

玄武岩发育的几种红壤的矿物特征*

蒋梅茵 杨德涌

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文主要研究不同生物气候条件下由玄武岩母质发育的红壤、赤红壤和砖红壤的理化性质及矿物组成。粘粒中氧化铁的含量都很高,为 $16.98 \pm 0.83\%$ 。砖红壤与赤红壤粘粒中高岭石与非晶物质的含量相近,它们之间的差异是赤红壤中没有三水铝石,而含有7—11%蒙皂石。红壤粘粒中高岭石和非晶物质的含量都低于砖红壤和赤红壤,而水云母和蒙皂石的含量较高,也没有三水铝石。粘粒含量、阳离子交换量、硅铝率、硅铁铝率、铁的游离度和风化淋溶系数等都反映了土壤风化程度上的差异,它与水热条件特别是年均温和积温有关,进一步说明生物气候因素引起的土壤性质及矿物组成变化比其它因素强烈。

砖红壤与砖红壤性水稻土的差异是在氧化铁形态上;红壤与红壤性水稻土相比,后者粘粒中蒙皂石含量略高,水云母含量略低。

土壤粘粒的矿物组成主要受成土母质与成土过程的影响。为了研究同一母质,在不同生物气候带下,对土壤粘粒矿物形成特性的影响,本文选用本身差异比较小的玄武岩为对象,对其成土过程中的土壤理化性质及其矿物组成进行了研究。

玄武岩属基性岩,对红壤发育的影响尤为深刻^[1]。曾水泉^[2]认为:我国热带、亚热带地区的酸性和中性母岩,对土壤的发育速度起减缓作用,基性岩则起促进作用。例如,由玄武岩发育的红壤,其富铝化程度深,铝富集作用明显,而花岗岩发育的红壤则相对较弱。本文通过对不同生物气候带,玄武岩发育的红壤、赤红壤和砖红壤的理化性质及矿物组成的研究表明,生物气候条件是土壤形成的主导因素,直接影响着岩石的风化和生物物质循环的方向和速度,它对土壤发育的方向和强度起决定作用。从而为红壤的发生分类数据化提供资料。

一、样品与方法

样品采自广东徐闻、福建漳浦和浙江嵊县等地玄武岩母质发育的砖红壤、赤红壤和红壤及其相应的水稻土。样品的基本性质见表1。

试样用 0.5molL^{-1} NaOH 调节使悬液 pH 至 7.4,经超声波分散,用沉降法分离出小于 2 微米及其它各粒级。土壤胶体的化学组成用碳酸锂-硼酸、石墨粉坩埚熔样法^[3]。阳离子交换量用醋酸铵法,游离氧化铁用柠檬酸钠-碳酸氢钠-连二亚硫酸钠提取,用邻菲罗啉比色法测定。X 射线分析用镁饱和

* 本文是国家自然科学基金资助项目。

表 1 土壤的基本性质*

Table 1 Basic properties of soils

剖面号 Profile No.	采集地点 Locality	土壤类型 Soil type	采样深度 Depth (cm)	有机质 (%) O. M.	CEC (meq/100g)	pH (H ₂ O)	颗粒组成% (μm) Machnical composition		
							>10	10—2	<2
1-1	广东徐闻	砖红壤	0—10	4.82	12.92	4.6	16.8	7.0	76.2
1-2			11—20	3.56	12.80	4.7	11.3	8.7	80.0
1-3			25—45	2.30	10.18	4.8	14.2	0.7	85.1
1-4			60—80	1.63	10.31	4.8	11.9	4.0	84.1
1-5			110—120	1.20	10.23	4.9	10.6	4.7	84.7
2-1		砖红壤性 水稻土	0—28	4.94	15.26	4.9	15.3	6.0	78.7
2-2			28—75	1.61	12.33	5.0	13.8	6.0	80.2
3-1	福建漳浦	赤红壤	0—21	3.99	22.61	5.1	15.5	9.8	74.7
3-2			21—55	1.21	22.94	5.3	13.3	10.5	76.2
3-3			55—75	1.11	24.20	5.2	11.4	9.8	78.8
3-4			75—115	0.81	26.10	5.1	28.7	14.6	56.7
5-1	浙江嵊县	红壤	0—11	4.08	23.35	5.0	43.8	21.3	34.9
5-2			11—36	2.07	22.67	5.1	63.0	10.7	26.3
5-3			36—82	1.50	28.60	5.2	37.4	14.2	48.4
6-1		红壤性 水稻土	0—16	2.88	26.94	5.2	42.6	22.1	35.3
6-2			16—35	2.18	25.49	6.0	38.7	20.8	40.5

