

红壤生态站^{*}土壤物理性质研究

许绣云 姚贤良

(中国科学院南京土壤研究所)

摘要

测定了生态站垦前8个代表性土壤剖面的物理性质,包括剖面的颗粒和微团聚体组成、土壤孔隙大小和穿透阻力、原位分层透水性以及原状土和扰动土的水分特征曲线等。根据测定结果阐述了红壤水分的入渗性和供水性都较差的主要原因,为合理利用红壤,特别为合理管理水分和结构提供了依据;并为进一步研究红壤利用中土壤物理性质的变化积累了基础资料。

红壤地处高温多雨,风化较强的生物气候带,它不仅具有与温带土壤很不相同的化学性质,而且在一系列土壤物理性质方面亦与温带土壤不同。如有些土壤粘粒含量虽可高达50%,持水性也很强,但它的有效水含量低,即使在多雨湿润地带也常易遭受干旱的威胁^[1]。

为了了解红壤耕垦后土壤物理性质的变化及其在生产上的意义,在江西省中国科学院红壤生态试验站约400公顷范围内,选择了具有代表性的土壤进行了土壤物理特性的普查,共研究测定了8个代表性剖面,其分布见图1。各剖面均系第四纪红色粘土覆盖物,除剖面R₇和R₈地处茶园外,其余均系长有稀疏马尾松和草的非耕地。测定项目包括原位测定的土壤透水性,土壤穿透阻力及原状土的大小孔隙分配、原状和扰动土的水分特征曲线、土壤颗粒和微团聚体组成等。现分别将这些性质进行讨论和评价。

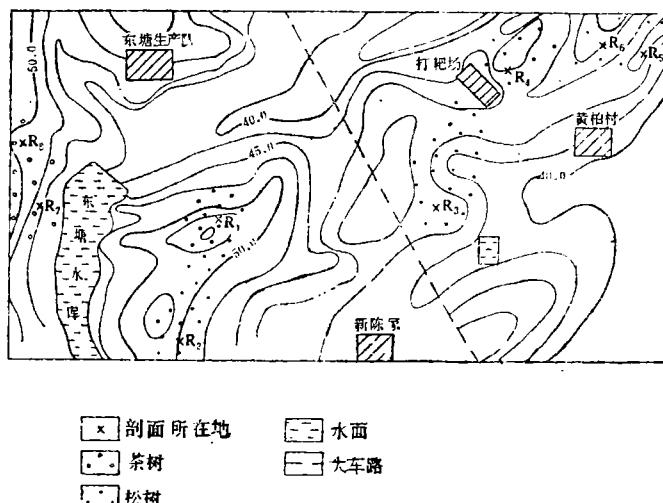


图1 站区供测土壤剖面的分布示意图

一、土壤颗粒和微团聚体组成

在站区第四纪红色粘土覆盖物发育的红壤都属粉质重壤土或粉质轻粘土。其中粘粒(<0.001mm)含量一般都高于30%,随地形部位和剖面深度不同而有变异。由图2可见,站区

* 红壤生态站是位于江西省余江县刘家站的中国科学院红壤生态试验站。

西部丘陵顶部的R₁和东部侵蚀区的R₄，全剖面的粘粒含量可高达46—50%以上，粘粒和粉粒(0.05—0.001mm)在剖面内的分配较均匀，粘粒下移的迹象不明显，土壤的发育程度很低。其他处于缓坡或稍低地形部位的R₂、R₃、R₅和R₆，剖面中的粘粒含量稍低，一般达40%左右，上层土(0—2cm)比下层土低5—7%，而粉粒含量则上层比下层高，可看出微弱的粘粒移动现象。在西部沿东塘水库以西的茶园土壤(R₇、R₈)，粘粒含量又稍低，在35%左右，其中R₈比R₇有较明显的粘粒下移现象，1—0.05mm砂粒含量高达30%，这与其他剖面不同，可能由于施土肥的缘故。从各剖面的粘粒分配可看出，虽本站地处亚热带，平均年降雨量达1700mm^①，但粘粒下移作用并不很明显，这就不得不考虑这是否与红壤荒丘表面土壤水的入渗能力较差和大量降水以径流形式流失有关。由图2可见，在表土0—2cm内的粘粒都有不同程度的冲失，而细砂和粉粒有较多的残留，这是丘陵坡面经常发生径流的佐证。这样的颗粒组成最易形成坚硬的结壳。结壳的水分入渗率明显低于下层土壤，影响粘粒下移。反映了土壤剖面接纳水分的能力受到表土结壳的限制。尽管这种土壤内的疏松层很厚，但没有像西北黄土那样具有深厚贮水层的特性。

