

中国土壤颗粒研究

III. 赣中丘陵旱地红壤及其各级颗粒的理化特性

邓时琴 徐梦熊

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

赣中丘陵第四纪红色粘土上发育的旱地红壤中粘土矿物的细粘粒(<0.001 毫米)部分以高岭石和蛭石为主,并有一定量的水云母和夹层矿物。各级颗粒的化学组成中,随颗粒由粗到细, SiO_2 的含量大体上也由高到低; Fe_2O_3 的含量则是砂粒级稍稍超过粉粒级,后一情况与作者过去对太湖地区两种水稻土(白土和黄泥土)研究的结果相似。供试红壤粒径 <0.005 毫米的颗粒才显示抗压强度,而上述水稻土从 <0.05 毫米的颗粒就开始有抗压强度。同前所试水稻土一样,在供试红壤中,粒径 <0.002 毫米的颗粒开始表现出可塑性及膨胀性。

对土壤及其各级颗粒的理化特性研究,是土壤基本性质研究的重要内容之一。因此,开展这方面的研究是很有意义的,不仅有助于深入探究土壤肥力上的差异原因,而且可以加深对土壤颗粒基本性质的认识,为完善我国土壤颗粒分级和质地分类提供科学依据。

旱地土壤及其各级颗粒的化学组成和物理性质研究,国外早有报道。据苏联和美国研究者的研究结果^[1-3]以及其他资料,可将各粒级的一般特性归纳如下:随颗粒由粗到细,在矿物学特征上,是由以原生矿物为主体,渐次过渡到次生矿物占绝对优势;在化学组成上,随颗粒由粗到细 SiO_2 的含量显著降低,而 Fe_2O_3 和 Al_2O_3 的含量则由少增多;随颗粒渐细,化学和物理化学活力由小而大;随颗粒变细而比表面积增加,不仅会改变表面吸附、离子交换等化学性质,而且也改变了土壤的物理行为。在物理性质方面,一般来说,随土粒变细,吸湿量、最大吸湿量、持水量、毛管持水量将增加,而土壤的通气孔隙度、通气和透水速度则降低。土壤的一些力学参数,如粘结力、粘着力、膨胀、收缩以及阿德伯常数等亦随之变化^[3]。

以往国内对土壤各级颗粒的理化特性尚未作过专门研究。近几年来作者研究了太湖地区两种水稻土(白土和黄泥土)的颗粒性质^[1,2],本文主要报道对赣中丘陵旱地红壤及其各级颗粒的理化特性的研究结果。

一、供试土样和测定方法

供试土样采自江西进贤县下埠集¹⁾,系发育于第四纪红色粘土的丘陵旱地红壤A层的0—20厘米。

1) 系马茂同同志采集,特此感谢。

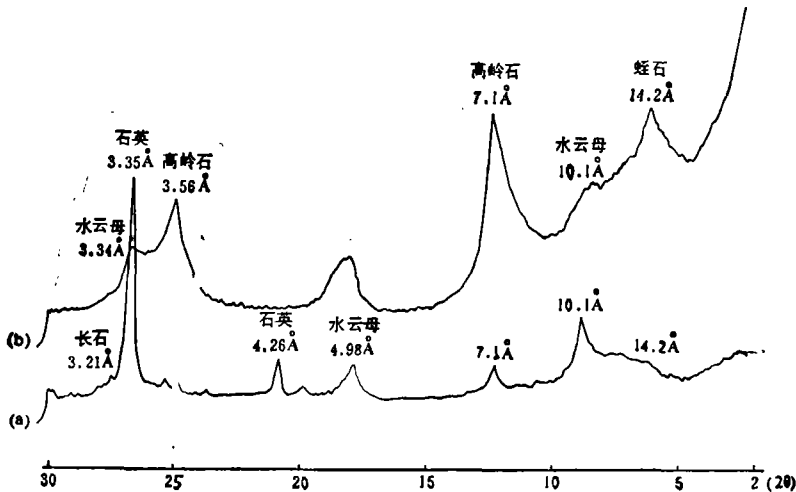
非耕地,有少量马尾松及稀疏的禾本科短草,有轻度浸蚀。附近有的地方已被利用,多旱作,也有筑梯田种水稻的。

土样用 0.5mol 氢氧化钠分散,分离方法、土粒分级及测定项目的具体操作步骤,均同对太湖地区水稻土(白土和黄泥土)的处理^[1,2]。供试样品共 8 个,为红壤 (<1 毫米)及其 7 个粒级。

