

## 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\*

姚贤良 于德芬

(中国科学院土壤研究所)

赣中丘陵地区的伏旱是限制农业生产的严重问题之一<sup>[1]</sup>。根据我们1961年的田间研究资料表明,红壤在6月中旬以前,土壤中的植物有效水一般说是相当富裕的,如荒地红壤、肥力较差的红壤旱地(黄土)和肥力较高的红壤旱地乌黄土,0—20厘米表层的有效水含量分别为12—28%,11—18%和14—24%。6月下旬,土壤中含水量逐渐下降;在荒地红壤上,除去个别日期偶有降水补充水源外,表土(0—10厘米)中的含水量一般皆低于植物枯萎含水量。到10月中旬,干旱的深度可达50—60厘米,甚至还深些。在土壤结构性较差的旱地红壤上(俗名黄土),6月下旬后的土壤水分条件更坏,表层0—20厘米的土层中无植物有效水。只有在结构性较好的旱地红壤上(俗名乌黄土),在同期内只有二次测定发现表层中无有效水外,一般都有有效水。

影响土壤水分状况的因素很多,气候,地形,作物种类<sup>1)</sup>和覆盖度,耕作灌溉以及土壤的理化性质等等。虽然三种土壤所处的地形部位不同,红壤荒地最高,黄土地稍低,乌黄土又较低;质地剖面红壤较粘,黄土和乌黄土接近<sup>[2]</sup>。但从上述田间测定资料和过去的研究成果<sup>[2,3]</sup>相比较看来,土壤结构是其中很重要的因素之一。良好的土壤结构,其蓄水和保水能力较强,从而,在一定条件下,促进植物良好生长,增加土壤覆盖,又防止了表土蒸发,增强蓄水能力。在7月11日,三类土壤的表层都有不同程度的旱象,有效水分别为1.5%,0.5%和3.5%。7月28日下雨,到29日三类土壤中的水分状况则大不相同,黄土仅在表层增加了水分,乌黄土表层增加的有效水比黄土同层高7%,而且底层有效水也大大增加。荒地红壤介乎其间。9月14日以前下一次雨后,三类土壤中水分的变化也是如此。而且在雨后数天内土壤的保水性能也以乌黄土为好。这说明,在该具体条件下的乌黄土具有较为良好的蓄水和保水性能,当然,这也与作物的覆盖情况不同有关。

为了阐明红壤丘陵地区,在缺乏人工灌溉和地下水给源的情况下,土壤结构在调节土壤水分上究竟有无作用,我们在过去工作<sup>[2,3,4]</sup>的基础上,于上述三类土壤(荒地红壤作对照)和二类不同结构的红壤性水稻土(结构性较差的结板田和较好的乌泥田),进一步作了某些田间测定和实验室分析,以控制在相对相同条件的基础上,研究红壤不同的结构性对土壤中某些水分物理性质的影响。

\* 参加此项工作的尚有樊润威、朱济成同志。

1) 试验土壤的利用情况是:荒地红壤上长稀疏茅草;黄土上于5月23日前为小麦和大豆套作,23日收刈小麦,6月27日收刈大豆,8月初种芝麻,作物生长不良;乌黄土上于5月23日前为小麦,6月10日种山芋,作物生长良好。

自从威廉斯指出有结构的土壤（指有团粒结构的土壤）具有良好的水分物理性质以来，不少土壤学家在这领域内已作了较多工作。有些学者偏重研究良好土壤结构中的水分动态，以从土壤水的角度寻求良好结构的指标<sup>[6,8]</sup>。有些人根据土壤颗粒的排列状况，从理论上阐明土壤孔隙与其中水分移动和保持的关系<sup>[13,14]</sup>。还有些人直接研究土壤结构本身的性质或补加某种措施后对水分物理性质的影响<sup>[7,13]</sup>。本文仅涉及这个领域的一小部分，并以不同结构的田间原状土作为试验对象，以求所得结果接近实际情况。

## 一、供試土壤的結構特性

所有原状土样都是 1962 年 11 月在江西进贤县采的，1963 年进行测定。各类土壤的基本结构特性列于表 1。

表 1 供試土壤的結構性质(耕层)

