

# 红壤的物理性质及其生产意义\*

姚贤良 于德芬

(中国科学院南京土壤研究所)

热带和亚热带地区广泛分布着红壤性土壤。由于该地带水热条件十分优越,促进了土壤矿物组成的强烈风化和生物物质的迅速循环,从而构成了红壤性土壤所具有的独特的化学性质和物理行为。晚近的研究表明,红壤性土壤中大量存在的高岭类粘土矿物和三氧化物不仅决定了土壤中一系列的化学环境,而且也影响着土壤中的物理过程和力学性质的变化<sup>[13,16]</sup>,而后者的控制和改善又往往是红壤开发利用成败的关键之一<sup>[17]</sup>。我国红壤就其不同生物气候带及成土母质来源而论主要有三种类型:热带砖红壤,广泛分布于海南岛、雷州半岛、西双版纳和台湾南部,其中,发育于玄武岩风化物的质地粘重,以高岭石、三水铝石和赤铁矿为主,三氧化物含量较高;南亚热带赤红壤,分布于广东西部和东南部、广西西南部、福建南部和台湾南部,发育于花岗岩风化物上的质地较轻,以高岭石、埃洛石为主,三氧化物中氧化铝的含量较高;中亚热带红壤,大部分分布于长江以南的低山丘陵地区。其中,发育于低丘的第四纪红色粘土上的红壤,质地较粘,以高岭石、石英、蒙脱石为主,三氧化物略低于上述二类红壤。对上述三类热带、亚热带红壤的化学性质,我国研究工作者已作过详细的研究和报道<sup>[2,4]</sup>,而物理性质过去研究甚少。本文主要就上述三类红壤的物理性质进行初步研究和讨论。

## 一、土壤的结构特征

土壤结构是土壤中原生颗粒和次生颗粒(包括团聚体)以及粒间孔隙的不同排列形式<sup>[10,15]</sup>。它决定土壤中水分的移动和保持,耕作难易,根系在土壤中的伸展以及抗蚀性能等。实践证明,热带红壤的合理利用必须保持和创造红壤中良好的土壤结构状况<sup>[5,21]</sup>。即使在种植水稻以后,保持良好的土壤结构以有利于后季旱作的种床准备及根系的发育亦具重要作用<sup>[15]</sup>。

### (一) 土壤颗粒组成

土壤颗粒是构成土壤结构的主要组分。红壤的颗粒组成与其成土母质及其风化程度密切相关。发育于高度风化的玄武岩风化壳上的砖红壤,颗粒组成以粘粒( $<0.001$  毫米)为主,可达 50—70%;砂粒(1—0.05 毫米)通常少于 10%;粉粒(0.05—0.001 毫米)20—40%。它们的组成与分布在波多黎各、澳大利亚、美国和南非的粘质热带土壤相类似(表 1)。这类土壤由于粘粒和三氧化物的含量较高,后者可占 50% 以上,易形成稳定性很

\* 参加本项工作野外调查的还有徐富安同志。

强的微团聚体, 直径 1—0.01 毫米的粗微团聚体含量有时可占总量的 90%<sup>[25]</sup>。它们的存在对土壤某些物理行为具有重要影响。

表 1 红壤的颗粒分配(%)

Table 1 Particle size distribution in red earth

土壤类型和地点 Soil type and locality	土层深度 Depth (cm)	砂 粒 (1—0.05mm) Sand	粉 粒 (0.05—0.001mm) Silt	粘 粒 (<0.001mm) Clay	备 注 Note
砖红壤(广东徐闻) Laterite (Xuwen, Guangdong)	0—23	8.0	35.5	56.5	
	23—50	10.5	32.0	57.5	
砖红壤* <sup>1</sup> (海南岛福山) Laterite (Fushan, Hainan Dao)	0—30	12.5	24.4	63.1	引自李庆远等 (1957年) <sup>[27]</sup>
	30—50	7.5	14.5	78.0	
典型氧化土* <sup>2</sup> (波多黎各) Typical Acrothox (Puerto Rico)	0—28	9.2	36.3	55	引自 El-Swaify 等(1980年) <sup>[13]</sup>
	97—120	17.0	23.3	60.0	
典型氧化土(夏威夷, 莫洛凯) Typical Torrox (Molokai, Hawaii)	0—40	3.3	22.7	73	同上
	80—100	2.9	20.0	77	
氧化土(南非, 纳特) Oxiso (S. Africa, Natal)	0—8	13	21	66	同上
	46—60	3	20	77	
红壤(澳大利亚, 南昆士兰) Kraurozem (Austr. S. Queensland)	0—10	10.3	18.7	71	同上
	150—180	8.7	22.1	67	
赤红壤(广州五山)* <sup>3</sup> Lateritic red earth (Wushan, Guangzhou)	0—13	61.0	21.5	17.5	
	13以下	53.8	28.4	17.8	
红壤(江西进贤) Red earth (Jinxian, Jiangxi)	0—5	6.1	61.0	32.9	
	5—34	3.6	53.0	43.4	
	34—83	3.5	47.8	48.7	

注: \*<sup>1</sup> 砖红壤砂粒粒径为 1—0.01 毫米。

\*<sup>2</sup> 外国土壤: 砂粒为 >0.02 毫米; 粉粒为 0.02—0.002 毫米; 粘粒 <0.002 毫米。

\*<sup>3</sup> 赤红壤: 砂粒级中包括 3—1 毫米的细砾。

Note: \*<sup>1</sup> 1—0.01mm.