* 罗家贤、包梅芬和宋康等同志分析。

甘油水溶液和钾饱和的水溶液薄膜法, 含铁样品用粉末法, 在日本 D/max-IIIc 型衍射仪上测定。

粘土矿物的定量用 Alexiade 和 Jackson^[6] 提出的系统定量法。非晶物质用 $0.5 \text{ molL}^{-1} \text{ NaOH}$ 煮沸 2.5 分钟, 测定提取液中硅和铝的量^[5], 其中铝的含量减去三水铝石的铝量即为无定形铝量。高岭石的定量是先在 550°C 加热脱羟基, 再用 $0.5 \text{ molL}^{-1} \text{ NaOH}$ 溶解的方法。水云母的定量以 K_2O 含量取参数 9% 来计算^[6]。 $14 \times 10^{-10} \text{ m}$ 过渡矿物用差减法求出。三水铝石的定量用热重法, 用三水铝石的标准样品按不同的比例混匀后, 进行差热和热重分析, 根据标准样品的含量和在 300°C 失重百分数做出三水铝石的百分含量曲线, 然后根据去铁样品在 300°C 左右失重的百分数在定量标准曲线上查出三水铝石的百分含量。热分析用去除游离铁的镁饱和粘粒, 在日本岛津 DT-30B 热分析仪上测定。

二、结果和讨论

(一) 矿物组成的特点

玄武岩主要由斜长石、辉石、橄榄石、磁铁矿和钛铁矿等矿物组成。热带和亚热带地区的高温多雨、湿热同季的特点, 有利于上述矿物的分解和次生矿物的生成。玄武岩母质发育的红壤、赤红壤和砖红壤的共同特点是: 粘粒中氧化铁的含量都较高, 为 $16.98 \pm 0.83\%$ (表 2), 变幅不大, 其中红壤粘粒中氧化铁含量略低。从 X 射线衍射分析表明(图谱省略), 粘粒中氧化铁主要为赤铁矿和针铁矿, 而在粗粒级中为磁铁矿、赤铁矿和钛铁矿。此外, 这几个剖面的粘粒中 TiO_2 的含量一般较高 ($1.26-2.05\%$), 这也是玄武岩母质发育的土壤特点。

表 2 <2 微米粘粒的化学性质
Table 2 Chemical properties of clay (<2 μ m)

