云母和高岭类矿物为主。从X射线衍射图谱上清楚的看到 $10.1\text{ \AA}$ 谱线向低角度扩散,形成一条带,它的另一边沿在 $15.4\text{ \AA}$ 处,其相对强度为3,我们推想这是由于部分云母类矿物在向其他粘土矿物转化过程中处于过渡阶段所致。从标本的代换量不高这一点来推断,其产物可能是绿泥石,而不大可能是代换量高的蒙脱石或蛭石等。

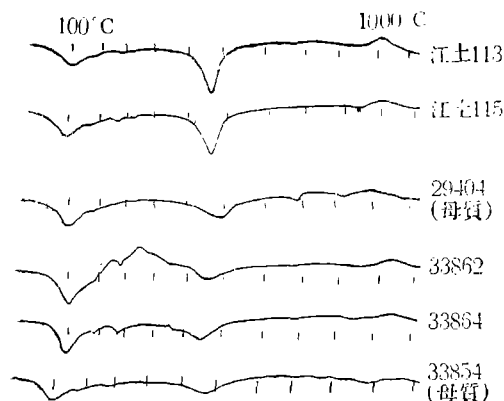


图4 紫色土母质及其发育的水稻土的差热曲线

$10.1\text{ \AA}$ 强的谱线的存在,和粘粒含钾量较高,指明此标本以云母为主。根据化学方法鉴定,X射线衍射图上出现的相对强度为4的 $14.2\text{ \AA}$ 谱线,不是蛭石(见表7),但如果全归之为蒙脱类矿物衍射所致,则代换量似嫌稍低,结合图谱上 $7.12\text{ \AA}$ 弱谱线的存在来考虑,标本中除含有少量蒙脱类矿物外,可能尚有少量绿泥石存在。此外,两个标本都含有一定量的石英($3.34\text{ \AA}$, $1.82\text{ \AA}$, $1.54\text{ \AA}$)和含水氧化铁($4.17\text{ \AA}$, $2.69\text{ \AA}$, $2.45\text{ \AA}$)。差热曲线上 275°C 的小吸热谷表明标本中存在少量的三水铝石。

上述两个标本的粘土矿物组成的差异,可能主要是由于两种土壤的发育程度及其紫色土母质的矿物组成不同所致。

(五) 石灰岩堆积物发育的水稻土

这种土壤主要分布在广西石灰岩地区,其他各地也有分布。由于发育在石灰岩母质上,因此,一般pH较高,多在7以上。本类土壤质地粘重,水分渗透不良。我们以广西宜山和罗城的两个标本为例,来说明其粘土矿物组成。图5为其差热曲线,表5为其化学性质,附表5为其X射线衍射数据。

在附表5中33731号标本有 $14.6\text{ \AA}$ 最强谱线,表明这类土壤含有大量蒙脱类矿物,但从差热曲线和X射线衍射数据来看,与典型的蒙脱石不完全符合。根据成土条件和前人对石灰质水稻田的研究^[3,11],我们推想可能存在相当量的蒙脱石,在附表5中我们引录了蒙脱石的X射线衍射数据^[1]。把这种土壤的X射线衍射数据与其比较,发现各谱线颇为相近。差热曲线上 500°C 左右的吸热谷可能部分是由蒙脱石所引起。这种土壤中高岭类矿物占有相当大的比重,同时也有不同量的三水铝石存在。33735和33737号标本的粘土矿物组成与33731基本一致。本类土壤都含有少量针铁矿($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),差热曲线上 350°C 左右的小吸热谷为其特征。33731号标本还含有纤铁矿($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),从X射

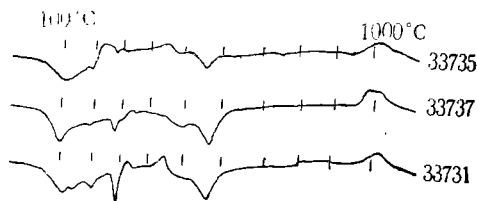


图5 石灰岩堆积物发育的水稻土的差热曲线

綫衍射圖譜上 $6.2 \text{ \AA}$ 譜綫的出現可知,在差熱曲綫上紆鐵礦的吸熱谷溫度較針鐵礦稍低,因之被三水鋁石的吸熱谷所掩蓋。從X射綫衍射數據看出,這類土壤含石英很少。在33731號標本中可能還有少量迪開石($7.8 \text{ \AA}$ 譜綫)。

由於本類土壤的粘土礦物比較複雜,根據現有材料還不能做較詳細的區分,很可能還有其他礦物未被鑑定出來,這有待今後的進一步工作。

(六) 沉積物發育的水稻土

江河的新老沖積物,湖泊沉積物,和某些地質時期的沉積物,如下蜀黃土物質等發育的水稻土都屬此類。這類水稻土遍及全國。我們選用的標本,包括珠江三角洲沖積物,福建九龍江下游沖積物,錢塘江濱海沖積物,長江中游老沖積物,太湖老湖積物,長江下游新沖積物,下蜀黃土物質,及河北海河沖積物等發育的水稻土。其有關結果列於表6、圖6及附表6。

從所得的材料來看,分布在不同地區的本類水稻土,其粘土礦物組成也有所不同。分布在華南地區的珠江三角洲及福建九龍江下游的水稻土,其粘土礦物組成以高嶺類和雲泰為主,並含有少量三水鋁石。從差熱曲綫、X射綫衍射數據以及代換量、全鉀量等都可看出。錢塘江下游沖積物,長江中、下游各種沉積物以及海河下游沖積物等發育的水稻土則大多數以蒙脫類礦物和雲泰為主。高嶺石含量很少,在差熱曲綫上已表現不出其典型熱反映,只在X射綫衍射圖上有弱的 $7.1 \text{ \AA}$ 的譜綫。錢塘江下游沖積物、長江下游新沖積物及海河下游沖積物發育的水稻土,較其他沉積物發育的水稻土,含雲泰較多。常4—c標本的差熱曲綫上 330°C 有一放熱峯,我們根據土壤特點推想,可能是硫化鐵引起的。該標本的採集地點的地勢低洼,土壤底層的還原條件異常強烈,被還原作用生成的亞鐵和硫化氫,可能結合成硫化鐵存在於土壤中。由各種沉積物發育的水稻土普遍的都含有一定量的石英。

在以蒙脫類和雲泰為主要粘土礦物的土壤中,很可能存在中度風化的膨脹性礦物蛭石,但其最強的(002)晶面所衍射的譜綫與蒙脫類礦物(001)晶面的衍射綫極難分辨,而其他各級衍射綫又甚弱,因此從X射綫衍射圖上不能鑑定出蛭石的存在。有人^[6]發現當蛭