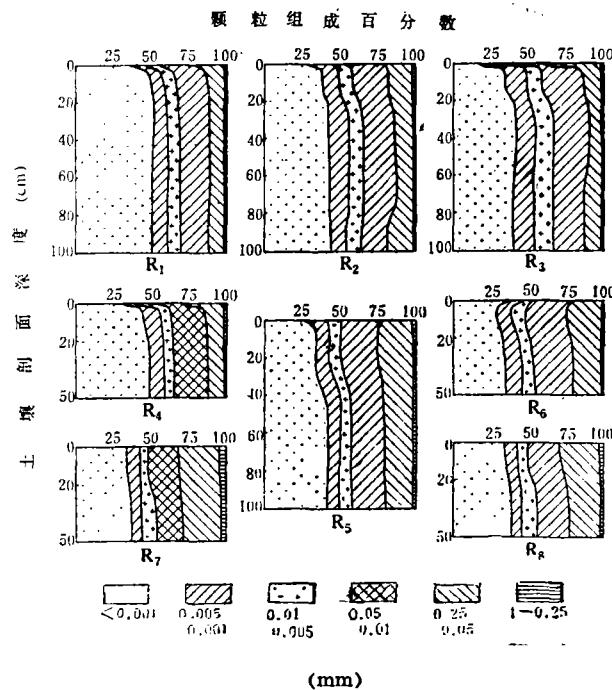


图2 站区土壤剖面的颗粒组成

站区土壤的微团聚性较好，粗微团聚体(1—0.01mm)含量和土壤结构系数都很高(表1)。0—2cm以下的土体比较疏松，呈屑粒状结构。由于草本植物根系很少，由有机质积累而形成的土壤结构似乎不明显，如R₁至R₆诸剖面中，微团聚体在各层次分配差异不大。随着耕垦，微团聚体有所变化，一是粗微团聚体含量下降，如R₇和R₈表层粗微团聚体含量明显低于下层(表1)，其中0.05—0.01mm粒级大幅度的降低。二是微团聚体的保持率*也降低。与R₁和R₈粘粒含量接近的R₃和R₅微团聚体保持率为58.1和50.0%，而R₇和R₈为43.7和34.8%。红

① 江西省余江县土壤普查办公室，余江县土壤，1986。

* 保持率(%) = $\frac{1-0.01\text{mm} \text{微团聚体} - 1-0.01\text{mm} \text{颗粒}}{1-0.01\text{mm} \text{微团聚体}} \times 100\% [2]$