剖面号 Profile No.	(%)											游 离 Fe ₂ O ₃ Free Fe ₂ O ₃ (%, B)	B A	CEC (meq/100g)	ba 值 ba value
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (A)	TiO ₂	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	烧失量 Loss on ign.	SiO ₂ Al ₂ O ₃	SiO ₂ R ₁ O ₃				
1-1	33.76	30.39	17.07	1.38	0.19	0.30	0.36	0.30	16.44	1.88	1.38	14.11	82.66	15.85	0.06
1-2	33.83	30.83	16.84	1.34	0.19	0.42	0.26	0.16	16.35	1.86	1.38	14.05	83.43	15.17	0.06
1-3	34.66	30.59	16.98	1.28	0.18	0.01	0.36	0.23	15.16	1.92	1.41	14.64	86.22	11.72	0.04
1-4	34.50	30.31	17.82	1.34	0.19	0.12	0.25	0.13	14.69	1.93	1.40	13.84	77.67	11.22	0.04
1-5	35.21	32.05	16.43	1.26	0.18	0.24	0.27	0.08	14.25	1.86	1.40	13.77	83.81	10.82	0.04
2-1	33.74	28.89	19.81	2.00	0.21	0.34	0.23	0.08	14.40	1.98	1.37	15.62	78.85	12.02	0.05
2-2	34.73	30.77	18.65	2.04	0.22	0	0.27	0.18	12.58	1.91	1.38	14.27	76.51	11.85	0.04
3-1	37.44	27.40	18.82	2.00	1.00	0.20	0.26	0.14	12.88	2.31	1.61	13.79	73.27	28.59	0.13
3-2	38.22	28.47	16.93	1.84	0.95	0.34	0.32	0.16	12.60	2.27	1.65	12.43	73.42	28.03	0.13
3-3	38.56	27.57	17.41	1.87	1.01	0.22	0.20	0.13	12.83	2.37	1.69	12.24	70.30	28.05	0.13
3-4	38.95	27.87	17.16	1.81	1.12	0.04	0.31	0.31	12.70	2.37	1.70	11.57	67.42	27.56	0.12
5-1	44.84	22.83	16.64	1.66	1.28	0.12	1.18	0.33	10.77	3.33	2.27	8.64	51.92	35.95	0.23
5-2	45.34	23.54	16.15	1.66	1.22	0.09	1.27	0.28	10.95	3.26	2.27	9.01	55.79	31.64	0.22
5-3	45.82	23.60	15.49	1.44	1.20	0.08	1.27	0.21	11.08	3.29	2.32	8.08	52.16	35.90	0.21
6-1	44.12	22.27	18.08	1.95	1.05	0.02	0.73	0.07	10.65	3.36	2.21	8.01	44.30	46.60	0.16
6-2	42.76	22.62	19.84	2.05	0.96	0.05	0.63	0	10.95	3.20	2.05	9.06	45.66	42.80	0.14

* ba 值 = (K₂O + Na₂O + CaO + MgO)/Al₂O₃ (分子比)。

表3 <2微米粘粒的矿物组成(%)

Table 3 Mineralogical composition of clay (<2 μ m)

样品 Sample	非晶物质* Amorphous material	氧化铁 Iron oxide	三水铝石 Gibbsite	高岭石 Kaolinite	水云母 Hydro-mica	蒙皂石 Smectite	14×10^{-10} m 过渡矿物 14×10^{-10} m transitional mineral	长石、石英 Feldspars, Quartz
1-1	25	17	8	34	4	N. D.	11	1
1-4	23	18	8	34	3	N. D.	13	<1
2-1	22	20	6	33	3	N. D.	15	<1
2-2	24	19	6	33	3	N. D.	14	<1
3-1	26	19	N. D.**	32	3	7	12	1
3-3	25	17	N. D.	34	2	11	9	2
5-1	18	17	N. D.	21	13	18	9	4
5-3	19	16	N. D.	21	14	18	8	4
6-1	18	18	N. D.	22	8	22	6	6
6-2	18	20	N. D.	22	7	22	7	6

* 非晶物质=($\text{SiO}_2\%$ + $\text{Al}_2\text{O}_3\%$) \times 1.1.