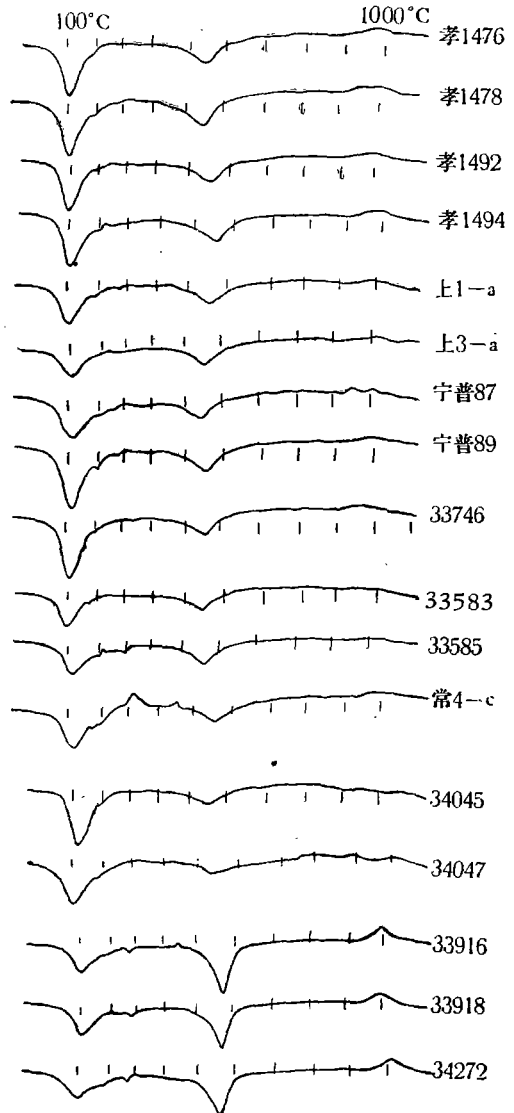


圖6 各種沉積物發育的水稻土的差熱曲綫

表 6 沉积物发育的水稻土的化学性质

标本号	地 点	成土母质	深 度 (厘米)	土 壤 (<1 毫米)		粘 粒 (<2 微米)						
				pH (水)	有机质 (%)	粘粒含量 (<2 微米%)	代 换 量 (毫当量/百克)	全 钾 (K ₂ O%)	吸着水 (%)	结合水 (%)	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	SiO ₂ /R ₂ O ₃
孝 1476	湖北孝感	长江中游 老冲积物	0—15	5.5	1.89	23.0	42.0	1.98	8.5	8.3	—	—
孝 1478			21—52	6.9	0.49	25.0	39.1	2.02	5.7	9.7	3.06	2.38
孝 1492			0—16	5.4	2.29	26.0	41.0	2.43	—	—	—	—
孝 1494			20—34	7.4	0.46	26.0	35.8	2.34	—	—	—	—
上 1—a	江苏南京	长江下游 新冲积物	0—10	8.1	3.51	37.9	36.6	2.90	5.1	9.8	3.04	2.43
上 3—a			0—10	8.0	3.05	38.3	36.5	3.36	—	—	—	—
宁甯 87	江苏南京	下蜀黄土	0—12	6.5	2.27	36.0	42.7	2.67	7.0	9.2	—	—
宁甯 89			24—40	7.5	0.94	38.0	41.0	2.54	6.8	10.2	2.77	2.11
33744	江苏无锡	老湖积物	0—20	6.1	2.23	39.5	41.2	2.54	8.1	9.5	—	—
33746			39—52	7.4	—	27.5	40.3	2.40	7.5	8.9	3.13	2.59
常 4—a	江苏常熟	老湖积物	0—15	8.0	3.99	30.0	43.6	2.85	—	—	—	—
常 4—c			40—60	8.1	4.47	40.0	34.2	3.17	7.8	9.6	—	—
33583	浙江宁波	钱塘江下 游冲积物	0—12	6.5	5.32	31.8	32.7	3.55	4.2	9.3	—	—
33585			20—40	7.5	—	33.0	30.3	3.66	4.6	8.6	3.17	2.53
34045	河北天津	海河下游 冲 积 物	0—20	8.9	1.25	—	38.7	—	—	—	—	—
34047			30—60	9.4	0.60	—	39.9	—	—	—	—	—
33916	福建海澄	九龙江下 游冲积物	0—15	5.1	2.86	42.0	23.6	2.50	2.9	10.2	—	—
33918			30—50	8.4	0.78	25.0	27.7	2.77	4.5	10.2	—	—
34271	广东南海	珠江三角 洲冲积物	0—14	6.9	3.30	19.8*	25.4*	2.01*	—	—	—	—
34272			14—27	7.6	1.43	26.9*	—	2.25*	—	—	—	—
34273			27—43	7.5	—	16.8*	25.0*	2.13*	—	—	2.37*	1.96*

* 小于1微米粘粒。

石用 NH_4^+ 饱和后,用 NaOH 可以全部将铵蒸馏出来,而用 KOH 则蒸出的量极少,但斑脱土、云泰等矿物并无这种特性。我们利用蛭石的这种对铵固定的特性,作为鉴别其存在的粗略方法,分析结果列于表 7。

表 7 不同母质发育的水稻土的粘粒部分 (< 2 微米) 对 NH_4^+ 的固定

标本号	地点	母 质	蒸出铵量(毫当量/百克)		固定 NH_4^+ 量 (毫当量/百克)
			NaOH 蒸馏	KOH 蒸馏	
孝 1478	湖北孝感	长江老冲积物	39.1	32.8	6.3
上 1-a	江苏南京	长江新冲积物	36.6	29.8	6.8
上 3-a			36.5	31.5	5.0
宁普 87	江苏南京	下 蜀 黄 土	42.7	32.5	10.2
宁普 89			41.0	32.6	8.4
27386			(黄土母质)	31.0	8.3
33746	江苏无锡	老 湖 积 物	40.3	41.0	-0.7
常 4-c			33.7	32.3	1.4
33864	云南曲靖	紫 色 土	23.1	21.3	1.8
33735	广西宜山	石灰岩堆积物	33.5	30.6	2.9
33737			24.9	21.5	3.4
33729	广西罗城		24.1	22.5	1.6

由表 7 看出,长江新、老冲积物和下蜀黄土母质发育的水稻土都含有蛭石,如果蛭石的代换量以每百克 100 毫当量估计,则上述土壤的粘粒中约含 5—10% 的蛭石。太湖老湖积物发育的水稻土对 NH_4^+ 的固定很少,所以,推想这种水稻土中不含蛭石。石灰岩堆积物发育的水稻土中,广西宜山的两个标本看来似乎有少量蛭石存在,但罗城的标本和云南紫色土发育的水稻土似乎不存在蛭石。下蜀黄土母质(27386 号标本)与其发育的水稻土对 NH_4^+ 固定量很相近,因此有理由认为,此种水稻土中的蛭石,来源于它的成土母质,而不是水稻土发育过程的产物。

为了便于比较,将各类母质发育的水稻土的主要粘土矿物组成综列成表 8。

表 8 不同母质发育的水稻土的主要粘土矿物组成

成 土 母 质	主要分布地区	主要粘土矿物	次要粘土矿物	某些情况下出现的矿物
砖红壤	南方热带地区	高岭类,三水铝石	含水氧化铁	蒙脱类
酸性岩石风化物 and 红壤	华南、华中山区和丘陵区	高岭类	云泰,蒙脱类,石英	纤铁矿(心土层)
第四纪红色粒土	华中丘陵区	高岭类,云泰	石英,蒙脱类	
紫色土	江西、四川、云南等省	云泰(或云泰和高岭类)	绿泥石,蒙脱类,含水氧化铁,石英	
石灰岩堆积物	广西等地区	高岭类,蒙脱类(囊脱石为主)	三水铝石	纤铁矿(心土层)
冲积物,沉积物	珠江下游及九龙江下游地区	高岭类,云泰	石英,三水铝石	
	长江中、下游地区及海河下游地区	蒙脱类,云泰	高岭类,石英,蛭石	硫化铁(底土层)