表 1

土壤的粗微团聚体(1—0.01mm)和孔隙状况

剖面	层次 (cm)	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	>3μm孔隙 (%)	<3μm孔隙 (%)	粗微团聚体 (%)	结构系数* (%)
R ₁	0—2	1.36	42.7	12.5	30.2	—	—
	0—20	1.33	48.6	20.5	28.1	97.8	99.2
	20—40	1.31	48.6	17.4	31.2	98.5	99.6
	60以下	1.32	46.9	10.3	36.6	98.7	99.2
R ₂	0—2	1.41	42.6	14.5	28.1	—	—
	0—20	1.37	47.7	19.6	28.1	98.3	99.1
	20—40	1.30	47.6	16.9	30.7	97.9	99.0
	80以下	1.38	46.7	11.7	35.0	98.3	99.5
R ₃	0—2	1.35	45.1	15.9	29.2	—	—
	0—20	1.33	49.1	19.0	30.1	97.1	98.6
	20—60	1.08	53.6	25.5	27.7	97.1	99.0
	60以下	1.32	48.2	11.2	36.8	97.5	99.0
R ₄	0—2	1.30	44.2	18.7	25.5	—	—
	0—20	1.32	48.8	18.9	29.9	97.9	98.7
	20—40	1.30	47.2	13.0	34.2	98.3	98.7
R ₅	0—2	1.39	42.3	16.3	26.0	—	—
	0—20	1.36	46.3	19.2	27.1	97.1	99.4
	20—40	1.26	48.7	20.2	28.4	98.8	100
	80以下	1.14	51.4	23.8	27.6	98.6	97.0
R ₆	0—2	1.49	36.1	12.4	23.7	—	—
	0—20	1.43	44.9	20.3	24.6	96.7	98.9
	20—40	1.27	48.4	21.6	26.8	98.7	100
R ₇	0—20	1.36	45.5	24.9	20.6	90.0	97.4
	20—40	1.39	46.0	19.2	26.8	97.9	97.8
R ₈	0—20	1.43	44.4	21.0	23.4	78.4	88.1
	20—40	1.26	50.6	21.9	28.7	89.7	100

* 按H.A.卡依斯基法计算。

壤开垦后由于结构胶结物质的减少而导致团聚性的迅速下降似乎是一个普遍现象，应引起重视。

二、土壤孔隙和穿透阻力

(一) 土壤容重和总孔隙度

由表1可见，各区各供测土壤的容重多在1.3g/cm³以上，平均为1.31g/cm³；总孔隙度低于50%，平均为48%。其剖面分布，表层土壤的容重高于下层土，总孔隙度则表层比下层低。0—2cm的表土，由于雨滴溅击、粘粒的侧移和粉粒的淀积，这层土的容重平均达1.38g/cm³，而下层土(20cm以下)为1.28g/cm³；总孔隙度平均达42.2%，而下层土为48.7%。这样高的土壤容重和低的总孔隙度成为影响水分入渗和根系下扎的主要障碍。

(二) 土壤孔隙大小的分配

土壤孔隙分配有几种情况，非耕地土壤中大于当量孔径3μm的孔隙以底土(60cm以下)和表土(0—2cm)中较低；茶园土壤，尤其R₇，耕层中明显高于心土层。小于3μm孔隙在剖面

中的分配却相反，非耕地底层和表土中较高，占总孔隙度的70%左右，而心土和表层约60%。茶园土壤则心土层明显高于耕层(表1)。看来，非耕地土壤剖面中当量孔隙分配的差异主要与表土流失和雨水击实有关。有的剖面(R_1 、 R_2 、 R_3 和 R_6)过去长期经受风蚀，表土又存在结壳，因此它们的表、底土(接近或就是网纹层)中大于当量孔径 $3\mu\text{m}$ 的孔隙都比较低。 R_5 虽地处骑虎岭顶部，可能因其侵蚀程度相对较低，因此即使在80cm以下的土层中仍含有较高的 $>3\mu\text{m}$ 的当量孔隙。 R_7 和 R_8 由于开垦后耕作施肥而增加了耕层中这类的当量孔隙。

如果以 $\text{pF}2$ 时(10kpa，相当于热带土壤的田间持水量^[3])的通气孔隙度达10%以上作为土壤通气的临界指标，那么各供测剖面中除0—2cm及60cm以下的土层外，土壤中的通气孔隙多超过这临界值。看来，红壤表面结壳下的土壤通气性不会成为植物生长的限制因子。0—2cm以下土壤剖面中固、液和气三相比分配大致为1:0.6:0.4(图3)，这对土壤通气和持水都是比较合适的。