\*<sup>2</sup> Texture classification for foreign soils: Sand, >0.02mm; silt, 0.02—0.002mm; clay, <0.002mm.

\*<sup>3</sup> Lateritic red earth, sand fraction includes 3—1mm fine gravel.

由花岗岩风化壳上发育的赤红壤的颗粒组成较粗, 3—1 毫米的细砾和 1—0.05 毫米的砂粒可占 50—60%, 粉粒和粘粒各占 20% 左右。石英砾过多(一般占 20—30%) 对土壤物理性质及根系穿插有明显影响。赣中红色粘土发育的红壤中砂粒含量约 5%, 粘粒 30—50%, 粉粒较多, 约占 50—60%, 粘粒随剖面深度而增加, 粉粒随剖面深度而减少的颗粒组成与热带地区某些淋溶土相类似<sup>[18]</sup>。

## (二) 土壤孔隙性

土壤孔隙是影响土壤通气、透水及根系伸展的直接因素。尤其在热带高温多雨或高温干旱和半干旱地区,孔隙的数量及其不同孔径的组合,往往是决定渗水、保水以及防止表土水土流失的决定因素。由表 2 所见,砖红壤由于具有较高的微团聚性,反映在其构成土体的总孔隙度、通气孔隙度和持水孔隙度都比较高,且下层略高于表层,有利于渗水、保水,水气矛盾似不突出。但粗质赤红壤的孔隙性较差,非耕地(分布在岗顶)表层的总孔隙度

表 2 土壤的孔隙性(1979 年秋测定)

Table 2 Distribution of porosities in red earths (Determined in the Autumn of 1979)

土地利用方式 Pattern of land utilization	层次深度 (cm) Depth	通气孔隙度(%) Air-filled porosity	持水孔隙度(V%) Water-holding porosity	总孔隙度(%) Total porosity
砖红壤(广东徐闻) Laterite (Xuwen, Guangdong)				
非耕地, 灌木林 Uncultivated land	0—23	30.3	30.9	61.2
	23—50	31.9	31.9	63.8
旱地, 橡胶苗圃(中肥) Dry farming land with meddle fertility	0—15	27.9	37.3	65.2
	15—30	26.8	38.4	65.2
	30—50	27.3	34.7	62.0
赤红壤(广州五山) Lateritic red earth (Wushan, Guangzhou)				
非耕地, 长少量小叶桉, 茅草 Uncultivated land	0—13	2.4	44.0	46.3
旱地, 鱼藤草(高肥) Dry farming land with high fertility	0—21	11.2	44.8	56.0
	21以下	3.8	39.7	43.5
旱地, 花生(低肥) Dry farming land with low fertility	0—11	9.0	48.9	57.9
	11以下	3.4	40.3	43.7
红壤(江西进贤) Red earth (Jinxian, Jiangxi)				
非耕地, 长少量马 尾松 Uncultivated land	0—7	5.0	42.7	49.4
	7—20	4.1	44.8	48.9
	20—30	3.7	47.5	51.2
	34—57*	—	—	57.5
旱地, 芝麻(高肥) Dry farming land with high fertility	0—15	6.0	44.7	50.7
	15—30	3.9	48.4	52.3
旱地, 芝麻(低肥) Dry farming land with low fertility	0—14	10.9	48.6	59.5
	14—19	2.9	46.5	49.4

\* 为红壤母质层, 系 1962 年资料。

为 46.3%，其中通气孔隙度只占 2.4%，明显影响根系穿插。这可能与其较多的石英颗粒和粘粒的相互嵌入的紧排列密切相关。这类土壤上开垦后熟化度的提高似与通气孔隙的增加和熟化层的加厚有关。红壤孔隙度的变化介乎上述二个系列之间，通气孔隙一般都比较低。

粘质红壤的持水孔隙度一般都相当高。但由于其中包括多量的由束缚水所占有的孔隙，这部分孔隙所持的水分，由于吸力大，根系不能利用。因此，不能按持水孔隙度或毛管孔隙度来判断土壤的供水能力。

### (三) 土壤结构的稳定性

由于土壤结构的稳定性是影响红壤通透及抗蚀等性能的主要因素。因此，在热带红壤研究中占有重要地位<sup>[17,18]</sup>。有的研究者指出，红壤的微团聚性是很好的，这是由于以高岭石为主的粘土矿物的膨胀性较小，同时具有胶结力很强的三氧化物参与下形成大量稳定性团聚体之故<sup>[22,23]</sup>，它们有时被称为“假砂”，其形成机理，各说不一，如认为它们的形成取决于粘团、有机胶体、三氧化物以及非晶形的无机组成成分相互作用的结果<sup>[13]</sup>。有人用光学手段测定了自然团聚体间矿质颗粒的定向排列对稳定性的影响，还有人应用电子显微镜观察到粘粒表面包被着似胶状包结物是形成稳定性的基础<sup>[16]</sup>。至于三氧化铁在团聚体形成及其稳定性中的作用问题，有着不同的看法。有些研究者认为它是形成红壤微团聚体及其稳定性的重要胶结物质<sup>[6,19]</sup>。而另外一些研究者认为，三氧化铝的胶结作用要比三氧化铁强<sup>[11,14]</sup>。晚近研究指出，只要土壤的组成成分很细，并以非晶态为主，铁、铝二类氧化物都能与之胶结而形成稳定性团聚体<sup>[12]</sup>。最近，El-Swaify (1980) 又报道：氧化土团聚体是经土壤颗粒的静电联结、范德华引力以及氢键等相互作用而形成的，因此它的稳定性很强，只有联合采用物理和化学的处理才能断裂这些联结键<sup>[13]</sup>。