由表 8 中列出的结果明显的看出,水稻土的粘土矿物组成与其母质有密切的关系,在

一般情况下它继承了母质的矿物组成,但在成土过程中又发生着变化,这些变化将在下面谈到。

二、水稻土形成过程中粘土矿物的变化

(一) 水稻土形成过程中粘土矿物组成的变化

水稻土在形成过程中,除了在肥力特性和剖面形态等方面迅速发生变化以外,土壤的粘土矿物组成也发生着变化。下面就水稻土和它的前身比较,分为三种情况来说明。

1. 富含含钾矿物的土壤,在水稻土发育过程中矿物变化比较明显。紫色土及其发育的水稻土(紫泥田)可以作为例子。

表 9 紫色土及其发育的水稻土粘粒的化学性质

标 本 号	地 点	代 换 量 (毫当量/100 克)	全 钾 (K ₂ O%)	结 合 水 (%)
江土 113(水稻土表土)	江 西 赣 州	18.8	3.74	9.9
江土 115(水稻土表土)		18.3	3.64	9.2
29404(紫色土母质)		13.2	5.25	7.3
33862(水稻土底土)	云 南 曲 靖	24.4	3.51	9.0
33864(水稻土底土)		23.1	3.63	8.6
33854(紫色土母质)		16.2	4.08	7.3

表 10 紫色土母质及其发育的水稻土的 X 射线衍射数据

江土 115 (水稻土) ^(大)				29404 (紫色土母质) ^(小)			
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
15.4	3)	2.45	1	10.1	9	2.123	3
10.1	5)	2.38	3	7.0	3	1.990	6
7.12	5	2.19	1	4.94	5	1.835	3
4.97	5	2.13	3	4.47	7	1.810	3
4.5	9	1.995	3b	4.27	1	1.691	5
4.33	3	1.843	3	4.05	1	1.650	5b
4.17	2	1.820	3	3.81	1	1.596	1
3.89	2	1.697	4b	3.69	5	1.533	3
3.66	4	1.657	2	3.51	3	1.501	5
3.48	3	1.501	4b	3.34	9	1.445	3
3.34	9	1.486	3	3.20	2	1.372	2
3.20	1	1.454	2	2.99	2	1.346	2
2.98	1			2.86	5	1.293	3
2.86	3			2.70	3	1.241	3
2.79	3			2.58	7	1.182	1
2.70	5			2.53	1	1.160	1
2.57	8b			2.46	3)	1.080	1
2.53	4			2.38	5)		
				2.26	3)		
				2.20	3)		

註: (大)是用直径 114.6 毫米照象机摄谱, (小)是用 57.3 毫米照象机摄谱, 以下皆同。

从表 9 看出,由紫色土母质发育成水稻土后,化学性质有了显著的改变,代换量和结合水增高了,全钾量减少了。由图 4 差热曲线也清楚的看出,紫色土发育的水稻土的矿物组成与其母质有了明显的差别。29404 号(紫色土母质)标本的主要粘土矿物是云母和云泰。另外还有少量高岭石和蒙脱石,当发育成水稻土后,云母、云泰大为减少,高岭石却增高了。因此 X 射线衍射数据中(表 10) $10\text{\AA}$ 谱线的强度从 9 减弱到 5,而 $7.1\text{\AA}$ 谱线强度从 3 增强到 5。33854 号(母质)标本的主要粘土矿物为云泰和云母,发育成水稻土后,云泰和云母减少了,而蒙脱石及其他具有低角度衍射的膨胀性矿物增加了。从 X 射线分析还可看出,紫色土母质含有钾长石($3.20\text{\AA}$),而水稻土中几乎不存在。从上述的例子中,可以得到这样的认识:紫色土母质的粘土矿物主要是云泰、云母等,它们在水稻土发育过程中经水解、脱钾作用部分变成 2:1 型膨胀性矿物,有的 2:1 型矿物进一步脱硅变成高岭石。母质中的钾长石在水稻土发育过程中也因脱钾等作用而变为高岭石。

2. 中量含钾矿物的土壤,在水稻土发育过程中矿物虽有变化,但不十分明显。从表 11

表 11 下蜀黄土母质及其发育的水稻土的粘粒的化学性质

标 本 号	地 点	代 换 量 (毫当量/100 克)	全 钾 ($K_2O\%$)	结 合 水 (%)
宁普 87 (水稻土表土)	江 苏 南 京	42.7	2.67	9.2
宁普 89 (水稻土心土)		41.0	2.54	10.2
27386 (母质)		39.3	3.06	10.6

看来,成土过程中脱钾作用较弱,全钾量从母质的 3.06% 减低到 2.6% 左右。由于脱钾而生成的蒙脱类矿物不多,因之水稻土的代换量较母质增加不大,在脱钾作用较弱情况下,脱硅作用更为微弱,高岭石未见增多,因此水稻土的结合水含量并未增加。从图 7 差热曲线上也看不出母质与水稻土有什么差别。在 X 射线衍射数据(表 12)中,水稻土的 $10\text{\AA}$ 谱线的强度较母质只稍微减弱。从 X 射线分析还可看出,母质中的氧化铁主要以针铁矿($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)形态存在($4.15, 2.69\text{\AA}$)而在水稻土的心土层则部分形成纤铁矿($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), $6.3\text{\AA}$ 为其特征谱线。

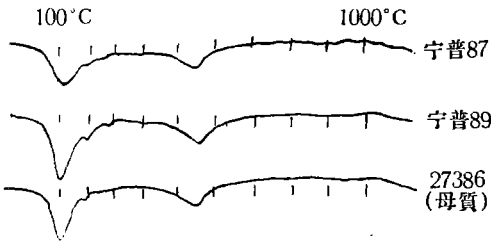


图 7 下蜀黄土母质及其发育的水稻土的差热曲线

下蜀黄土母质与发育的水稻土的粘土矿物组成的差异,不如由紫色土发育的土壤明显,主要的系由于下蜀黄土母质所含钾矿物较紫色土为少,但前者所处的长江下游地区和紫色土所在的赣南、云南地区,生物气候条件和耕作制度等方面都有明显的不同,也是一个重要原因。

3. 基本没有或仅有少量含钾矿物的土壤,在成土过程中粘土矿物的变化与上述两种情况不同。我们以热带地区砖红壤发育的水稻土和花岗岩红壤发育的水稻土为例来说明。

由表 13 看出,这类水稻土的代换量、全钾量都较母质为高,而结合水一般却较低。这可能是由于高度风化的母质在灌溉、施肥、耕作等人为活动的影响下,在一定程度上“复

表 12 下蜀黄土母質及其發育的水稻土的 X 射綫衍射数据

宁普 89 (水稻土) ^(大)				27386 (母質) ^(大)			
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
14.2	6 _b	2.123	3	15.0	7 _b	2.124	3
10.0	5 _b	1.990	3	10.1	7 _b	1.988	5 _b
7.2	2	1.976	3	7.2	2	1.820	4
6.3	1	1.825	1	5.02	5	1.695	1
4.94	5	1.805	4	4.47	7	1.653	1
4.47	7	1.687	1	4.30	3	1.536	3
4.23	3	1.653	3 _b	4.15	1	1.501	5 _b
3.86	3	1.534	3	3.89	1	1.448	1
3.66	5	1.495	5 _b	3.69	4	1.380	3
3.48	3	1.448	1	3.48	3	1.370	3
3.33	9	1.337	1	3.34	9	1.287	1
3.18	3	1.368	3	3.20	1	1.194	1
2.96	3	1.295	1	2.97	3	1.179	1
2.81	5	1.285	1	2.83	3 _b	1.079	1
2.66	1	1.195	1	2.69	3		
2.55	7	1.178	1	2.57	7		
2.46	4	1.079	3	2.51	1		
2.37	4	1.032	1	2.45	4		
2.27	1			2.37	1		
2.23	1			2.28	2		
2.19	1			2.24	2		
				2.20	1		