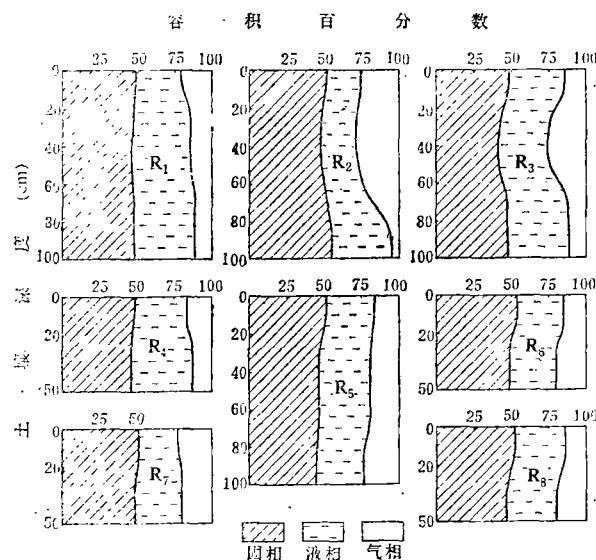


图3 田间持水量时土壤剖面的三相比

(三) 土壤穿透阻力

田间实测的剖面穿透阻力结果(每层为10个测点的平均数)列于表2。据文献报导^[4]，植物主根的最大生长压为1兆帕斯卡(Mpa)，而侧根约为0.5Mpa。当土壤穿透阻力大于3Mpa时就会严重抑制根的伸展。站区土壤穿透阻力一般在0.3Mpa左右，只有 R_4 比较坚实，表达层0.45Mpa，而心土层(20—40cm)大于0.6Mpa。尽管土壤穿透阻力并不太大，但土层中仍很少见到根系，这可能是水分和养分的贫瘠以及表土存在结壳等障碍因子综合影响的结果。

三、土壤水

(一) 土壤透水性

站区非耕地土壤表层的透水性很低，一般 K_{10} (水温10℃时的透水系数)每分钟不到1mm，心土层中增大，底土又稍降低一些(表3)。造成这种状况可能与0—2cm土层中有高容重和低孔隙度有关。表土透水性低，可能是水土流失的重要原因之一。

(二) 土壤持水性

土壤持水性与土壤中的结构和细颗粒的组成密切相关。高吸力段的持水能力主要取决于土壤中粘粒的含量。由表4所见，土壤的持水性与 <0.01 和 0.001mm 颗粒含量的相关系数都达非常显著水平，且随土壤吸力的增加而增加。站区所测剖面一般都属粉质重壤或轻粘土，土壤中的粘粒含量较高，故土壤持水性较强。但土壤吸力较大时的水分是红壤微团聚体内的水分，其中大部分为大于100个大气压的吸力所保持。所以能提供植物利用的有效水并不多^[1]。这是红壤水分的一大特征。

(三)土壤水的有效性

目前，一般仍按田间持水量至萎蔫含水量之间的水分定为可被植物根系吸收，称之为有效水。对于萎蔫含水量的概念比较统一，认为是处于 1.5Mpa (15巴)土壤吸力的含水量，这个量度主要取决于土壤中粘粒的含量。田间持水量是个有争议的“常数”，但这个概念大家仍在应用。一般取用 30kpa (0.3巴)土壤吸力的含水量^[3]。我国研究者以前曾与环刀称重法作了对比，认为接近 30kpa ^[1]。

从8个剖面26个土层的测定结果看出(表5)， 30kpa 的土壤持水量因土壤质地不同而异，变幅在20%至30%之间。轻粘土质的非耕地上平均为 $28.4 \pm 2.6\%$ ，而个别中壤质土壤为22.3%。在 30kpa 时，26个土层的原状土与扰动土的含水量相比较，其中一半土层的原状土含水量比扰动土的含水量少3—4个百分点，12个土层的测定结果相似，只有一个轻壤质表土(0—2cm)的测定结果偏高。看来，对于粘质土壤扰动后按 30kpa 测定的田间持水量比原状土的测定结果高，这与磨细后增加了结构孔隙有关。