然而，发育于第四纪红粘土的侵蚀红壤的水稳性团聚体就并非那样稳固，根据顺序脱胶的显微镜镜检及脱胶后的颗粒分析，发现当用 0.1 N NaOH 去除游离有机胶结物后，团聚体崩解成很多细粒，粘粒大量逸出。但是，如果有多量的有机胶结物参与团聚作用，那么当脱离游离态有机胶结物后，团聚体形状变化不大，粘粒逸出很少，只有进一步顺序去除与  $R_2O_3$  结合的及与粘粒结合的有机胶结物后，粘粒才能大量逸出。这说明在相同成土母质条件下，由于有机物质的参与，所形成的团聚体的复杂程度和稳定性大不相同<sup>[6]</sup>。

影响土壤团聚体水稳性的原因很多。随着含水量的增加，粒间的粘结力会降低，有些胶结物质会软化；团聚体吸水膨胀时会产生不均匀的应力促使其崩解；干燥团聚体淹水时，团内的闭塞空气外逸时所产生的压力破坏等<sup>[20]</sup>。然而，由于热带粘质红壤的颗粒细、排列紧、粘粒活度低、膨胀性小、以及较多无定形三氧化物的胶结作用，所以形成的团聚体，尤其是微团聚体的水稳性很强<sup>[23]</sup>。有些研究者指出，氧化土的微团聚体的稳定性很强，但大团聚体的稳定性较弱<sup>[13]</sup>。从我们所研究的三个系列来看，似乎大团聚体的稳定性并不很低。砖红壤和红壤表层中  $> 0.25$  毫米的水稳性团聚体均可达 90% 以上，只有赤红壤含量较低，为 70% 左右。开垦后水稳性团聚体含量均有不同程度的下降，赤红壤下降最多，为 30% 左右。各级水稳性团聚体分配列于图 1。看来，由于砖红壤中的微团聚体发育最好，组成大团聚体时，微团间的胶结脆弱，从而  $> 5$  毫米的水稳性团聚体要低于其他

二个系列。各系列开垦后，大团聚体数量均明显减少，0.5—0.25 毫米的显著增多。这与非洲某些铁质土和铁铝土开垦后团聚体平均重量直径不断变小的状况相类似<sup>[20]</sup>。由此看来，热带、亚热带土壤在开垦后如何保持团聚体的稳定性及其多孔性是一个普遍存在的问题。

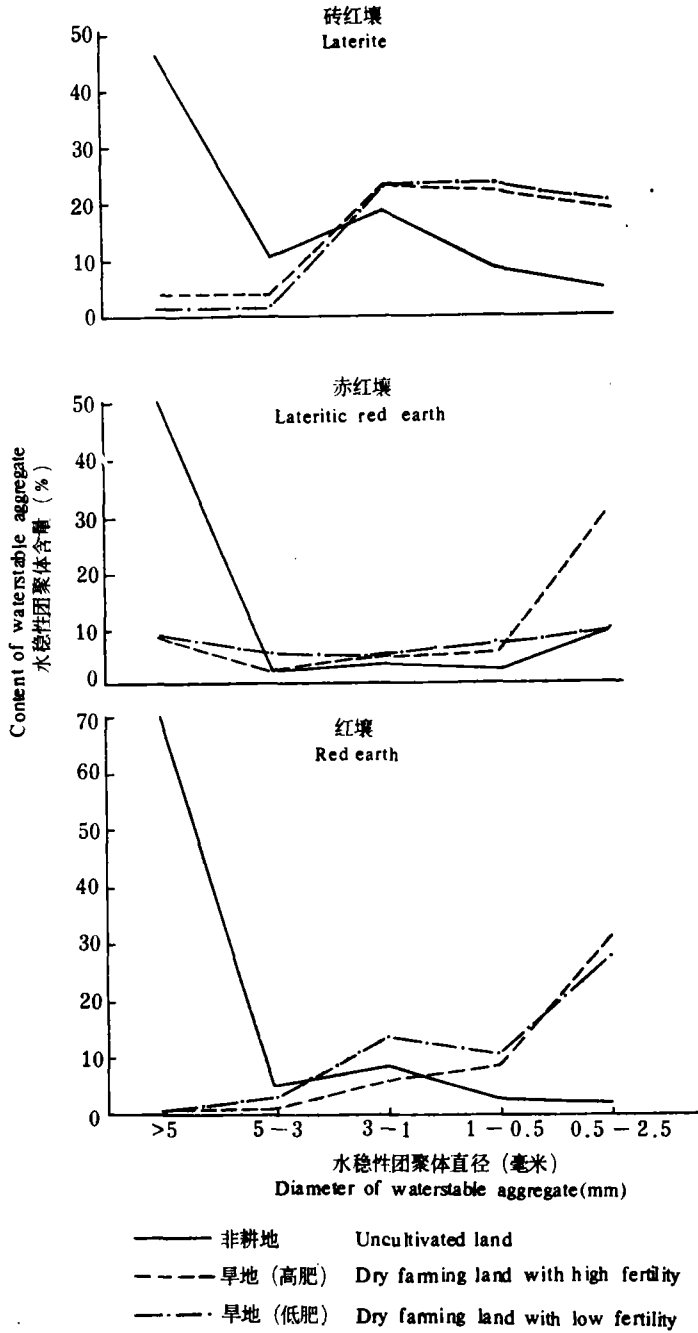


图 1 红壤水稳性团聚体分配

Fig. 1 Distribution of waterstable aggregates in red earth

## 二、土壤水分特征

红壤地处热带和亚热带,在湿润半湿润地区,一般讲年雨量相当充沛,如赣中地区也可达 1500—1600 毫米。但是由于雨量分配不均以及不合理的红壤开发利用,不少地区都存在着严重的伏旱和秋旱,成为影响作物生产的主要障碍因素。