土 壤	水 稳 性		孔 隙 性 (占土壤容积的%)					胶结物质组成(占土重%)			
	分散度* (%)	>0.25毫米的水稳团聚体含量	总孔隙度	毛管孔隙度**	非毛管孔隙度	单独团聚体内孔隙度†	有效孔隙度††	有机质	粘 粒 (<0.001毫米)	无定形三氧化铁	
荒地红壤	11.6	73.6	52.2	42.3	9.9	46.1	11.4	1.96	32.8	0.74	
旱地红壤	(黄土)	26.6	28.3	54.5	44.9	9.6	43.1	11.6	—	7.5	—
	(乌黄土)	30.0	28.4	56.7	44.8	11.9	47.3	14.2	1.14	8.7	0.52
红壤性水稻土	(结板田)	15.0	22.9	50.2	41.5	8.7	43.3	7.9	1.52	14.8	0.35
	(乌泥田)	4.0	58.0	55.2	46.3	8.9	47.0	9.1	3.59	12.8	0.26

\* 按 Качинский 法计算<sup>[12]</sup>。

† 按 Качинский 法计算<sup>[12]</sup>。

\*\*毛管和非毛管孔隙以原状土环刀法测定。 †† 系指 0.1—0.005 毫米孔径的孔隙，按负压法测定<sup>[9]</sup>。

由表 1 可见，所有结构性较好的土壤，孔隙量都较高，特别是单独团聚体内的孔隙度和有效孔隙度（从二对不同结构土壤之间的相互比较而言）。水稳性团聚体对旱地来说差异不显，而水田中以乌泥田为高。团聚体的胶结物质，水田中以有机胶结物为主，其中结构性好的高于差的。而旱地红壤中的无定形  $Fe_2O_3$  要高于水田。

从上述资料看来，由于供试土壤中的孔隙性不同，颗粒胶结形式不同，对水田说来，团聚体的水稳性又不同，故必然会影响到土壤水分物理性质的变化。

## 二、測定結果及討論

(一) 土壤透水性 测定是在 1962 年 11 月于田间进行的。采用小区灌水法，并按卡庆斯基法进行计算<sup>[12]</sup>。测定前土壤中的自然含水量列于表 2。透水性测定结果列于图 1。

在不少文献上提到，土壤透水分二个过程：开始时为吸水过程，到平衡时为透水过程<sup>[9,13]</sup>。但在田间，这二个过程实际上是很难区别的，特别对疏松的耕层。在常压情况下，

表 2 土壤透水性测定前土壤中的自然含水量(%)

土 壤	层次 (厘米)	0—10	10—20	20—30	30—50	50—70
荒地红壤		25.6	24.8	25.6	28.0	28.4
黄 土		17.3	26.6	27.3	27.5	25.7
乌 黄 土		18.4	20.5	21.3	24.1	23.9
结 板 田		24.6	22.5	25.4	26.7	27.8
乌 泥 田		26.4	27.4	25.9	26.3	24.5

这两个过程往往是同时进行的。因此,有些研究者就以第一个小时的透水速度(其中也包括吸水速度)作为土壤透水性优劣的指标<sup>[11]</sup>。我们认为,在主要鉴定耕层的透水性为目的,并在田间湿度相一致条件下,以第一个小时内的透水量作为指标是合宜的。根据图 1 所示,对结构性较差的黄土说来,在第一个小时内的  $K_{10} = 0.48$  (毫米/分),而结构性较好的乌黄土则  $K_{10} = 1.91$ ,荒地红壤介乎其中 ( $K_{10} = 1.0$ )。结板田和乌泥田可能因受几乎不透水的犁底层影响,故  $K_{10}$  均近 0.1。但在 10 分钟时的  $K_{10}$ ,则乌泥田略高 (0.28),结板田略低 (0.24)。田间土壤的透水速度受土壤起始含水量的影响。一般说,田间起始含水量大,耗水量相对减少,透水速度会降低。但按表 2 所见,不论结构性较好的乌黄土或是乌泥田,与相应结构性差的黄土和结板田相比,在前二种土壤的耕层内的起始含水量还要高些,但这二种土壤的透水速度都比相应结构性差的土壤要大。因而可以认为结构因素在其中起了相当大的作用。然当,对乌黄土说来,心土层的湿度相对较低,对透水速度也有一定影响。