二、结果和讨论

(一) 供试红壤的粘土矿物组成及其各级颗粒的比表面

红壤粘粒的 X 射线衍射图谱(图 1)及电镜照片¹⁾(照片 1)表明,粗粘粒(0.002—0.001 毫米)部分以水云母为主,有一定量的 14Å 过渡矿物和夹层矿物,并有少量高岭石及较多的石英,还有极少量长石;而细粘粒 (< 0.001 毫米)部分则以高岭石和蛭石为主,并有一定量的水云母和夹层矿物。供试红壤中粗粘粒和细粘粒部分为同一种的粘土矿物,在分配上有明显差异,这与太湖地区两种水稻土(白土和黄泥土)^[1,2]的情况相似。但是,那两种水稻土的细粘粒中以水云母和蒙脱石为主,而高岭石较少。



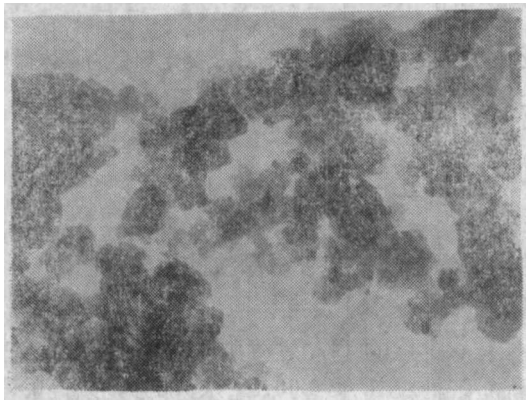
(a) 粗粘粒 (2—1 μ); (b) 细粘粒 (<1 μ)

图 1 红壤粘粒的 X-射线衍射图谱 (CuK α) (由杨德湧、蒋梅茵同志鉴定)

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of the clay in red earth (CuK α) (identified by Yang Deyong and Jiang Meiyong)

供试红壤的细粘粒含量多而粗粘粒含量少(表 1),故它的粘土矿物以 1:1 型的高岭石为主,属非膨胀型,外表面积大于内表面积。虽然它的细粘粒 (< 0.001 毫米)部分的比表面,都比上述水稻土中以水云母和蒙脱石为主的细粘粒部分要低^[1,2],但是,由于供试红壤中细粘粒的含量较高(47%),故占全土比表面的百分数也较高(表 1)。粗粉粒级的比表面和阳离子交换量都是最低的,但在粗粉粒级以下各粒级,则随颗粒变细而比表面和阳离子交换量均依次增大(表 1, 2)。

1) 由顾新运、李淑秋同志鉴定。



照片 1 红壤细粘粒的电镜照片(细粘粒 ($<1\mu$) $\times 40,000$ 高岭石和氧化铁)

Photo 1 Electron microscope photograph of the fine clay in red earth

(二) 供试红壤及其各级颗粒的化学性质

从供试红壤各级颗粒的全量组成来看(表 2), SiO_2 的含量基本上随颗粒由粗变细而逐渐减少, 细粉粒级中 SiO_2 的含量仍较高, 至粗粘粒级才明显降低, 唯粗粉粒级中 SiO_2 的含量稍高于砂粒级; Al_2O_3 的含量则相反, 随颗粒变细而递增, 从粉粒级开始变化更显著。这与国外的研究结果一致^[9~11]。但是, 如同作者对太湖地区两种水稻土(白土和黄泥土)的研究结果^[4,2]一样, 供试红壤砂粒的 Fe_2O_3 含量反而超过粉粒中的含量, 使这一粒级的吸湿和膨胀性能比粉粒稍强, 而与国外资料不同。细粘粒的化学性质, 与李庆逵、张效年的研究结果相近似^[5,6]。

(三) 供试红壤及其各级颗粒的物理性质

1. 土壤颗粒组成及质地 供试的红壤系第四纪红色粘土发育而成, 其土壤颗粒组成与太湖地区下蜀黄土母质上发育的两种水稻土(白土和黄泥土)显著不同。红壤中细粘粒含量较高, 粗粉粒约等于中、细粉粒含量之和, 中、细粉粒含量相近, 属重粘土质地^[4](表 1)。