** 未检出。

<2微米粘粒的全量分析(表2)、X射线衍射分析及矿物定量分析(表3)等结果表明,热带砖红壤表层粘粒中高岭石的含量为34%,非晶物质为25%,三水铝石为8%, 14×10^{-10} m过渡矿物为11%,水云母含量很低,硅铝率为1.88,阳离子交换量每百克为15.85毫克当量。亚热带赤红壤粘粒中高岭石和非晶物质的含量与砖红壤差不多,它们之间的差异是赤红壤粘粒中没有三水铝石,而含有7—11%的蒙皂石。所以硅铝率和阳离子交换量都高于砖红壤。中亚热带的红壤粘粒中高岭石和非晶物质的含量均低于砖红壤和赤红壤,而蒙皂石和水云母的含量要高于它们。也没有三水铝石。故硅铝率和阳离子交换量也随之增高。在2—10微米粒级中,除含有石英和长石外,还含有不少次生粘土矿物,如砖红壤和赤红壤的该粒级中含有20%左右的高岭石。

从图1可见,玄武岩母质在不同地带发育的几种红壤,在粘粒矿物组成上出现明显差异。高岭石、非晶物质和氧化铁的含量由北向南逐渐增加,高岭石的晶形也变好,而蒙皂石和水云母的含量则减少。三水铝石只存在于砖红壤中,在淋溶条件下,由高岭石脱硅而形成,表示土壤风化强度相当高。

砖红壤粘粒中矿物的演变为:

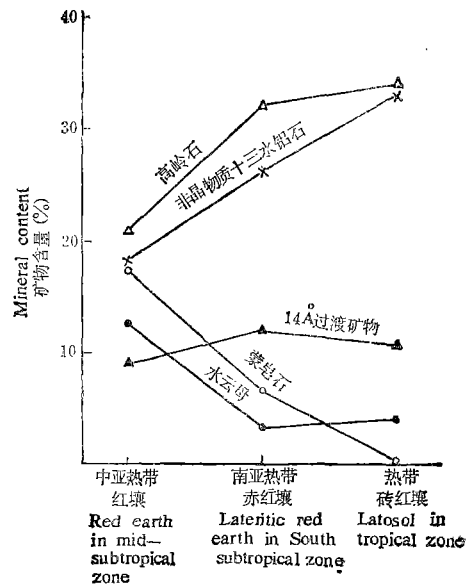
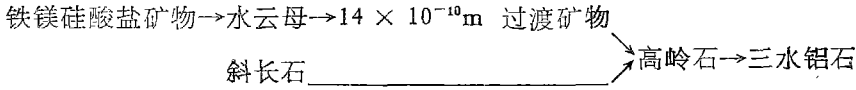
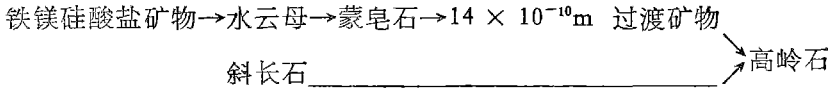


图1 不同地带土壤表层粘粒中的矿物含量
Fig. 1 The content of minerals in surface layer of different zonal soils



赤红壤和红壤中则为:



(二) 风化强度

粘粒是风化和成土过程的产物，粘粒含量的多少及其在剖面中的分化可反映风化作用的强弱。玄武岩因含有易风化的铁镁矿物，物理风化及化学风化均进行得十分迅速，形成的土壤一般质地较粘。砖红壤、赤红壤和红壤小于 2 微米粒级分别为 82.0 ± 3.8 、 71.6 ± 10.1 、 36.5 ± 11.1 。粘粒含量愈高，风化程度愈强，反之，则愈弱。

从表 2 可见，玄武岩发育的红壤、赤红壤和砖红壤粘粒中游离氧化铁含量为 $8.58 \pm 0.47\%$ 、 $12.82 \pm 0.84\%$ 和 $14.10 \pm 0.35\%$ ，游离铁占全铁的百分数即游离度，分别为 $53.3 \pm 2.2\%$ 、 $71.1 \pm 2.8\%$ 和 $82.8 \pm 3.1\%$ 。赤红壤和砖红壤表层粘粒中游离氧化铁含量相近，但游离度却有差异。此外，花岗岩发育的红壤、赤红壤及砖红壤中，铁的游离度分别为 33—35%、53—57% 及 64—71%^[2]。这些结果表明铁的游离度主要受成土过程的制约，它能较好的反映土壤的风化强度，有自北向南递增的趋势。