萎蔫含水量因土壤质地不同而在10—20%间变动。轻粘土平均在 $18.3 \pm 2.0\%$ ，而中壤为11.5%。所有供测土壤的有效含水量(30kpa 与 1.5Mpa 含水量差值)一般在10%左右。如果按原状土 30kpa 的含水量与扰动土 1.5Mpa 的含水量的差值计算，那么有效

表2 土壤剖面的穿透阻力

剖面	深度(cm)	穿透阻力(Mpa)	剖面	深度(cm)	穿透阻力(Mpa)
R_1	0—20	0.73	R_4	0—20	0.78
	20—40	0.57		20—40	1.25
	40—60	0.64		0—20	0.46
R_2	0—20	0.55	R_5	20—60	0.55
	20—40	0.70		60—80	0.53
	60—80	0.44		0—20	0.36
R_3	0—20	0.51	R_6	20—40	0.43
	20—60	0.50		0—20	0.52
	60以下	0.81		20—40	0.48
R_7	0—20	0.46		20—40	0.48
	40—60	0.53		60—80	0.53
	80以上	0.58			

表3 土壤剖面的透水性

剖面	层次(cm)	$K_{10}(\text{mm}/\text{分})$
R_1	0—20	0.4
	20—60	8.5
	60—80	4.3
R_2	0—15	0.9
	15以下	2.0
R_3	0—20	0.5
	30—60	2.6
	60—80	3.4
R_4	0—20	0.8
	20—40	1.1
R_5	0—20	0.8
	20—70	1.7
	70—90	0.8

表4 土壤颗粒与土壤持水量相关系数

土壤吸力(kpa)	$<0.01\text{mm}$ 颗粒	$<0.001\text{mm}$ 颗粒
1.5	0.684**	0.601**
6	0.753**	0.624**
10	0.744**	0.587**
30	0.865**	0.741**
50	0.895**	0.792**
90	0.911**	0.832**
300	0.909**	0.864**
800	0.915**	0.905**
1500	0.908**	0.915**

注：n=26；** p<0.01

表 5 土壤的有效水含量*

土壤质地	利用情况	田间持水量(%)	萎焉含水量(%)	有效含水量(%)
轻粘土	稀疏马尾松	28.4 ± 2.0	18.3 ± 2.0	10.0 ± 1.6
重壤	同上	25.7 ± 2.1	13.7 ± 2.2	12.0 ± 1.7
重壤	茶园	23.5 ± 2.6	13.7 ± 1.8	9.8 ± 1.3
中壤	稀疏马尾松	22.3	10.8	11.5

* 土样是通过 2 mm 筛孔的扰动土

含水量更低。这也是为什么红壤的持水量虽大而又易出现干旱的原因之一。因此对粘质红壤应采用特殊的水分管理技术。

(四) 有效水范围的释放量

土壤水在不同吸力段的释放量是不同的，它对植物根系吸水的难易有重要影响。由图 4 可见，站区土壤在有效水范围内的释放量与土壤质地和不同利用方式下的土壤结构密切相关。茶园土在土壤吸力 90 kPa 时释放出的有效水约占全部有效水的 42%，而非耕地土壤只占 38%。800 kPa 时，茶园土壤释放出 92%，非耕地土壤则为 87%。轻粘质土在 800 kPa 时的释水量比重壤土少 3.5 个百分点。可见，当土壤吸力处于 800 kPa 时，80% 以上的有效水都已释出。

再由土壤比水容量(水分特征曲线的斜率 $d\theta/ds$)分析，站区的多数土壤，当土壤吸力为 50 kPa 时，土壤的比水容量已达 10^{-2} 数量级，800 kPa 时达 10^{-3} 数量级。由此看来，尽管当土壤吸力为 90 kPa，茶园土壤和非耕地土壤可分别释放出 42 和 38% 的有效水量，其释放量是非常少的。吸力高达 800 kPa 时水的释放量则更少。这也是红壤上生长的植物易受干旱威胁的另一个重要原因。