表 13 磚紅壤、花崗岩紅壤母質及其發育的水稻土粘粒的化学性質

标 本 号	地 点	代 換 量 (毫当量/100 克)	全 鉀 (K ₂ O%)	結 合 水 (%)
32010 (水稻土表土)	广东博罗	12.9	1.11	—
32012 (水稻土心土)		11.5	1.26	13.8
27694 (紅壤母質)		7.2	1.04	16.4
27951 (水稻土表土)	广东徐聞	10.9	0.38	—
27953 (水稻土心土)		9.6	0.29	17.5
28056* (磚紅壤母質)		5.2	0.10	16.1
34748* (水稻土表土)	广东徐聞	24.6	0.17	13.7
34750* (水稻土心土)		20.4	0.15	14.8
34752* (水稻土潛育层)		17.9	0.17	15.5
28056* (磚紅壤母質)		5.2	0.10	16.1

* 此标本系 < 1 微米粘粒。

生”(即复硅作用和复盐基作用)的結果。从表 14 中看出,水稻土粘粒的 SiO₂, K₂O 和 Na₂O 含量以及 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 分子比和 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ 分子比都較母質为高。值得注意的是种植水稻較久、肥力較高的老水稻土(34748—34752 号标本)与母質之間的上述差异,比肥力較低的

表 14 砖红壤母质及其发育的水稻土粘粒的化学组成 (%)*

标 本 号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$
27953 (水稻土心土)	32.94	1.42	35.60	11.83	0.29	0.04	1.57	1.30
34748 (水稻土表土)	35.74	1.68	27.99	16.14	0.17	0.45	2.14	1.56
34750 (水稻土心土)	36.28	1.99	28.20	18.77	0.15	0.49	2.16	1.51
34752 (水稻土潜育层)	40.96	1.80	32.99	9.26	0.17	0.44	2.11	1.79
28056 (砖红壤母质)	30.30	1.67	33.29	18.14	0.10	0.04	1.55	1.18

* 27953 号标本为小于 2 微米粘粒,其他标本皆为小于 1 微米者。由王美珠等同志分析。

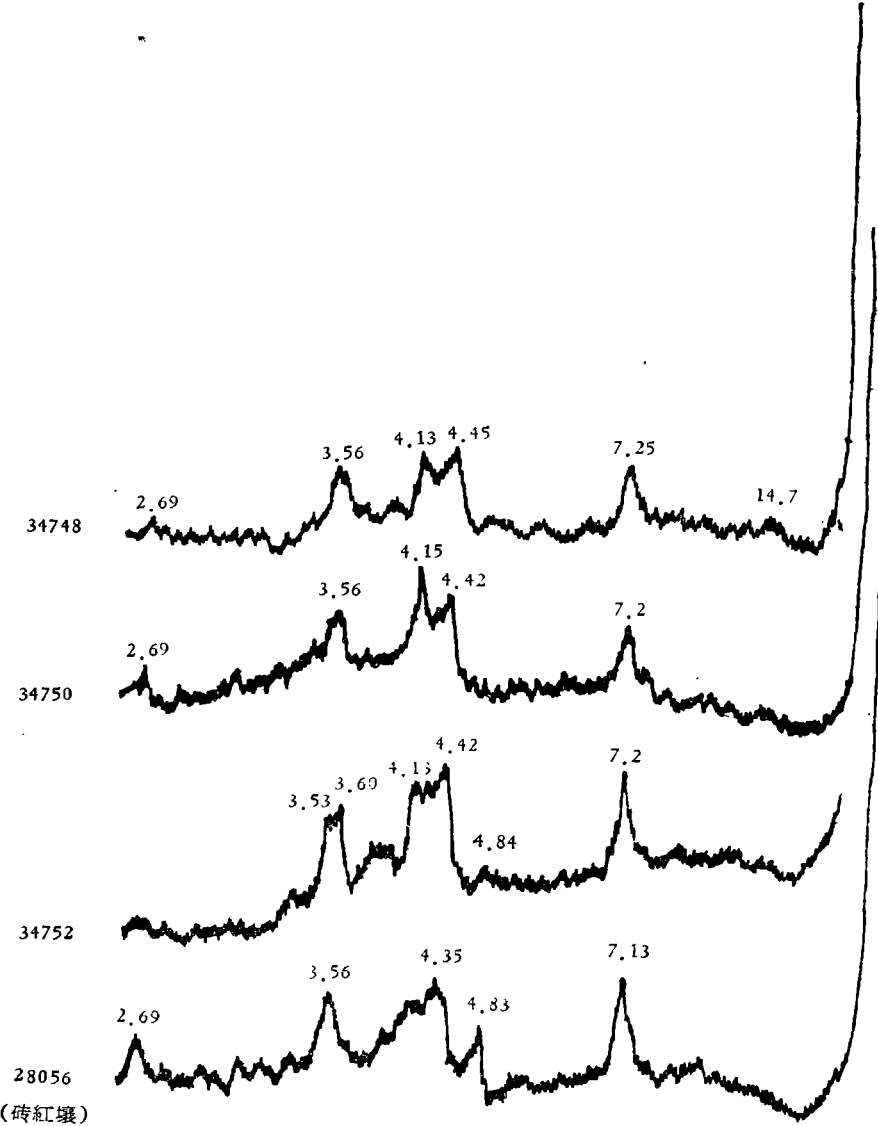


图 8 砖红壤及砖红壤发育的水稻土的X射线衍射图

幼年水稻土(27951—27953号标本)要显著得多。从图1差热曲线清楚的看出,幼年水稻土(27951, 27953)的曲线形状与砖红壤母质(28056号标本)甚为相似,而老年水稻土(24748—24752)粘粒的差热曲线中指示三水铝石的吸热谷(275°C)显著变小,表明其三水铝石含量显著降低,同时自剖面的底层向上,高岭石有减少的趋势,而代之以代换量较高的蒙脱类矿物。从老水稻土及其母质的X射线衍射图谱(图8)来看,与上述结果完全一致。从图8中已能看出“复生”作用最强的水稻土表层(34748)有作为蒙脱类矿物的特征衍射峰(14.7 Å),而心土和底土则衍射峰不明显。从表14看出,水稻土的氧化铁含量比母质大为减少,因之在X射线衍射图中,水稻土的2.69 Å衍射峰较母质为小。

从上述三种情况来看,在水稻土形成过程中,由于灌溉、施肥、耕作等措施的影响,水稻土的粘土矿物也发生变化。如果前身富含钾矿物,其粘土矿物组成的变化明显。含钾矿物较少者,变化也小。基本上没有含钾矿物存在的砖红壤发育成水稻土时,其粘土矿物有复硅和复盐基作用发生,我们称它为“复生”过程。