2. 基本物理性质 从表 3 可看出, 供试红壤及其各级颗粒的比重(2.66—2.87)都较上述水稻土的高(除白土粗砂粒为 3.27 外), 这可能是供试红壤中重矿物(游离氧化铁等)含量较多之故, 尤其是其细粒部分。容重随土粒变细而由大到小。供试红壤的浸水容重与黄泥土的相近, 都较白土的低, 故无泥浆板结现象。各粒级的浸水容重变化无规律性, 但细粘粒的浸水容重特别小, 则与太湖地区两种水稻土的相似。

3. 吸湿系数 由于供试红壤的细粘粒含量较高(47%), 所以它的吸湿系数为 10% (表 3), 比水稻土白土(6%)和黄泥土(8%)的都高。从供试红壤各级颗粒的吸湿系数看, 砂粒和粉粒各级的吸湿系数均很低 ($< 1\%$)。供试红壤砂粒的吸湿系数反而超过粗、中粉粒的吸湿系数, 这与国外旱地土壤研究的结果^[8,11~13]不一致, 而与太湖地区两种水稻土(白土和黄泥土)的变化趋势相同。后者是由于“铁锰砂”的存在使砂粒的吸湿系数明显偏大^[4,2]。

4. 持水性 从图 2 曲线可见, 供试红壤中因含有粗细不同的颗粒, 也就具有大小不等

表 1 红壤的颗粒组成及其比表面
Table 1 Particle composition and specific surface of the red earth

测定项目 Determined items	各级颗粒(粒径: mm, %) Particle fractionation										粗粘粒 细粘粒 Coarse silt Fine clay	质地名称 ⁽¹⁾ Texture
	土壤 Soil (<1)	粗砂粒 Coarse sand ($1-0.25$)	细砂粒 Fine sand ($0.25-0.05$)	粗粉粒 Coarse silt ($0.05-0.01$)	中粉粒 Medium silt ($0.01-0.005$)	细粉粒 Fine silt ($0.005-0.002$)	粗粘粒 Coarse clay ($0.002-0.001$)	细粘粒 Fine clay (<0.001)	粗粘粒 Coarse silt	细粘粒 Fine clay		
颗粒组成(%)	100.0	2.0	5.6	22.7	10.7	10.2	1.6	47.2	0.48		重粘土	
比表面 (m ² /g)	178.0	8.3	12.7	8.1	11.7	14.1	19.8	389.0				
占全土比表面的% ^①	100.0	0.08	0.38	0.95	0.66	0.76	0.17	97.0				

① 指除去有机质后土壤的比表面,由马毅杰同志测定,特此致谢。

表 2 红壤及其各级颗粒的化学性质

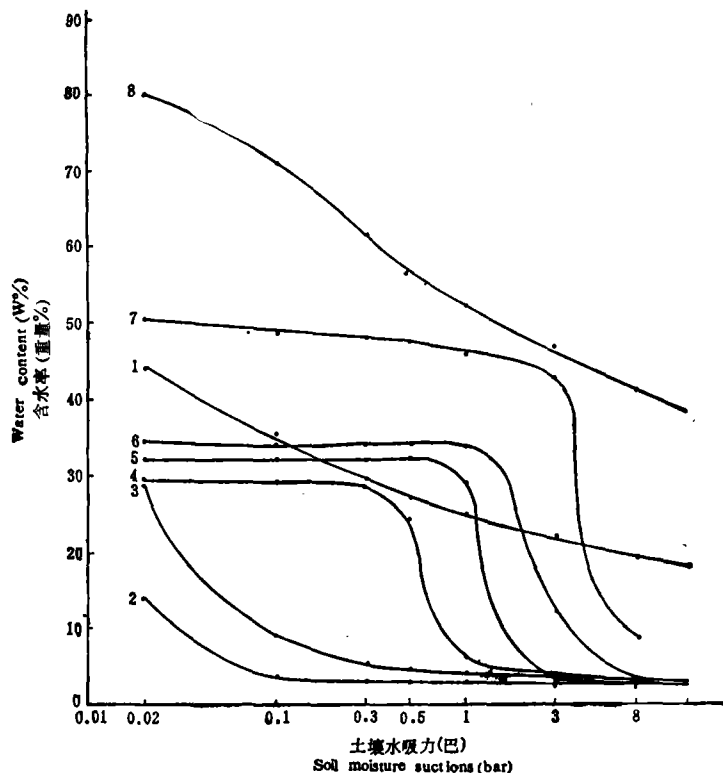
Table 2 Chemical properties of red earth and its different particle size fractions