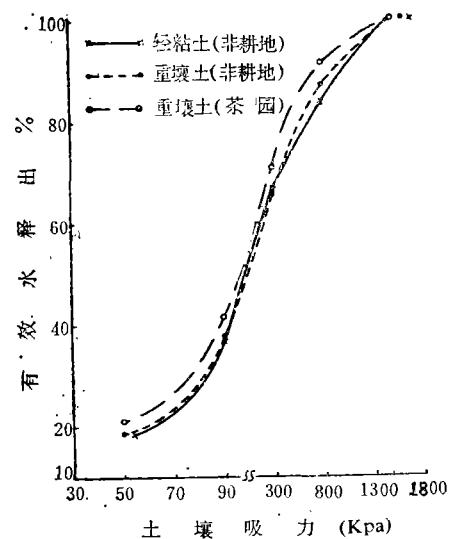


图 4 不同土壤吸力段的水分释放量

四、小结

由第四纪红色粘土发育的红壤粘粒($<0.001 \text{ mm}$)含量可达 40% 以上，它在剖面中移动不显著。土壤微团聚体含量较高，1—0.01 mm 粒级达 90% 以上，但在全部剖面的分异不大，开垦后则明显降低。红壤的孔隙度较低，多在 50% 以下，剖面的上、下层低，心土层较高。容重都在 1.3 g/cm^3 以上，剖面上、下两端大，中间低。尤其表土 0—2 cm 的孔隙度更低，只有 40%，容重高达 1.4 g/cm^3 ，小于 $3 \mu\text{m}$ 的细孔隙占总孔隙的 70% 以上。红壤表土的低孔隙度和高容重值，使表土的透水性很低，透水系数(k_1)小于 $1 \text{ mm}/\text{分}$ 。严重影响入渗，增强地表径流，这是引起水土流失的主要原因。红壤的持水性虽高，但它在 1.5 MPa 吸力的含水量也很高，故有效水含量不高，一般在 10% 左右。在有效水范围内，当土壤吸力达 90 kPa 时可释放出总有效水量的 40%；当 800 kPa 时可放出总有效水量的 80%。因此，800 kPa 至 1.5 MPa 间

(下转第 74 页)

表4 安南地区棕红壤和黄红壤亚类的分类鉴定指标^{*}

土壤类型	新生体 特征	pH	盐基饱和度(%)	$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$	Fe_2O_3 的全钾游离度%(KO%)	粘土矿物组合特征
		(H_2O)						
棕红壤	铁、锰淀积为主，心土层焦斑、结核明显，底土层多有明显红白网纹。	5.29	35.85	2.41	1.93	0.21	49.04	1.06
		5.81	55.07	3.17	2.45	0.33	58.04	1.54
黄红壤	铁、锰淀积为主，心土层结构面上多铁、锰、粘粒及有机胶膜，底土无明显红白网纹。	4.51	5.89	2.21	1.80	0.12	54.68	1.60
		5.07	25.27	2.43	1.98	0.24	40.22	2.90

*除新生体外，均指[B]层土壤。

主要依据(表4)。这些性状的分异虽然是由母质类型的差异而引起的，但它们已超出土属间而达到亚类间的分异。(参考文献略)

(上接第65页)

的有效水含量实际很少。而且，由于红壤的水容量不大，当土壤吸力达50kpa时，已降到 10^{-2} 数量级，而800kpa时则达 10^{-3} 数量级，所以土壤难以供给植物水分，以上几个因素是构成红壤易出现旱象的主要原因。

参 考 文 献

- [1] 姚贤良、于德芬，红壤的物理性质及其生产意义，土壤学报，19卷，第3期，224—236页，1982。
- [2] 姚贤良、于德芬，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，10卷，第3期，267—283页，1962。
- [3] El-Swaity, S. A., Soils with variable charge. p. 303-322, edited by New Zealand Society of Soil Science., Printed in Palmerston North, 1980.
- [4] A. R. Dexter, et al., Soil physics and rice. p. 261-281, Edited International Rice Research Institute. Manila, Philippines. 1985.