(二) 表层与心土层粘土矿物组成的异同

从水稻土的剖面形态来看,表层与心土层有明显的不同,表层受耕作特别是长期渍水的影响,使部分物质被还原而随渗漏水向下移动,到了心土层以后部分物质,特别是铁、锰等重新淀积,使上、下层在剖面形态上有很明显的区别。但在粘土矿物组成上的差别就不这样明显。从我们已有的结果来看,广西宜山石灰岩堆积物发育的水稻土(33735号标本为表土,33737号标本为心土),和江苏常熟由老湖积物发育的土壤(常4—a为表土,常4—c为心土),它们的表土较心土含有较多的蒙脱类矿物,这由表土代换量的较高和全钾量的较低,以及差热曲线的形状(图5)可以看出。由砖红壤发育的高度熟化的水稻土的表土(34748号标本)较心土(34750号标本)的代换量稍大,其差热曲线(图1)也稍有不同,推测表土的高岭类矿物稍少,而蒙脱类矿物稍多。其他水稻土表层与心土层的粘土矿物组成可能也有少许差异,但限于我们所用方法的精度,而分辨不出来。

表层与心土层粘土矿物组成上的差别,主要是人为活动的结果,一方面在人工创造水稻土的过程中,矿物发生了转化,但是,更重要的是人们的施肥、耕作等农业措施所产生的影响,对某些土壤来说,后者还起了主要作用。农民长期施用土肥、河泥,有时加入大量的客土来改善土性,这样就带入了一些与土壤中的粘土矿物并不完全相同的粘土矿物。如常4号剖面,其表层(常4—a)几乎完全是历年来加入的客土而造成的,所以其粘土矿物组成与心土有明显的差别。

(三) 潜育作用对粘土矿物的影响

处在地势低洼、地下水位较高的水稻土,下层由于受地下水的影响,长期处于强烈的还原条件下,因而出现灰蓝色到灰白色的潜育层。一般都认为潜育层在强烈的还原条件下,不仅使一部分氧化铁还原淋失,而且土壤的粘土矿物也发生显著的变化。为了查明潜育作用对粘土矿物的影响,我们进行了部分工作。表15、表16和图9为对第四纪红色粘土发育的水稻土的鉴定结果。上述材料表明,潜育层的粘土矿物并未遭受较其上部土层更深刻的淋溶作用。27087号标本(潜育层)和27093号标本(表层),无论从差热曲线、X射线衍射数据上看,都极相同,从代换量、全钾量和结合水来看,表层的淋溶作用似乎反较潜育层明显。另一潜育层标本(29318号)与其上层土壤比较,各指标材料也甚为相同,并

表 15 第四紀紅色粘土發育的水稻土表层,心土层和潛育层的化学性質

标 本 号	地 点	代 換 量 (毫当量/100 克)	全 鉀 (K ₂ O%)	結 合 水 (%)
27093 (表层)	浙 江 义 烏	25.6	1.95	9.7
27087 (潛育层)		21.6	2.51	8.9
29313 (表层)	湖 南 长 沙	20.9	2.57	10.7
29315 (心土层)		23.8	2.78	—
29318 (潛育层)		18.5	2.74	10.1

表 16 第四紀紅色粘土發育的水稻土的潛育层和上层土壤的 X 射綫衍射数据

27093(表层) ^(小)				27087(潛育层) ^(小)				29315(心土层) ^(小)				29318(潛育层) ^(小)			
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
10.1	6	1.375	6	10.3	5	1.492	5b	10.1	5d*	1.456	1	10.2	5d	1.492	6b
7.2	3	1.299	4	7.12	3	1.448	2	7.12	5d	1.429	1	7.03	4d	1.451	1
4.94	4	1.283	4	4.94	3	1.372	6	4.94	3	1.372	5	4.85	4	1.415	1
4.50	6	1.253	3	4.47	6	1.299	2	4.54	6	1.299	1	4.43	6	1.372	6
4.30	5	1.225	3	4.23	5	1.285	3	4.30	5	1.287	1	4.23	4	1.283	3
3.74	5	1.198	4	3.71	5	1.255	3	3.74	5	1.255	1	3.69	5	1.251	1
3.55	2	1.179	4	3.51	3	1.225	1	3.53	2	1.198	3	3.51	3	1.197	4
3.36	9	1.152	3	3.35	9	1.197	4	3.38	9	1.180	3	3.33	9	1.179	4
2.99	2	1.140	1	2.97	1	1.182	4	3.02	1	1.153	1	2.96	1	1.152	1
2.83	3	1.081	5	2.83	3	1.152	3	2.84	3	1.082	3	2.83	3	1.079	4
2.69	2	1.047	3	2.69	1	1.080	4	2.69	1	1.045	1	2.69	1	1.047	3
2.58	6	1.034	4	2.57	6	1.048	3	2.58	6	1.035	1	2.55	6	1.034	3
2.45	5	1.013	3	2.45	5	1.035	3	2.46	5	1.015	1	2.44	3	1.015	1
2.36	1	0.988	4	2.36	3	1.013	3	2.36	2			2.36	3	0.988	1
2.27	1			2.27	3	0.989	4	2.28	1			2.28	1		
2.20	2			2.23	3			2.22	1			2.20	1		
1.988	5			2.19	1			2.13	3			2.115	3		
1.965	1			2.115	4			1.995	4b			1.982	5b		
1.815	5			2.053	1			1.820	4			1.810	5		
1.703	3			1.982	5b*			1.698	3			1.694	2		
1.657	5			1.815	6			1.653	4			1.650	5d		
1.540	4			1.091	3			1.540	4			1.534	5		
1.498	5b			1.657	4b			1.495	6b						
1.448	2			1.533	5										

* b = 寬譜綫, d = 扩散譜綫。下皆同。

未表明潛育层較上部土层淋溶強烈。前面已提到的由砖紅壤发育的老水稻土,其底层也有极明显的潛育現象。24748 号标本为表层,24750 号标本为淀积层,24752 号标本为潛育层。从表 14 的化学組成看出,潛育层中 Fe₂O₃ 較上部土层減少約一半左右, SiO₂ 和 Al₂O₃ 有所增加,但 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$ 分子比并未明显改变。从图 8、X 射綫衍射图、图 1 差热曲綫和表 13 的代換量結果看出,表层較底层“复生”作用更明显些。

根据以上的研究結果,我們认为水稻土潛育过程的实质似乎主要是:土壤中的游离氧

化鉄(特别是包在粗粒部分的氧化鉄)受漬水的影响,部分被还原成亚鉄,随水流失,而对粘土矿物并未发生特別强烈的破坏作用。土壤的氧化鉄极易受土壤氧化还原状况的影响,

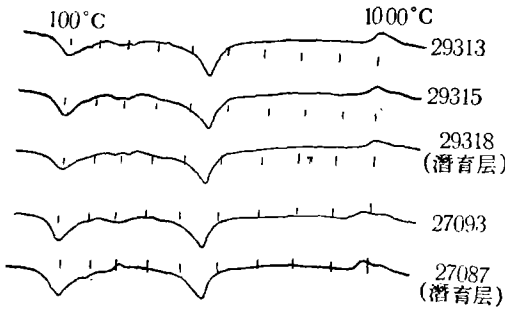


图9 第四紀紅色粘土发育水稻土的潜育层及其上部土层的差热曲线

加之鉄的各种化合物所具有的颜色有明显的不同,当土壤中的鉄錳发生还原移动和氧化聚积等分化作用时,在土壤剖面形态上表现得非常明显,这样就容易使人们造成一种错觉,以为土壤发生了深刻的变化,其实,潜育层与上层土壤比較,除了氧化鉄含量有所减少以外,其粘土矿物組成基本上是相同的。看来土壤的矿物成分的改变,比活性部分要慢得多。所以在比較短的时间內,水稻土的潜育化过程,所引起的粘土矿物的变化不易显现出来。关于这个问题,还要进行更多的工作。