### (一) 水分移动

热带粘质红壤由于具有较多的稳定性团聚体及其所构成的通气孔隙,因此,一般说它们的透水性还是相当好的,能接纳较大强度的雨水,表土不易结壳,但是,由于雨滴的拍打和细粒的下移,会堵塞土壤孔隙而降低渗透速度。据 Foote 等 (1972) 测定,夏威夷多数氧化土的水力传导度在 1.6—16 厘米/小时,变幅很大<sup>[13]</sup>。我国亚热带红壤的渗透速度的变化取决于土壤的结构。未耕种红壤的渗透速度  $K_{10}=6$  厘米/小时 ( $K_{10}$  为水温 10°C 时的渗透速度); 肥力水平较高的旱地红壤,  $K_{10}=11.5$  厘米/小时,而较差的旱地红壤的  $K_{10}$  为 2.9 厘米/小时<sup>[7]</sup>。据有关研究报告,赣中红壤在雨季时并不能增加土体内的贮水量,母质层虽可厚达数米,但并不存在深层贮水的利用,这可能与耕层结构差,遇雨水土粒易于分散、堵塞孔隙,影响雨水的入渗有关<sup>[9]</sup>。因此,改善耕层结构,增加雨季时耕层的渗透速度,可能会促进深层贮水,减轻伏旱威胁。

有些研究者指出,大多数氧化土在饱和状态时的水分移动较快,但一旦从饱和转至非饱和时,其移动速度迅速下降。如美国夏威夷的氧化土测定表明,当吸力从 0 增加到 0.04 巴时,水力传导度降低 1 个数量级;吸力增至 0.1 巴时,其传导度下降 2—3 个数量级<sup>[13]</sup>。热带红壤脱水后,水分移动速度迅速下降,与其具有较多量的稳定性团聚体有关。它既是红壤易受干旱的原因之一,又能在一定条件下(如底墒较好)起到调节水分运行,防止水分进一步损失的有益作用。这是因为当团聚体之间大孔隙中的水分移去以后,连续的水分运行通道断裂,形成自然覆盖,从而降低表土蒸发,防止底层土壤水分的进一步丢失,或形成临时结壳,抑制下层土壤的蒸发<sup>[7,8]</sup>。在结构良好的自覆盖作用明显的红壤上,还由于底层水的向上移动凝结,而补充耕层水分(有的地区称为“夜潮”),在一定程度上可以减轻红壤的旱象<sup>[9,13]</sup>。

### (二) 土壤水分的保持

粘质砖红壤和红壤,由于颗粒组成以细粒为主,并具有较多的稳定性微团聚体。因此,这些土壤的持水量是很高的。但由于结构等因素的差异,持水量的变幅较大。由表 4 所见,列举土壤间,不论是低吸力或高吸力阶段都存在着不同的持水量。多数研究者认为,在低吸力阶段土壤持水量的变化主要取决于土壤的结构<sup>[3,13,26]</sup>,而在 15 巴时则取决于土壤的质地,因此后者的数值与粘粒含量呈线性关系。砖红壤中的粘粒和稳定性团聚体的含量高,团聚体间的孔隙较大,因此,在低吸力,特别在 0.02 巴时的持水量较大,可达 50% 左右。当吸力增加到 0.3 巴,可逸出约 15—20% 的水分。继续增加吸力,逸出的水量就较少,如从 0.3 增到 15 巴时,共逸出约 10% 的水,只占 0.02—0.3 巴时逸出的一半。

表 3 红壤的持水特征\*

Table 3 Characteristics of water retention in red earth

土壤类型和利用方式 Soil type and pattern of land utilization		深度 (cm) Depth	持 水 性 (g/100g soil) Water retention			
			0.02	0.1	0.3	15 (bar)
砖红壤 (广东徐闻) Laterite (Xuwen, Gangdong)	非耕地 Uncultivated land	0—23	54.8	44.4	38.3	27.1
	旱地(高肥) Dry farming land with high fertility	23—50	50.8	42.5	36.8	28.0
	旱地(中肥) Dry farming land with middle fertility	0—15	49.3	34.7	29.7	20.7
	旱地(低肥) Dry farming land with low fertility	0—15	54.5	41.8	33.7	27.2
赤红壤 (广州五山) Lateritic red earth (Wushan, Gangzhou)	非耕地 Uncultivated land	0—13	36.5	25.4	21.7	11.9
	旱地(高肥) Dry farming land with high fertility	0—21	34.4	21.4	17.9	10.4
	旱地(低肥) Dry farming land with low fertility	0—11	35.0	23.5	20.2	12.1
红壤 (江西进贤) Red earth (Jinxian, Jiangxi)	非耕地 Uncultivated land	0—7	49.7	39.9	32.7	17.4
	旱地(高肥) Dry farming land with high fertility	25以下	47.0	35.3	30.0	17.1
	旱地(中肥) Dry farming land with middle fertility	0—15	42.7	30.7	24.2	11.3
	旱地(低肥) Dry farming land with low fertility	0—14	42.5	31.0	24.9	12.6
典型干氧化土(夏威夷)** Typical Torrox (Hawaii)		50—100	50.0* <sup>1</sup>	42.0	30.5	21.0
红壤(澳大利亚,昆士兰)* <sup>3</sup> Kranozem (Austra. Queensland)		0—8	67.1* <sup>2</sup>	—	—	28.6
		75—90	63.8* <sup>2</sup>	—	—	26.3
热带湿淋土(尼日利亚,阿克博)* <sup>4</sup> Orthoxic Tropudult (Nigeria)		—	45.0	18.0	17.0	12.0