颗粒粒径 (mm) Diameter of particle	颗粒含量 (%) Particle content	有机质 (%) O.M.	阳离子 交换量 (meq/ 100g CEC)	全量组成(%)* Total content				烧失量(%) Loss on ignition	分子率 Molecular ratios		
				SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂		SiO ₂ / Al ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	SiO ₂ / R ₂ O ₃
土壤(<1)	100.0	0.73	12.40	67.26	17.52	5.88	1.29	6.58	6.51	4.67	5.36
粗砂粒 (1-0.25)	2.0		0.73	95.18	0.79	1.59	0.22	0.68	206.01	0.78	90.13
细砂粒 (0.25-0.05)	5.6		0.47	94.33	1.18	1.81	0.47	0.67	135.53	1.03	68.66
粗粉粒 (0.05-0.01)	22.7		0.29	96.11	1.58	0.84	1.32	0.38	104.69	2.89	77.76
中粉粒 (0.01-0.005)	10.7		0.50	92.50	3.03	0.79	1.33	0.69	51.91	6.06	44.56
细粉粒 (0.005-0.002)	10.2		1.70	82.94	7.55	1.39	2.03	1.67	18.68	8.51	16.71
粗粘粒 (0.002-0.001)	1.6		5.75	65.14	19.83	2.84	2.81	4.55	5.58	10.92	5.12
细粘粒 (<0.001)	47.2		28.28	42.40	32.15	11.41	1.11	10.79	2.24	4.42	1.83

* 沈王水同志用等离子光谱分析,特此致谢。

表 3 红壤及其各级颗粒的物理性质
Table 3 Physical properties of red earth and its different particle size fractions

颗粒粒径 (mm) Diameter of particle	比重 Specific gravity	容重 (g/cm ³) Bulk density	浸水容重 (g/cm ³) Bulk density of water- immersed soil	吸湿系数 (%) Hygroscopic coeff- icient	液限(%) Liquid limit	塑限 (%) Plastic limit	塑性指数 Plastic index	细粘粒活度 Activity of fine clay	总吸水量 (ml/g) Total water absorbing capacity	总吸苯量 (ml/g) Total benzene absorbing capacity	膨胀 (ml/g) Swelling	抗压强度 (kg/cm ²) Compre- ssive strength
土壤 Soil (<1)	2.72	1.25	0.66	9.74	42.1	25.8	16.3	0.35	0.52	0.43	0.09	3.15
粗砂粒 ($1-0.25$)	2.66	1.52	1.33	0.34	无	无	无	—	0.28	0.25	0.03	无
细砂粒 ($0.25-0.05$)	2.68	1.46	1.25	0.59	无	无	无	—	0.31	0.28	0.03	无
粗粉粒 ($0.05-0.01$)	2.69	1.30	1.31	0.14	无	无	无	—	0.36	0.40	-0.04	无
中粉粒 ($0.01-0.005$)	2.68	1.20	1.49	0.20	无	无	无	—	0.40	0.46	-0.06	无
细粉粒 ($0.005-0.002$)	2.87	1.22	1.37	0.65	无	无	无	—	0.43	0.47	-0.04	0.12
粗粘粒 ($0.002-0.001$)	2.76	1.10	1.17	2.13	41.2	23.6	17.6	—	0.61	0.55	0.06	0.28
细粘粒 (<0.001)	2.80	0.97	0.46	18.70	71.1	47.7	23.4	—	0.92	0.67	0.25	2.64



1—(<1mm); 2—(1—0.25mm); 3—(0.25—0.05mm); 4—(0.05—0.01mm);
5—(0.01—0.005mm); 6—(0.005—0.002mm); 7—(0.002—0.001mm); 8—(<0.001mm)

图 2 红壤及其各级颗粒的持水曲线(粒径: 毫米), (由汪仁真同志测定)

Fig. 2 The water retaining curves of red earth and its different size fractions (diameter of particle: mm), (determined by Wang Renshen)