三、水稻土粘土矿物組成的地理分区

由于水稻土的粘土矿物組成仍受其前身的影响,而其前身土壤又受到地带性、生物气候等因子的影响,因此,由这些土壤发育的水稻土虽然受到人为活动的一定影响,但其粘土矿物組成基本上仍符合其前身所反映出的生物气候的地理分布規律。其中有少数例外情况,如某些成土过程較短的土壤和某些經远距离搬运而来的冲积物等所发育的水稻土,由于其前身与现在的生物气候环境尚未建立平衡,因此这种前身发育的水稻土的粘土矿物組成,与目前的生物气候条件不完全一致。

我們根据已有的材料,按粘土矿物組成上的异同,暂时分为下列四个大区。

(一) 高岭类(三水鋁石)为主的华南水稻土区

該区也就是热带和南亚热带双季稻地区,包括南岭以南地区、福建东南沿海、云南南部和台湾南端。这些地区气温高,雨量大,由于农业气候条件优越,多是一年三熟制,即两季水稻,一季旱作。本区的成土母质有由玄武岩、玢岩、石灰岩等形成的砖紅壤,由花岗岩、片岩、千枚岩、片麻岩等酸性岩石发育形成的砖紅壤性土壤和砖紅壤化紅壤,由紫色砂岩发育的紫色土,以及各种冲积物沉积物等。由前两种母质发育的水稻土(如广东徐聞的标本和 32010, 32012 号标本)为本区水稻土的典型代表。江河冲积物系上游风化物质搬运而来,由这种母质发育的水稻土的粘土矿物組成,所代表的风化程度一般較該地区的代表性土壤要浅些,如珠江三角洲冲积物所发育的水稻土是以高岭类和云泰为主。紫色土母质的自然成土过程的时间尚短,由这种母质发育的水稻土,因受母质的矿物組成的影响,所以其粘土矿物不是以高岭类为主,而是以云泰或者以云泰和高岭类为主。因此这些土壤的粘土矿物組成不能做为本区地带性土壤的代表。

(二) 高岭类(云泰、蒙脱类)为主的华中水稻土区

該区也就是中亚热带双季稻区,包括湖南、江西、浙江、福建和台湾北部。成土母质除酸性岩石风化物外,第四紀紅色粘土也占有頗大的面积。本区水稻土的粘土矿物以高岭类为主,但明显的含有 2:1 型的云泰和蒙脱类矿物,由第四紀紅色粘土发育者,含云泰更

多。本区水稻土的粘土矿物中还有一定量的石英存在。

本区水稻土的粘土矿物虽然是以高岭类为主,但却含有一定数量的中度风化的云泰、蒙脱类和石英等矿物,而华南水稻土的粘土矿物除以高岭类为主外,还有相当量的风化度更高的三水铝石存在,这就是本区水稻土与华南水稻土的粘土矿物组成的根本差别。

(三) 蒙脱类和云泰(高岭类)为主的长江中、下游水稻土区

该区也就是北亚热带稻麦两熟地区。水稻土发育于长江新、老冲积物,湖积物,以及下蜀黄土母质。本区的雨量、气温较前两区都低,适宜种稻的时间只有5—8个月,所以多为稻麦轮作,冬季一般播种小麦或绿肥。由于本区的自然气候条件和稻麦轮作的利用方式,使本区水稻土的淋溶作用较上两区显著为弱,土壤反应为中性或弱碱性,盐基饱和度也高。本区土壤的粘土矿物以蒙脱类和云泰为主要成分。其中长江老冲积物发育的水稻土含蒙脱类矿物多些,而长江新冲积物发育的水稻土含云泰多些,这可能是母质的年龄不同所致。除以上主要成分外,水稻土中一般还含有少量的高岭石、石英和蛭石。

(四) 云泰(蒙脱类)为主的华北水稻土区

我国华北地区主要是种植旱作,但在水源充足的地方也种植了水稻,特别近年来由于大兴水利,因此,种植水稻的面积大为扩大。本地区大部是一季水稻或水旱轮作。这些水稻土因受母质的影响, pH 较高,有不同程度的石灰反应,因为大部改种水稻不久,剖面形态的分化不象南方地区那样明显。关于本区水稻土的粘土矿物成分,我们还没有典型的材料,但根据对华北平原的河流冲积物发育的老水稻土(34045, 34047号标本)的研究,它们的粘土矿物组成是以云泰和蒙脱类为主,我们推想未被再次沉积的华北黄土发育的水稻土,其粘土矿物组成很可能含有更多的云泰。根据过去对作为本区水稻土的前身的旱地土壤的研究,其粘土矿物是以云泰为主,部分的向蒙脱类矿物过渡^[7,8]。对于本区的发育程度一般尚低的水稻土,粘土矿物组成应该不致有显著的变化,这也是我们推断本区水稻土的粘土矿物是以云泰(蒙脱类)为主的一个依据。

四、摘 要

应用X射线衍射法、差热分析法和化学分析法,鉴定了中国主要水稻土区的近六十个土壤标本。粘粒系小于2微米的部分。

水稻土的粘土矿物组成与其母质有密切关系,在一般情况下,它继承了母质的矿物组成。不同母质发育的水稻土的主要粘土矿物组成可见表17。

水稻土形成过程中粘土矿物组成的变化可分为三种不同的情况:富有含钾矿物的母质发育成水稻土时脱钾作用明显,粘土矿物有较大的变化。中量含钾矿物的母质发育成水稻土后,粘土矿物组成的变化很小。没有含钾矿物的砖红壤发育的水稻土,在成土过程中有明显的复硅和复盐基作用,在老水稻土中,三水铝石减少,同时出现了蒙脱类矿物。

水稻土表层与心土层的粘土矿物组成,只有少数土壤有明显差别,大多数看不出差别来。水稻土的潜育层与其上部土层比较起来,除氧化铁含量有显著减少以外,粘土矿物组成基本上是相同的。因此潜育作用的实质主要是部分游离氧化铁的还原,淋失,而粘土矿物并未遭受特别强烈的破坏。

根据粘土矿物的异同,暂时将中国水稻土分为四个地理区:以高岭类(三水铝石)为主

表 17

成 土 母 质	主要分布地区	主要粘土矿物	次要粘土矿物	某些情况下出现的矿物
紅砖壤	南方热带地区	高岭类,三水鋁石	含水氧化鉄	蒙脱类
酸性岩石风化物 and 紅壤	华南、华中山区和丘陵区	高岭类	云泰,蒙脱类,石英	纤鉄矿
第四紀紅色粘土	华中丘陵区	高岭类,云泰	石英,蒙脱类	
紫色土	江西、云南、四川等省	云泰(或云泰和高岭类)	綠泥石, 蒙脱类, 石英, 含水氧化鉄	
石灰岩堆积物	广西等地区	高岭类,蒙脱类(蒙脱石为主)	三水鋁石	纤鉄矿
冲积物和沉积物	珠江,九龙江下游地区	高岭类,云泰	三水鋁石,石英	
	长江中、下游及海河下游地区	蒙脱类,云泰	高岭类,蛭石,石英	硫化鉄