\* 砖红壤、赤红壤和红壤三个系列的持水性由本所物理室汪仁真同志测定。

\*<sup>1</sup> 土壤吸力为 0; \*<sup>2</sup> 土壤吸力为 0.01 巴; \*<sup>3</sup> 引自参考文献 [13]; \*<sup>4</sup> 引自参考文献 [18]。Note: \*<sup>1</sup> Soil suction is 0.\*<sup>2</sup> Soil suction is 0.01 bar.

看来,从脱水曲线剖析,似乎 0.3 巴时是个转折点,这与某些砂性土的脱水曲线相类似。这个特征也能在夏威夷的氧化土和尼日利亚的湿淋土上见到(表 3)。第四纪红粘土红壤和赤红壤也有与砖红壤相类似的水分特征曲线。

关于根据水分特征曲线来判断植物可利用的有效水的报道较多。对有效水下限(即凋萎含水量)有较一致的认识,多数研究者确定为 15 巴。而对上限(即称为田间持水量)的报告很不一致。有的报道是 0.1 巴或 0.5 巴(砂土接近 0.1 巴,粘土接近 0.5 巴)<sup>[3]</sup>。另有报道是 0.05 巴到 0.33 巴<sup>[43]</sup>。氧化土的脱水很快,故在澳大利亚、加拿大和日本广泛采用 0.1 巴作为有效水上限<sup>[43]</sup>。据不少文献报道,目前仍较多采用非原状土测定水分特征曲线的。事实上,其测定结果和用田间原状土的测定结果有较大出入。据部分样品的搅动土(通过 2 毫米筛孔)和田间原状土测定结果相对比,发现有不同的反映。由表 4 可见,多数红壤表层的原状土田间持水量相当于 0.3 巴,而赤红壤以及肥力水平较高的旱地红壤,原状土测定的田间持水量可相当于 0.1 巴或更小的吸力。因此,就我国热带亚热带红壤的有效水上限确定在 0.3 巴还是 0.1 巴,仍需进一步研究确定。

表 4 不同方法测出的相当于田间持水量结果的对比  
Table 4 Field moisture capacity measured by different methods

土壤类型和利用方式 Soil type and pattern of land utilization		深度 (cm) Depth	田间持水量(重量%) Field moisture capacity (W%)		
			0.1 bar	0.3 bar	环刀称重法* Weighed method with undisturbed core
砖红壤 Laterite	非耕地 Uncultivated land	0—23	44.4	38.3	32.5
	旱地(高肥) Dry farming land with high fertility	23—50	42.5	36.7	34.3
赤红壤 Lateritic red earth	非耕地 Uncultivated land	0—15	25.4	21.7	27.5
	旱地(高肥) Dry farming land with high fertility	0—21	21.4	17.9	—
红壤 Red earth	非耕地 Uncultivated land	0—7	39.9	32.7	32.8
	旱地(高肥) Dry farming land with high fertility	25以下	35.3	30.0	36.5
		0—15	30.7	24.2	34.4

\* 为用原状土测定的毛管持水量,表层数据为五个重复的平均值。

\* Capillary moisture capacity is determined with soil samples in situ, data of surface soil are mean values of five replications.

### (三) 土壤水分的供应

土壤水分对植物根系的供应取决于土壤水分的容量和水流速度。而水分容量主要应指土壤对植物根系吸收的有效水含量以及比水容量(即特征曲线上的斜率)。如以 0.3 巴



到 15 巴范围内称为有效水, 则砖红壤和赤红壤系列的有效水量约在 10% 左右。且总的趋势非耕地>旱地高肥>旱地低肥。而第四纪红粘土红壤的有效水略高, 一般在 15% 左右, 也是非耕地>旱地高肥>旱地低肥。如果将部份结果与过去按常规法测定的有效水含量(即用田间持水量减去最大吸湿量乘 1.5)相对比<sup>[7]</sup>, 则发现, 按特征曲线算出的有效水含量偏低。这究竟是有效上限定在 0.3 巴偏高, 还是用最大吸湿水乘 1.5 倍算出的凋萎含水量偏低, 也是值得进一步研究的问题。