红壤、赤红壤和砖红壤的硅铝率为 3.29 ± 0.05 、 2.33 ± 0.05 、 1.89 ± 0.03 ；硅铁铝率为 2.29 ± 0.03 、 1.66 ± 0.04 、 1.39 ± 0.01 。富铝化作用的程度随着温度和雨量的提高而加深，红壤较弱、赤红壤居间、砖红壤最强。此外，从土壤的风化淋溶系数 (ba 值) 也可看出土壤的风化程度，一般 ba 值愈小，说明它的风化淋溶强度愈大。红壤、赤红壤和砖红壤的 ba 值分别为 0.22 ± 0.01 、 0.13 ± 0.002 、 0.05 ± 0.01 (表 2)。

从表 4, 5 和图 2 可见，粘粒含量、游离铁、铁的游离度、非晶物质 (包括三水铝石)、高岭石等含量与积温和年均温呈良好的正相关，与纬度呈良好的负相关。硅铝率、硅铁铝率、阳离子交换量、蒙皂石等则与积温和年均温呈负相关，与纬度呈正相关。而年降雨量与几种红壤的粘粒性质的相关性不像纬度、积温和年均温等因子那样显著。综上所述，风化程度上的差异是与水热条件，特别是积温和年均温有关 (图 2)。因为大部分化学反应都是因温度升高而加速进行的，这种温度的差异以及和它相联系的各种因素，对于化学风化和土壤形成是极为重要的。由于各地水热条件的变化，土壤中矿物质、有机质的转化过程及其产物的迁移状况

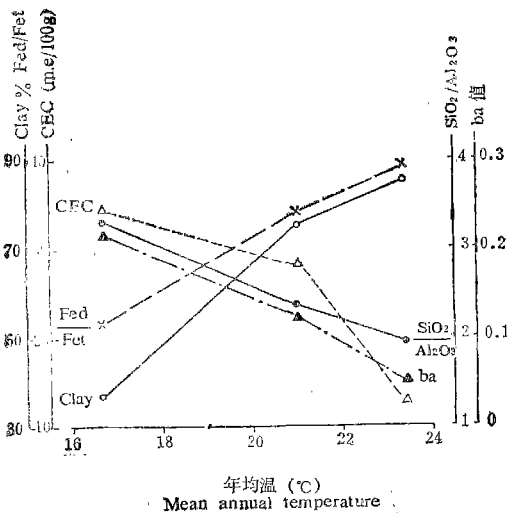


图 2 年均温因子对粘粒理化性质的影响

Fig. 2 Effect of mean annual temperature on physicochemical properties of clays

要的。由于各地水热条件的变化，土壤中矿物质、有机质的转化过程及其产物的迁移状况

表 4 采样点的气候条件

Table 4 Climatic conditions of sampling localities

采样地点 Locality	土壤类型 Soil types	北 纬 Northern latitude	≥10℃ 积温 Accumulated temperature	年均温(℃) Mean annual temperature	年降雨量 (mm) Annual rainfall
广东徐闻*	砖红壤和水稻土	20°20'	8536	23.3	1312
福建漳浦**	赤红壤	24°21'	7400	21.0	1350
浙江嵊县*	红壤和水稻土	29°36'	5230	16.6	1215

* 中央气象局,引自 1961—1970 年中国地面气候资料。

** 引自漳浦县土壤普查办公室 1982; 漳浦土壤。

表 5 玄武岩发育的几种红壤表层粘粒性质与地带性因子的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between properties of clay in surface layer of several red earths developed from basalts and zonal factors