的华南水稻土区,也就是热带和南亚热带双季稻地区,以高岭类(云泰、蒙脱类)为主的华中水稻土区,也就是中亚热带双季稻地区,以蒙脱类和云泰(高岭类)为主的长江中、下游水稻土区,也就是北亚热带稻麦两熟地区,以云泰(蒙脱类)为主的华北水稻土区。由于水稻土的粘土矿物組成仍受其前身——地带性土壤的影响,因此上述各区的粘土矿物組成,也反映出地带性的特征。

附表 1 砖紅壤發育的水稻土的 X 射綫衍射数据

33906(大)				33913(大)			
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
15.8	7	1.888	1	16.3	5	1.895	1
7.2	7	1.703	4	7.92	3	1.785	1
5.26	1	1.642	4	7.2	9	1.712	5
4.90	7	1.489	7	4.90	5	1.682	1
4.47	9			4.47	9	1.650	3
4.15	5			4.17	9	1.540	3
3.89	3			3.87	1	1.486	6
3.64	1			3.53	8	1.281	1
3.53	7			3.33	4		
3.34	5			2.96	1		
2.81	1			2.81	2		
2.66	3			2.69	5		
2.57	6			2.56	6		
2.53	1			2.49	4		
2.42	1			2.44	6		
2.33	1			2.33	4		
2.23	2			2.24	3		
2.175	2			2.16	3		
1.988	2			2.00	1		

附表 2 酸性母岩風化物和紅壤發育的水稻土的 X 射綫衍射数据

江土 32(大)				資 4—c(大)				江土 122(小)		江土 12(小)			
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
15.4	5)	1.99	3b	14.6	5d*	2.35	2	10.3	3d	10.9	6b	1.653	4b
10.0	5)	1.81	4	10.0	3	2.25	1	7.12	7	7.03	7	1.557	1
7.12	7	1.662	3	7.3	8b	2.21	1	4.85	5	4.85	5	1.533	3
4.90	6	1.653	3	6.25	3	2.13	1	4.47	9	4.47	9	1.498	5b
4.47	8	1.534	3	5.55	1b	2.00	4b	4.12	5	4.20	5	1.375	3
4.27	4	1.495	5b	4.96	5	1.934	1	3.76	1	3.69	3	1.295	2
3.86	1	1.451	1	4.54	9	1.825	1	3.55	7	3.55	4	1.198	2
3.66	4	1.365	3	4.17	5b	1.808	1	3.34	6	3.35	9	1.179	1
3.53	3	1.176	1	3.66	5)	1.713	3)	2.82	3	2.97	1	1.080	1
3.35	9	1.077	1	3.55	5)	1.65	3)	2.59	7	2.83	4		
3.18	1			3.33	9	1.566	1	2.35	1	2.69	1		
2.95	1			3.22	1	1.538	2	1.988	5	2.58	8		
2.81	3b*			3.06	1	1.502	5)	1.805	1b	2.45	2		
2.68	1			2.97	1	1.487	5)	1.650	3b	2.36	3		
2.56	7			2.82	2	1.374	1	1.495	5	2.24	1		
2.45	3			2.68	3			1.255	1	2.140	1		
2.36	3b			2.57	8					1.995	4b		
2.22	1			2.45	4					1.815	3		
2.11	1			2.38	2					1.700	3b		

附表 3 第四紀紅色粘土發育的水稻土的 X 射綫衍射数据

27093(小)				进 2—c(大)				29315(小)			
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
10.1	7	1.703	3)	15.8	3)	1.82	5	10.0	5d	1.653	4)
7.2	3	1.657	5)	10.1	3)	1.707	1	7.12	3	1.54	4
4.94	4	1.54	4	7.2	3	1.695	1	4.94	3	1.495	6b
4.50	6	1.498	5b	4.94	4	1.662	1	4.54	6	1.456	1
4.30	5	1.448	2	4.47	7	1.653	1	4.30	5	1.429	1
3.74	5	1.375	6	4.27	5	1.536	5	3.74	5	1.372	5
3.55	2	1.299	4	3.89	1	1.495	4	3.53	2	1.299	1
3.36	9	1.283	4	3.69	6	1.38	3	3.36	9	1.287	1
2.99	2	1.253	3	3.33	9	1.375	4	3.02	1	1.255	1
2.83	3	1.225	3	2.99	1	1.198	3	2.84	3	1.198	3
2.69	2	1.198	4	2.83	3	1.179	3	2.69	1	1.180	3
2.58	6	1.179	4	2.69	1	1.079	1	2.58	6	1.153	1
2.45	5	1.152	3	2.57	7			2.46	5	1.082	3
2.36	1	1.140	1	2.45	4			2.36	2	1.045	2
2.27	1	1.081	5	2.28	3			2.28	1	1.035	2
2.20	2	1.047	3	2.24	3			2.22	1	1.015	1
1.988	5	1.034	4	2.125	3			2.13	3		
1.965	1	1.013	3	2.00	1			1.995	4b		
1.815	5	0.088	4	1.976	1			1.820	4		
								1.698	3)		

附表 4 紫色土發育的水稻土的 X 射綫衍射数据

江土 115(大)				33864(大)			
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
15.4	3)	2.38	3	14.2	4)	2.123	3
10.1	5)	2.19	1	10.1	7)	1.995	3)
7.12	5	2.13	3	7.12	1	1.976	3)
4.97	5	1.995	3b	4.97	5	1.810	5
4.5	9	1.843	3	4.47	7	1.695	3
4.33	3	1.820	3	4.27	4	1.657	3b
4.17	2	1.697	4b	4.15	1	1.536	4
3.89	2	1.657	2	3.89	3	1.498	5
3.66	4	1.501	4b	3.69	5	1.448	1
3.48	3	1.486	3	3.48	3	1.377	3
3.34	9	1.454	2	3.34	9	1.368	4
3.20	1			2.97	1	1.293	3b
2.98	1			2.84	4b	1.285	3
2.86	3			2.69	1	1.222	1
2.79	3			2.57	7	1.195	3
2.70	5			2.45	3)	1.179	3
2.57	8b			2.37	2)	1.079	3
2.53	4			2.27	3	1.045	2
2.45	1			2.23	3	1.033	2

附表 5 石灰岩堆积物發育的水稻土和囊脫石的 X 射綫衍射数据

33731(大)				33737(小)				囊 脫 石*	
d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I	d(Å)	I
14.6	9	2.28	3	11.4	(?)	1.540	3b	13.9	V.S
7.8	1	2.23	4	7.12	6	1.492	5b	4.87	V.W
7.2	5	2.115	3	5.31	1	1.375	1	4.44	V.S
6.2	4	2.088	3	4.85	4	1.291	1	3.94	V.W
5.3	1	1.982	1d	4.47	7	1.237	1	3.54	S
4.90	7b	1.905	1d	4.17	5	1.194	1	2.79	W
4.47	7)	1.872	3	3.94	1			2.59	M
4.15	6)	1.82	1	3.55	6			2.51	M
3.86	1	1.703	5b	3.34	5			2.27	V.W
3.69	4	1.657	5b	2.97	1			1.72	V.W
3.60	6	1.603	1	2.83	2			1.68	W
3.34	7	1.543	3	2.69	2			1.63	V.W
3.02	6	1.498	5)	2.58	7			1.52	M
2.86	3	1.489	5)	2.42	4			1.48	M
2.77	3	1.456	1	2.34	5			1.45	V.W
2.68	1	1.370	1	2.20	1b			1.31	V.W
2.57	6)			1.982	1			1.28	V.W
2.42	4)			1.700	4)			1.26	W
2.33	4)			1.641	4)			1.23	W