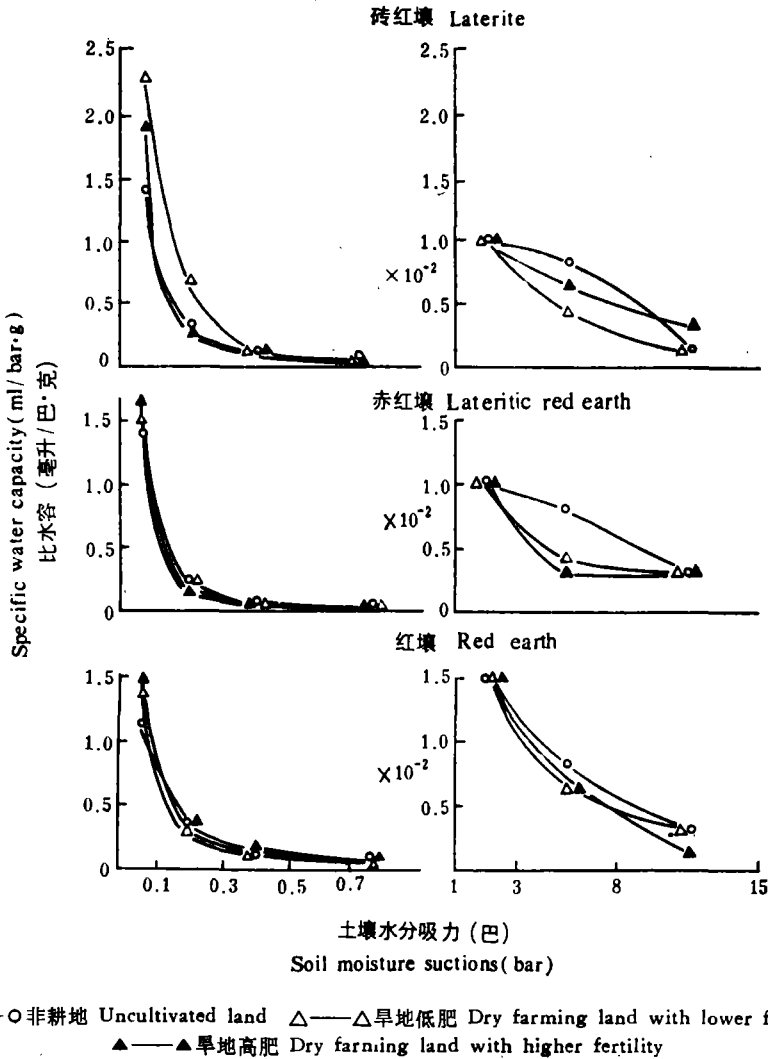


图 2 土壤的比水容

Fig.2 Specific water capacity of soils

关于比水容量或称水容量是根据特征曲线上的斜率 ( $d\theta/ds$ ——按脱水曲线, 即每单位重量土壤中增加单位吸力时土壤中释放出的水量,  $\theta$ ——土壤含水率,  $s$ ——土壤吸力) 来确定的<sup>[3]</sup>。据它以判断在有效水范围内土壤水分的供应是否等效。由图 2 所见, 红壤的比水容有快速下降的特点。当土壤吸力在 0.02—0.1 巴时, 比水容大于 1 毫升/

巴·克,其中以砖红壤为最高。每一系列内又以耕种的高于非耕种的土壤。吸力从 0.1 增至 0.3 巴时,比水容下降到  $10^{-1}$  数量级;超过 0.5 巴时,下降到  $10^{-2}$  数量级;超过 1 巴时,砖红壤和赤红壤则下降到  $10^{-3}$  数量级。3 巴以下,非耕地的水容量又高于耕种旱地,可能因非耕地表层团聚体中具有较多量的微孔隙。粘质红壤中比水容的快速下降与其具有较多的稳定性微团聚体有关,因此,质地虽粘,但水分供应特征却如同砂性土一样。

随着土壤吸力的增加,水容量的急剧下降以及土壤水的传导度也急剧降低。由此看来,红壤,特别是风化度很高的砖红壤,当土壤水分处于有效水范围下限时,如果缺乏深层供水,则同样易受干旱的威胁。所以,热带多雨地区,保持土壤水分,同样是生产中的重要问题。

### 三、土壤机械物理性质

随着热带地区机械化农业的不断发展,红壤机械物理性质的研究日益受到重视。不少研究者对红壤的结持性、压实、强度以及流变学性质进行了研究和讨论<sup>[13,18,22]</sup>,我国近年来也逐渐注意了这些问题。

#### (一) 土壤的裂断模数和粘着力

土壤抗剪强度是土壤耕作的重要参数,它服从于库伦方程,即与土壤颗粒间的粘结力和土体位移时断裂界面上产生的内摩擦力有关。砂质土壤中,粒间没有粘结力,所以抗剪强度就等于内摩擦力,并受垂直负荷的影响,而粘质土壤,土粒间的粘结力大,抗剪强度往往取决于粘粒的含量。Skempton (1953) 的研究表明,粘结力对抗剪强度的作用随着粘粒活度(塑性指数/粘粒含量)的增加而增加<sup>[21]</sup>。热带土壤的粘粒活度低,粘结力对抗剪强度的影响较小,据报道,对于这类土壤的抗剪强度来说,内摩擦力的作用要占 80% 以上<sup>[22]</sup>。

红壤粒间的粘结力较小还与其稳定性微团聚体较多,粒间相互接触的面积较原有粘粒的接触面积要小得多有关,从断裂模数测定也证实了这点。如粘粒含量达 30% 多的下蜀黄土的断裂模数为 7 公斤/厘米<sup>2</sup>,而粘粒含量多达 60% 的砖红壤和红壤的断裂模数却都在 3 公斤/厘米<sup>2</sup>左右(样品均系通过 1 毫米孔径的重塑土,在风干状态下测定的)。