(二) 土壤蒸发性 有关土壤结构能降低土壤蒸发性能的见解,早在渥尔尼时 (1896) 已经指出。但后起的研究者,由于在研究时没有考虑到必具的相同条件(如水分含量及颗粒排列等等),故得出不同的结论;有些人认为有作用,而有些人认为没有作用。为了控制试验土壤的相对相同条件,我们采集了原状土 (体积 100 厘米<sup>3</sup>),将其浸水饱和,停放 12 小时,达田间持水量,然后置于 40℃<sup>1)</sup> 的恒温箱内进行干燥,定期称重,并以公式  $E = \frac{a \times 10}{ST}$  进行计算,式中  $a$ ——原状土柱中的水失量(克);  $T$ ——观测时间;  $S$ ——原状

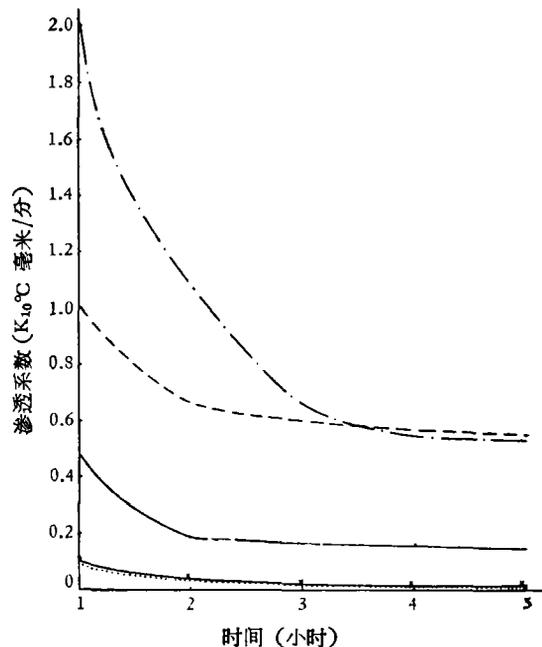


图 1 不同结构土壤的透水性  
 - - - 乌黄土      ——— 黄土  
 ..... 乌泥田      - \* \* \* 结板田  
 ——— 荒地红壤

1) 采用 40℃ 是相当于该地区 7—8 月份旱地土壤表层 5 厘米内的最高温度。

土柱的横截面积(厘米<sup>2</sup>)。从田间持水量开始测定蒸发速度。其结果列于图 2。

由图 2 可见,从田间持水量开始蒸发,在 12 小时内,黄土的蒸发速度为 0.52 毫米/厘米<sup>2</sup>·小时,而乌黄土则为 0.18, 结板田为 0.43, 乌泥田 0.41。到近 30 小时,乌泥田的蒸发速度比结板田快。36 小时后乌黄土的蒸发速度比黄土快。这是因为在此时,黄土和结板田的含水量(相应为 8.8% 和 9.9%) 已近雕萎含水量(雕萎含水量黄土为 10.0%, 结板田为 7.4%), 水分的耗损以汽态为主, 速度相应降低。乌黄土和乌泥田自田间持水量蒸发到雕萎含水量所经的时间比黄土和结板田要长得多,如乌黄土经 96 小时后的含水量达