的孔隙,所以随着吸力的增加水分也逐渐逸出,持水曲线的坡度较缓和。又因供试红壤细粘粒含量较高,在低吸力 0.02 巴时,持水量为 44%。若以 0.5 巴作为供试红壤的有效水的上限,则它的有效水含量为 9%。再从各级颗粒的持水曲线看,在相同吸力下,随颗粒由粗到细而持水量由小到大。砂粒级的持水曲线似双曲线型,在低吸力 (0.02—0.3 巴) 范围内,持水量大,当吸力逐渐加大,持水量缓慢地减小,到 15 巴时粗砂粒及细砂粒两级的持水量很接近。粗粉粒、中粉粒及细粉粒分别在吸力 0.3—3、0.5—3 和 1—8 巴范围内持水量变化大。粗粘粒级的持水曲线与粉粒级相似,在吸力大于 3 巴时则持水量突然减少几倍,持水曲线坡度较陡。细粘粒级的持水量随吸力由小到大,坡度由高到低,变化较为平缓。

5. 物理机械性质 (1)可塑性: 土壤的可塑性以颗粒组成、矿物组成及形成土壤的颗粒形状为转移。供试红壤的粘土矿物(细粘粒 < 0.001 毫米部分)以高岭石为主,可塑性较弱,所以它的塑性指数及细粘粒活度都较低。从各级颗粒来看,开始呈现可塑性的颗粒,仍为小于 0.002 毫米的粒级(表 3),与上述水稻土^[1,2]的一致,而国外的研究结论是,小于 0.005 毫米的颗粒已具有可塑性和膨胀性^[6,11-13]。供试红壤细粘粒的塑性指数较粗粘粒的高出约三分之一,而在上述水稻土中,粗、细粘粒塑性指数的差异更大^[1,2]。(2)吸水和膨

胀: 从图 3 看, 供试红壤在 10 秒以内吸水速度特快, 10—30 秒内较快, 以后一直缓慢吸水, 到 2 小时的总吸水量为 0.52 毫升/克。各级颗粒在 10 秒内吸水速度都很快。除粗粘粒级和细粘粒级吸水一直缓慢外, 其他粒级在 2 分钟内基本上能吸足。总吸水量随颗粒

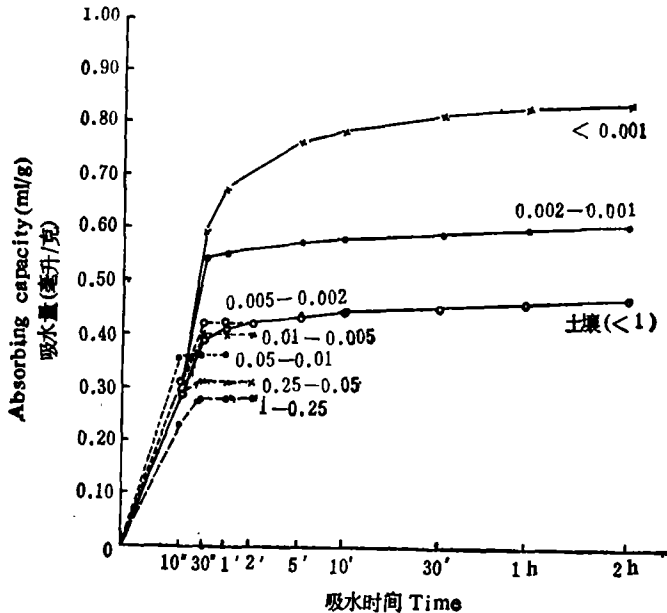


图 3 红壤及其各级颗粒的吸水曲线(粒径: 毫米)

Fig. 3 The water absorbing curves of red earth and its different size fractions (diameter of particle: mm)

由粗到细相应地增加, 细粘粒级的总吸水量到 2 小时后约为全土的一倍。红壤全土及其各级颗粒的膨胀量微弱, 均较以蒙脱石为主的水稻土(白土和黄泥土)的低^[1,2]。红壤中细粘粒的膨胀量为粗粘粒的 4 倍多, 为全土的 2 倍多。(3)抗压强度: 供试红壤的细粘粒含量为 47% (表 1), 比太湖地区水稻土白土(23%)和黄泥土(32%)的都高, 但它全土的抗压强度才有 3 公斤/厘米² (表 3), 反而较水稻土白土(7 公斤/厘米²)、黄泥土(11 公斤/厘米²)全土的都低。看来, 供试红壤的抗压强度, 并不完全决定于土壤颗粒组成中的细粘粒含量, 还与其他因素有关, 如: 红壤粒间的粘结力较小; 稳定性微团聚体较多, 其相互接触面积比细粘粒间的接触面积要小得多等^[7]。1—0.005 毫米部分的抗压强度为零, 从细粉粒部分开始随颗粒变细而抗压强度渐增。