土壤粘着力的大小为影响耕作难易的重要因素。在通常条件下,它的数值取决于质地、结构和湿度。据报道,当土壤湿度达田间持水量的 60—80% 时,土壤即开始呈现粘着力,结构差的土壤中起始呈现粘着力的含水量较结构好的土壤要低<sup>[27]</sup>。热带红壤起始呈现粘着力的土壤湿度多数超过了田间持水量的 80%,非耕种砖红壤甚至超过田间持水量(见图 3)。起始呈现的粘着力也低,砖红壤系列为 1—4 克/厘米<sup>2</sup>,赤红壤和红壤系列分别为 3—7 克/厘米<sup>2</sup>和 7 克/厘米<sup>2</sup>。据以往的报道,粘质土壤的最大粘着力通常超过 24—32 克/厘米<sup>2</sup>;壤质土为 24—12 克/厘米<sup>2</sup>;砂质土则 <10—15 克/厘米<sup>2.1</sup>。而热带、亚热带红壤的最大粘着力多 <15 克/厘米<sup>2</sup>,与砂质土的数值相近。从图 3 还可见到,砖红壤和旱地耕种红壤呈现最大粘着力时的土壤湿度接近土壤的流限。这说明了在一定条件下热带红壤并不易粘附机具,即使在雨后土壤湿度接近田间持水量时也这样。而且,由于这些富含微团聚体土壤的透水性较高,如果底层没有不透水层,那么表土达到流限湿度的机率较小,易于避免最大粘着力的出现。红壤种植水稻以后,由于胶体性质及粘粒活度的改变,最大

表 5 红壤的阿德伯常数  
Table 5 Atterberg's constants of red earth

土壤类型和利用方式 Soil type and pattern of land utilization		层次 (cm) Depth	含水量 Moisture (g/100g soil)			粘粒活度 Activity of clay
			流限 Liquid limit	塑限 Plastic limit	塑性指数 Plastic index	
砖红壤 (广东徐闻) Laterite (Xuwen, Guangdong)	非耕地 Uncultivated land	表层	54.9	40.2	14.7	0.26
	旱地 Dry farming land	表层	44.6	31.6	13.0	0.26
	水田 Paddy soil	表层	61.2	40.1	20.9	0.45
赤红壤 (广州五山) Lateritic red earth (Wushan, Guangzhou)	非耕地 Uncultivated land	表层	33.1	27.7	5.4	0.31
	旱地 Dry farming land	表层	31.4	20.4	11.0	0.60
	水田 Paddy soil	表层	33.3	22.9	10.4	0.98
红壤 (江西进贤) Red earth (Jinxian, Jiangxi)	非耕地 Uncultivated land	表层	44.4	29.5	14.9	0.37
	旱地 Dry farming land	表层	30.5	19.8	10.7	0.53
	水田 Paddy soil	表层	42.7	28.4	14.3	0.80
典型干氧化土*(夏威夷, 莫洛凯) Typical Torrox (Hawaii)		0—55	44.0	30.0	14.0	0.18
热带始成土饱和干氧化土 Tropeptic Eustrustox (Hawaii)		0—28	44.0	28.0	16.0	0.20
热带始成土(波多黎各) Tropeptic Haploorthox (Puerto Rico)		0—25	48.0	39.0	9.0	0.20

\* 引自 El-Swaify (1980)<sup>[13]</sup>。

粘着力时的土壤湿度下降到流限和塑限范围内,无疑将增加耕作阻力。

## (二) 土壤的阿德伯常数

阿德伯常数是确定土壤耕作的重要物理指标。近年来在热带地区已引起广泛重视。看来,各地的研究结果很类似(见表5)。有的研究者指出,氧化土的塑限与蒙脱土为主的土壤塑限相近,但流限却前者低于后者,其原因是高岭土的膨胀性小,特别当含有多量三氧化铁时更进一步抑制土壤的膨胀<sup>[13]</sup>。

通常土壤塑性指数与粘粒含量呈正相关<sup>[23]</sup>。如有的研究指出,当粘粒含量为45—75%时,塑性指数为20—30;粘粒含量为20—30%时,塑性指数为10—20<sup>[14]</sup>。但在粘质红壤中,似乎并不明显存在这种关系。由表5可见,列举土壤中粘粒的含量有较大差异,但其塑性指数除个别水田较高外,一般都低于15%。看来对热带红壤的塑性指数说来并

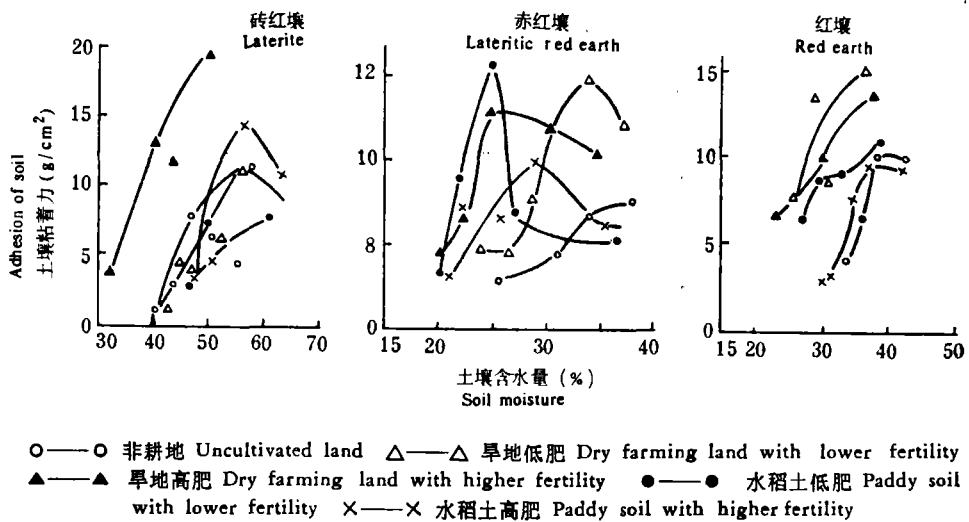


图 3 土壤的粘着力

Fig. 3 Adhesion of soils

不决定于分散的机械颗粒,而决定于实际存在的微团聚体的组成。因此,即使当粘粒含量很高时,其塑性指数仍接近于砂性土壤,从而表现出易耕特点。

由此看来,并不能笼统地认为热带粘质红壤的耕性是不好的。过去认为这些土壤“天晴一把刀,雨后一团糟”,这可能与不合理的耕作、施肥管理而引起土壤微团聚体的大量破坏有关,而并非热带红壤本身固有的特征。