因 子 Factor		北 纬(度) Northern latitude	>10℃ 积温 Accumulated temperature	年均温(℃) Mean annual temperature	年降雨量 (mm) Annual rainfall
粘粒性质 Properties of clay	粘粒含量 (<2μm)	-0.980	0.993	0.993	0.958
	CEC	0.959	-0.946	-0.946	-0.546
	游离 Fe ₂ O ₃	-0.991	0.995	0.995	0.921
	铁的游离度	-0.969	0.976	0.976	0.899
	SiO ₂ /Al ₂ O ₃	0.993	-0.999	-0.999	-0.898
	SiO ₂ /R ₂ O ₃	0.987	-0.991	-0.991	-0.897
	ba 值	0.932	-0.916	-0.916	-0.726
粘粒矿物组成	非晶物质+三水铝水	-0.982	0.983	0.983	0.829
	氧化铁	-0.501	0.490	0.490	0.513
	高岭石	-0.943	0.967	0.968	0.924
	水云母	0.788	-0.821	-0.821	-0.893
	蒙皂石	0.990	-0.986	-0.986	-0.857
	14×10 ⁻¹⁰ m 过渡矿物	-0.947	0.940	0.940	0.790
	长石、石英	0.933	-0.942	-0.942	-0.925

注 n = 5, r_{0.05} = 0.878, r_{0.01} = 0.959。

也有相应的变化。所以随着中亚热带向南亚热带和热带生物气候条件的变化,矿物的风化和土壤发育程度不断加强。可见,生物气候因素所引起土壤性质及矿物组成的变化比其它因素来得强烈。

(三) 土壤植稻后特征的可能变化

本研究中选用了两对旱地与水稻土进行对比。砖红壤与砖红壤性水稻土在粘粒化学性质与矿物组成方面都比较相近,这可能是与母岩风化强度较高有关,而粘土矿物的变化则比较缓慢,所以水稻土的粘粒矿物组成基本保持着前身土壤的特征。但它们在氧化铁的形态上有差异。通过 X 射线衍射证明,砖红壤粘粒中氧化铁主要以赤铁矿(2.69×10^{-10} m, 2.51×10^{-10} m, 1.69×10^{-10} m) 形态存在,而砖红壤性水稻土中针铁矿(4.18×10^{-10} m, 2.69×10^{-10} m, 2.45×10^{-10} m) 的含量明显增多(图 3)。温度和湿度可影响这两种

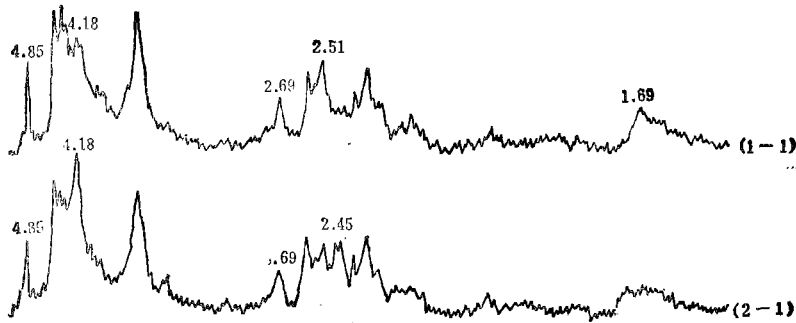


图3 砖红壤(1-1)与砖红壤性水稻土(2-1)表层粘粒的X射线衍射图谱

Fig. 3 XRD traces of clay in surface layer of latosol (1-1) and paddy soil developed on latosol (2-1)

矿物含量,温度的升高有利于赤铁矿的生成,湿度的增加有利于针铁矿的生成。红壤与红壤性水稻土相比,粘粒中高岭石和非晶物质的含量相近。它们之间的差异是后者中蒙皂石含量略高,水云母含量略低。这可能是因水稻土在发育过程中,水云母经水解和脱钾作用部分转变为蒙皂石。此外,水田的地形一般都较低洼,有利于蒙皂石的富集。红壤性水稻土的风化淋溶系数为0.14—0.16,略低于红壤(0.21—0.23),也表明它的风化淋溶强度高于红壤。