参 考 文 献

- [1] 邓时琴、徐梦熊, 1982: 中国土壤颗粒研究 I. 太湖地区白土型水稻土中白土层土壤及其各级颗粒的理化特性。土壤学报, 第 19 卷 1 期, 22—32 页。
- [2] 邓时琴、徐梦熊, 1986: 中国土壤颗粒研究 II. 太湖地区黄泥土型水稻土及其各级颗粒的理化特性。土壤学报, 第 23 卷 1 期, 57—68 页。
- [3] 邓时琴, 1986: 土壤颗粒和质地。《土壤物理学》, 1—47 页, 农业出版社。
- [4] 邓时琴, 1986: 关于修改和补充我国土壤质地分类系统的建议。土壤, 第 6 期, 304—311 页。
- [5] 李庆远、张效年, 1957: 中国红壤的化学性质。土壤学报, 第 5 卷 1 期, 78—96 页。

- [6] 张效年、李庆远, 1958: 华南土壤的粘土矿物组成。土壤学报, 第6卷3期, 178—192页。
- [7] 姚贤良、于德芬, 1982: 红壤的物理性质及其生产意义。土壤学报, 第19卷3期, 224—236页。
- [8] 卡庆斯基, Н. А. (田积莹等译, 1964), 1958: 土壤机械组成、微团聚体组成及其研究方法。8—15页, 科学出版社。
- [9] Joffe, J. S., and Kunin, R., 1942: Mechanical separates and their fractions in the soil profile: I. Variability in chemical composition and its pedogenic and agropedologic implications. SSSA-P., Vol. 7, 187—193.
- [10] Адерихин, П. Г., Беляев, А. Б., 1974: Химический состав механических фракций черноземов центральных областей. Почв., № 4, 99—110.
- [11] Воронин, А. Д., 1958: Некоторые свойства фракций механических элементов комплекса почв светло-каштановой подзоны. Вестн. Моск. УН-Та. Сер. Биол. почв., Геол., Геогр., № 4, 93—102.
- [12] Кочерина, Е. И., 1954: Некоторые химические и физические свойства отдельных механических фракций дерново-подзолистой почвы. Почв., № 12, 53—71.
- [13] Личманова, А. И., 1962: Некоторые свойства механических фракций светло-серой лесной почвы. Почв., № 6, 58—69.

STUDIES ON SOIL PARTICLES IN CHINA

III. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF DIFFERENT PARTICLE SIZE FRACTIONS OF RED EARTH IN HILLY LANDS OF CENTRAL JIANGXI PROVINCE

Deng Shiqin and Xu Mengxiang

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

Summary

The red earths originated from Quaternary red clay are widely distributed in the hilly lands of central Jiangxi Province. Some physical and chemical properties of different particle size fractions of red earths were investigated.

The main results are summarized as follows:

1. The clay minerals of the fine clay fraction (<0.001 mm) in the soils are predominated by kaolinites and vermiculites and contain some hydromicas and interlayer minerals. Distinct difference in the distributions of clay minerals was found between the coarse clay fraction (0.002—0.001 mm) and the fine clay fraction (<0.001 mm).

2. Chemical analysis of the samples showed that the content of SiO_2 decreased, but that of Al_2O_3 increased with the soil particles size fraction changing from coarse to fine, which are consistent with the reported results by foreign pedologists. The sand fraction contained more Fe_2O_3 and had greater hygroscopicity and swelling capacity as compared with the silt fraction. These results are similar to those of bleached and permeable paddy soils in the Taihu basin, but different from foreign reports.

3. Plasticity and swelling were found only in the clay fraction (<0.002 mm). But in foreign reports these characters could be found in 0.005—0.001 mm particle fraction of some upland soils, and it might result also from <0.002 mm fraction.

4. The compressive strength of red earth was found only in <0.005 mm size fraction, but that of paddy soils of the Taihu basin mentioned above was found in <0.05 mm size fraction.

It is considered that the plasticity and compressive strength have an obvious relationship with the content of fine clay in the paddy soils of Taihu, but these properties are weakened as a consequence of microaggregates with high stability formed by fine clay and sesquioxides in clayey red earth.

Above-mentioned investigation is only a beginning for the study of the physical and chemical properties of different particle size fractions in upland soils of China. The experimental results may promote our understanding of the basic properties of soil particles, and supply a scientific basis for particles size fractionation and textural classification of soils in China.