## 参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所,1978: 中国土壤。科学出版社。
- [2] 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。
- [3] 陈志雄、汪仁真,1979: 中国几种主要土壤的持水性。土壤学报,第16卷3期,277—281页。
- [4] 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。
- [5] 姚贤良、于德芬,1962: 赣中丘陵地区红壤性水稻土的结构状况及其肥力意义。土壤学报,第10卷3期,267—288页。
- [6] 姚贤良、于德芬,1964: 赣中丘陵地区红壤及红壤性水稻土的胶结物质及其与土壤结构形成的关系。土壤学报,第12卷1期,43—54页。
- [7] 姚贤良、于德芬,1966: 赣中丘陵地区红壤的不同结构对某些水分物理性质的影响。土壤学报,第14卷1期,65—72页。
- [8] 陆景冈,1979: 红壤结构性的田间观察及初步分析。土壤学报,第16卷1期,63—68页。
- [9] 琚忠和、刘勋、张淑文、丁贤茂,1980: 红壤水分特征的初步研究。土壤通报,第3期,8—12页。
- [10] Bayer, L. D., Gardner, W. H. and Gardner, W. R., 1972: Soil Physics, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York. London. Sydney. Toronto.
- [11] Deshpande, T. L., Greenland, D. J. and Quirk, J. P., 1968: Changes in soil properties associated with the removal of iron and aluminium oxides. J. Soil Sci., 19: 108—122.
- [12] El-Swaify, S. A. and Emerson, W. W., 1975: Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated aluminium and iron hydroxides. I. Swelling and aggregate stability after drying. SSSAP, 39: 1056—1063.
- [13] El-Swaify, S. A., 1980: Physical and mechanical properties of Oxisols. In "Soils With Variable Charge", edited by New Zealand, Society of Soil Sci., 303—322.
- [14] Greenland, D. J., Oades, J. M. and Sherwin, T. W., 1968: Electronmicroscope observations of iron oxides in some red soils. J. Soil Sci., 19: 123—126.

- [15] Greenland, D. J., 1981: Recent progress in studies of soil structure and its relation to properties and management of paddy soils. Proceedings of Symposium on Paddy Soil, edited by The Institute of Soil Sci., Academia Sinica. Science Press, Beijing, p. 42—58.
- [16] Jones, R. C. and Uehara, G., 1973: Amorphous coatings on mineral surfaces. SSSAP, 37: 792—798.
- [17] Lal, R., 1979: Modification of soil fertility characteristics by management of soil physical properties. In "Soil Physical Properties and Crop Production in the tropic." John Wiley and Sons, New York, 397—405.
- [18] Lal, R., 1980: Physical and mechanical characteristics of Alfisols and Ultisols, with particular reference to soils in the tropics. In "Soils With Variable Charge", edited by New Zealand, Society of Soil Sci., 253—274.
- [19] Lutz, J. E., 1936: The relation of free iron in the soil to aggregation. SSSAP, 1: 43—45.
- [20] Marshall, T. J. and Holmes, J. W., 1979: Soil physics Cambridge University Press. London, New York, Melbourne.
- [21] Tambant, R. V., Motiramani, D. P., Bali, Y. P. and Donahue, Roy, L., 1964. Soils Their Chemistry and Fertility in Tropical Asia. New Delhi, India.
- [22] Uehara, G., Gillman, G., 1980: The Mineralogy, Chemistry and Physics of Tropical Soils with Variable Charge Clays. (Manuscript).
- [23] Wilum, Z. and Starzewski, K., 1975: In "Soil Mechanics in Foundation Engineering". Surrey Univ. Press.
- [24] Yao Xian-liang and Yu De-fan, 1964: Formation of soil aggregates in cultivated red earth. 8th Inter. Congr. of Soil Science. Tran. V. II, 211—217.
- [25] Yao Xian-liang and Yu De-fan, 1982: The physical properties of red soils as affected by the microaggregation. Transactions of the 12th Intern. Congr. of Soil Science. V. 6: 21.
- [26] Zein el Abedine. Showky, I. A. and Zaghloul, K. F., 1980: A comparative study on the effect of plant systems on some physical properties of desert calcareous soils. II. Moisture and air regimes. Soil and Fertilizer. 44 (1). 27: 1981.
- [27] Вадюняна, А. Ф., Корчагина, З. А., 1961: Методы Определения Физических Свойств почв и Грунтов. Госу. Из. «Вышш. школа».

## THE PHYSICAL PROPERTIES OF RED EARTH AND ITS PRODUCTIVE SIGNIFICANCE

Yao Xian-liang and Yu De-fen

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

### Summary

The physical properties of the major red earths widely distributed in the tropical and subtropical China were studied. The results showed that the clayey red earth containing about 60% clay particles formed under certain tropical bioclimatic condition not only had the particular chemical properties, but also possessed special physical behaviours. Their characteristics such as water retention and movement, soil rupture modulus, soil adhesion and Atterberg's constants were quite different from the soils with clayey texture, but similar to the soils with sandy texture. One of the important reasons resulting in the physical behaviours mentioned above is attributed to the abundance of the water stable microaggregates in these soils.

The unique physical properties of clayey red earths is of great significance to its rational exploitation, utilization and management.