参 考 文 献

- [1] 朱鹤健等,1983: 福建东南部山地丘陵土壤的基本特征。土壤学报,第20卷3期,225—237页。
- [2] 李庆远主编,1983: 中国红壤。1—23页,科学出版社。
- [3] 郑春荣、沈任水、钱钦文,1985: 土壤全量快速分析——碳酸锂—硼酸、石墨粉坩埚熔样法。土壤,第17卷1期,34—35页。
- [4] 曾水泉,1981: 我国热带和亚热带土壤形成过程与分类问题。热带地理,第1卷4期,45—51页。
- [5] 熊毅等编著,1985: 土壤胶体第二册(土壤胶体研究法)。194—240页,科学出版社。
- [6] Alexiades, C. A. and Jackson, M. L. 1966: Quantitative clay mineralogical analysis of soils and sediments. Clays and Clay Miner. 14: 35—52, Pergamon press.

MINERALOGICAL PROPERTIES OF SEVERAL RED EARTHS DEVELOPED FROM BASALT

Jiang Meiyin and Yang Deyong

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing, 210008)

Summary

This paper deals mainly with the physico-chemical properties and mineral compositions of red earths, lateritic red earths and latosols developed from basalts under different conditions of biological climate. The content of iron oxide in clays from all soils was higher, being $16.98 \pm 0.83\%$. The iron oxides in clay fraction were dominated by hematites and goethites, but those in coarse fraction by magnetites, hematites and anatases. The free degrees (free Fe_2O_3 /total Fe_2O_3) of iron oxides of red earths, lateritic red earths and latosols were $53.3 \pm 2.2\%$, $71.1 \pm 2.8\%$, and $82.8 \pm 3.1\%$ respectively, and silica-alumina ration 3.29 ± 0.05 , 2.33 ± 0.05 , and 1.89 ± 0.03 respectively. The degree of allitic enrichment strengthened with increase of temperature and rainfall. The weathering leached coefficient ba ($ba = \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} + \text{MgO}$ molecular ration) was used to indicate the weathering intensity of soils. The ba value of red earths, lateritic red earths and latosols were 0.22 ± 0.01 , 0.13 ± 0.002 , and 0.05 ± 0.01 respectively.

The contents of kaolinites and non-crystalline materials in clays of latosol and lateritic red earth were approximate. However, lateritic red earth contained 7—11% smectites without gibbsite. In clay of red earth the contents of kaolinites and non-crystalline materials were lower than those in lateritic red earth and latosol, but the content of hydromica and smectite was higher, and there was also no gibbsite. The composition of clay minerals of the three soils varied greatly. The contents of kaolinites, non-crystalline materials and iron oxides increased gradually and crystal form of kaolinites changed better from north to south. The contents of smectites and hydromicas decreased gradually from north to south. The gibbsite was only found in latosols where gibbsite was formed from kaolinites through desilicification under an eluviation condition. This showed that the weathering intensity of the soils was rather strong.

In the 2—10 μm fraction, there were many secondary clay minerals, in addition to some quartz and feldspars.

All of the content of clay, CEC, $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$, free degree of iron oxide and weathering eluviation coefficient of soils in the present study could reflect the weathering degree which was related to soil hydrothermal conditions, specially mean annual temperature and accumulated temperature. It is shown that changes of soil properties and mineral composition induced by biologic and climatic factors were greater than those by others.

In the composition of clay minerals, paddy soils were similar to their precursor soils or soil-forming parent materials from which they derived. However latosols differed from paddy soils derived latosols in the form of iron oxides. X-ray diffraction results showed that the iron oxides in latosol mainly existed as hematites, but in the paddy soils derived from latosols the content of goethites increased obviously. Compared with the paddy soils derived red earths, the red earths contained a little less smectites, but more hydromicas.