* 引自文献[5]。V.S 最强，S 强，M 中强，W 弱，V.W 最弱。

附表 6 各种沉积物发育的水稻土的 X 射线衍射数据

33746(大)				常 4—c(大)				宁普 89(大)				孝 1478(大)			
$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I
18.5	9d	1.982	1	15.8	7	2.000	3	14.2	6	2.123	3	14.6	7	1.698	1
10.1	3	1.795	5	10.0	5	1.820	5	10.0	5	1.99	3	10.0	5	1.662	1
7.2	1	1.662	1	7.12	3	1.601	1	7.2	2	1.976	3	7.12	1	1.54	5
5.02	5	1.653	1	4.97	5	1.657	1	6.3	1	1.825	1	4.94	5	1.501	6
4.47	7	1.54	3	4.47	7	1.540	4	4.94	5	1.805	4	4.47	7	1.451	1
4.27	4	1.501	4	4.27	5	1.501	5	4.47	7	1.687	1	4.27	5	1.38	3
3.86	1	1.38	3	3.89	1	1.377	1	4.23	3	1.653	3b	3.84	1	1.372	4
3.69	5	1.37	3	3.66	5	1.370	4	3.86	3	1.534	3	3.71	6	1.299	1
3.49	3	1.20	1	3.48	3	1.299	1	3.66	5	1.495	5b	3.51	3	1.283	1
3.33	9	1.179	1	3.34	9	1.287	1	3.48	3	1.448	1	3.36	9	1.255	1
3.20	1			3.20	1			3.33	9	1.377	1	2.99	1	1.198	3
2.99	1			2.96	1			3.18	3	1.368	3	2.83	3	1.179	3
2.82	3			2.84	3			2.96	3	1.295	1	2.70	1	1.152	1
2.70	1			2.69	1			2.81	5	1.285	1	2.58	6	1.083	3
2.57	6			2.57	7			2.66	1	1.195	1	2.46	4	1.034	3
2.46	3			2.45	3			2.55	7	1.178	1	2.37	1		
2.38	3			2.37	1			2.46	4	1.079	3	2.28	3		
2.28	1			2.28	1			2.37	4	1.032	1	2.23	1		
2.26	1			2.23	1			2.27	1			2.123	4		
2.124	3			2.123	3			2.23	1			2.00	3		
2.014	1							2.19	1			1.976	3		
												1.815	5		

孝 1494(小)				上 1—a(小)				33583(大)				33918(小)			
$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I
10.5	7	1.451	1	10.1	9b	1.700	3b	15.4	7	1.883	1	10.1	7	1.780	1
4.94	5	1.372	6	7.2	3	1.670	5b	10.1	7	1.82	3	7.03	9	1.645	5b
4.50	8	1.299	3	4.97	3	1.537	4	7.12	3	1.65	1	5.51	1	1.533	2
4.30	4	1.283	3	4.50	8	1.498	5b	5.02	5	1.54	1	4.94	5	1.492	6b
3.71	5	1.256	2	4.33	2	1.460	4	4.47	7	1.495	1	4.43	9	1.451	1
3.53	3	1.227	1	3.91	2	1.372	5	4.27	3	1.377	1	3.86	1	1.437	1
3.36	9	1.198	4	3.74	3	1.353	1	3.66	3	1.37	1	3.58	7	1.368	3
2.97	1	1.186	4	3.51	2	1.295	2b	3.48	3			3.33	7	1.291	3
2.83	3	1.153	1	3.36	9	1.257	1	3.33	9			3.24	1	1.242	3
2.58	7	1.080	4	3.27	2	1.202	1	3.18	1			3.02	1	1.194	5b
2.47	3	1.049	1	2.99	3	1.185	1	2.99	1			2.83	3	1.122	1
2.38	1	1.035	3	2.83	1			2.84	1			2.57	7		
2.123	3	1.014	3	2.58	7			2.57	6			2.51	1		
1.995	3b	0.993	3	2.47	3			2.46	3			2.45	1		
1.820	5			2.40	3			2.38	1			2.35	3		
1.695	2b			2.24	1			2.115	1			2.20	2		
1.650	5b			2.123	1			1.988	4			2.124	2		
1.540	4			1.988	5b			1.916	1			1.995	5		
1.504	6			1.820	4							1.805	1		

参 考 文 献

- [1] 张效年、李庆逵: 1958。华南土壤的粘土矿物组成。土壤学报, 6 卷 3 期, 178—192。
- [2] 李庆逵、张效年: 1957。中国红壤的化学性质。土壤学报, 5 卷 1 期, 78—96。
- [3] 内山修男、鬼般若: 1954。石灰质水田土壤の粘土矿物(第 1 报)。土肥, 第 24 卷, 271—276。
- [4] 内山修男、鬼般若: 1954。石灰质水田土壤の粘土矿物(第 2 报)。土肥, 第 24 卷, 307—312。
- [5] Gruner, J. W.: 1935. The structural relationship of nontronites and montmorillonites. Amer. Min. Vol. 20, 475—483.
- [6] Scott, A. D. et: 1935. Thermal study of ammonium fixation and release in certain clay minerals. Amer. Min. Vol. 41, 701—721.
- [7] 熊毅等: 1958。中国土壤胶体研究 I. 黄土胶体的矿物组成和性质。土壤学报, 6 卷 2 期, 89—98。1958。
- [8] Hseung, Y. and Jakson, M. L.: 1952. Mineral composition of clay fraction III of some main soil groups of china. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 16, 294—297.

CLAY MINERALS OF SOME REPRESENTATIVE PADDY SOILS OF CHINA

S. N. CHANG

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica*)

(Summary)

The mineral composition of clay fraction ($< 2\mu$) of about sixty representative paddy soils was studied by X-ray diffraction, differential thermal analysis and chemical methods. It was found that in most paddy soils, the mineral composition resembled to the parent soils on which they had developed. For example, both the red soils derived from quartermary red clay and the corresponding rice paddy soils in the subtropic zone of central China possess kaolinite and illite as the predominant clay minerals with comparatively smaller quantities of quartz and montmorillonite. "De-potassication" and "De-silication" are the manifest change of clay minerals during the development of paddy soil, where the illite-type clays are partially transformed into montmorillonite and further into kaolinite especially in soils rich in potassium-bearing minerals.

On the other hand, however, "re-alkalization" and "re-silication" also take place which may be induced through intensively cultivation and fertilization of rice plantation. For example, during the development of paddy soils from highly weathered laterite, there are evidences of the decrease of gibbsite and kaolinite with the appearance of montmorillonite, and meantime the cation exchange capacity is increased in paddy soils.

Gleization in paddy soils was essentially the processes of reduction and leaching of iron and manganese oxides, while the major constituents of clay mineral remains unchanged.

According to the composition of clay minerals, the paddy soils investigated are tentatively grouped into four geographical regions.