6.3% (雕萎含水量 6.1%); 乌泥田经 60 小时为 10.8% (雕萎含水量 9.3%)。

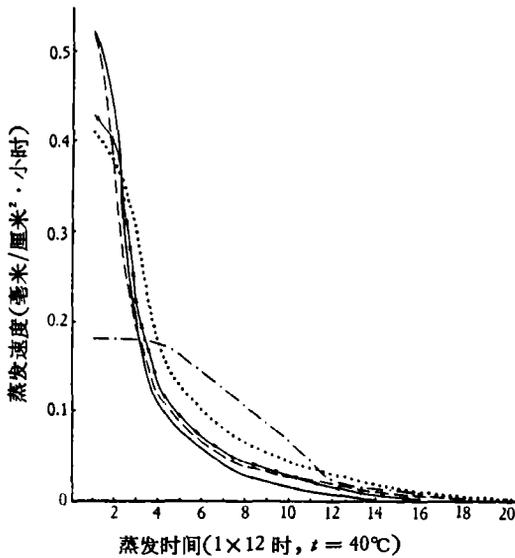


图 2 不同结构土壤的蒸发速度曲线  
 ····· 乌黄土      ——— 黄土  
 - - - - 乌泥田      \* \* \* \* 结板田  
 — · — · 荒地红壤

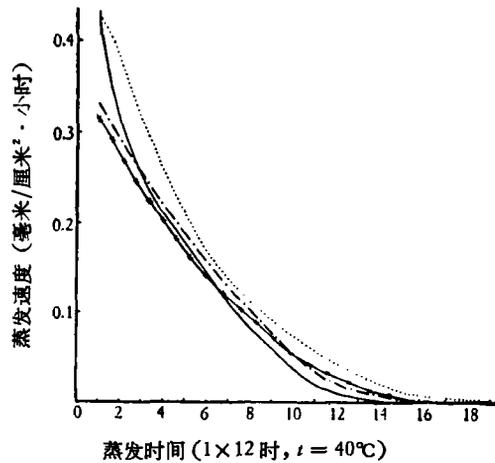


图 3 磨细土的蒸发速度曲线  
 ····· 乌黄土      ——— 黄土  
 - - - - 乌泥田      \* \* \* \* 结板田

将原状土磨细,并通过 0.25 毫米筛孔,按 55% 孔隙度装入环刀进行上述试验。各类土壤从田间持水量开始蒸发,它们之间的差异就不象原状土那样明显(见图 3)。黄土和乌黄土在 12 小时内的蒸发速度相应为 0.44 和 0.33,显然已比原状土的差异小得多,而乌泥田的蒸发速度反比结板田高,相应为 0.43 和 0.32,这可能由于乌泥田腐殖质含量高,土色深,当结构破坏后易于吸热而使水分耗损得较快。

从上述资料可见,结构性好的土壤,其蒸发速度较结构性差的要低得多,这就有利于保水,土壤的抗旱力强。按过去的资料表明,红壤地区夏、秋下一次暴雨后,可使土壤达到田间持水量。但往往由于雨后久旱,土壤水分通过蒸发耗损很快会达到雕萎含水量,而结构性较好的土壤可以延缓这个过程,提高了土壤水分的有效利用率。

**(三) 土壤吸水性** 土壤吸水性从物理学角度来看主要与毛管力的作用有关。因此,研究原状土的吸水性质,可以间接判断土壤中大小孔隙的组合对水分移动和蒸发的影响。在一定范围内,土壤孔隙愈大,毛管力愈小,蒸发性能弱,这样就有利于增强土壤的抗旱性,而良好的土壤结构就应该具有这种性质。土壤吸水性测定仪是我们根据 Dale Swartzendruber M. F. 等人<sup>[6]</sup>所提出的仪器而改装的。仪器的装置如图 4。在测定前,先

将装置内充满无  $\text{CO}_2$  的蒸馏水,排除所有的气泡,然后使 1、5、8 处的水面调节到同一水平面上,保持与大气相同的压力,之后将风干态原状土(体积为  $100 \text{ 厘米}^3$ )的一个平面紧贴在 1 中的多孔磁板上,以 7 读数管进行读数。其结果列于图 5。

由图 5 所示,黄土在开始 30 分钟内的吸水速度为  $0.51 \text{ 毫米/厘米}^2 \cdot \text{分}$ 。而乌黄土为  $0.37$ 。而且前者到 2 小时已趋稳定,后者一直到 3 小时才稳定。结板田的吸水速度为  $0.27 \text{ 毫米/厘米}^2 \cdot \text{分}$ ,而乌泥田仅为  $0.11$ 。吸水平衡时间也以前者快(约 4 小时),后者慢(5 小时)。这就表明结构性较好的土壤,吸水速度较低,而且持续时间较长。有利于减缓蒸发速度。看来这与非毛管孔隙的存在有关。

当结构破坏以后。由于改变了原来的垒结性质,土壤的吸水性规律骤然相反,如黄土在开始 30 分钟内的吸水速度为  $0.44 \text{ 毫米/厘米}^2 \cdot \text{分}$ ,乌黄土反比黄土高,为  $0.49$ 。结板田为  $0.52$  而乌泥田则为  $0.56$ (见图 6)。而在此以后的吸水速度和平衡时间,对四类土壤来说基本相似。看来当结构破坏以后,在容重条件相同( $1.28$ ,其中乌泥田为  $1.23$ )的情况下,土壤胶体性质对吸水性的影响比原状土更为突出,导致在吸水初期结构性好的土壤反比差的要快些。

**(四) 土壤供水性** 土壤供水性能的好坏与结构性密切相关。

有些土壤虽然持水量很高,但由于结构性差,土壤吸力较大,其中所含有的植物有效水就大大降低。试验土壤中的有效含水量(表 3)表明不同结构对供水性的影响。

结构性较好的乌黄土和乌泥田,有效含水量高(相应为  $25.5\%$  和  $25.3\%$ ),供水性好,而结构性较差的黄土和结板田,有效含水量低(为  $20.9\%$  和  $20.1\%$ ),供水能力差。

根据上述资料表明,结构良好的重质土壤,它的水分物理性质是:透水性较好,有利

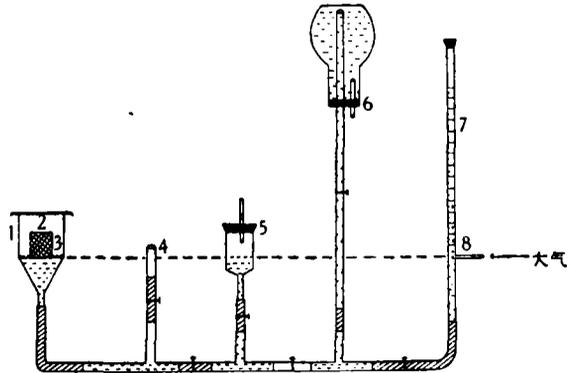


图 4 土壤吸水性测定装置

1. 砂芯漏斗 ( $G_1$ ),
2. 原状土样,
3. 防止蒸发蜡层,
4. 排气管,
5. 调平水位管,
6. 貯水瓶,
7. 读数管,
8. 通气口。

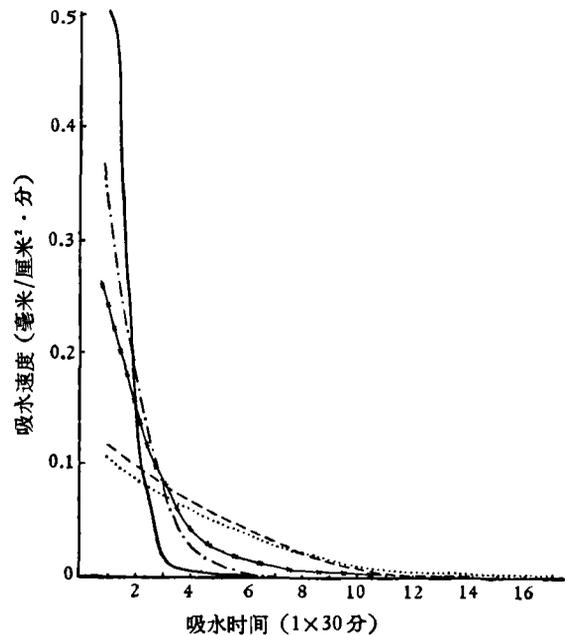


图 5 不同结构土壤的吸水速度曲线

- · — · — 乌黄土
- — — 黄土
- · · · — 乌泥田
- x — x — 结板田
- · · · — 荒地红壤

于蓄水及减少表面径流;毛管作用相应较小,有利于减少蒸发,提高土壤保水能力;有效含水量较多,供水能力强。这种特性符合于江西农民所说的:好土能“经干爽水”。

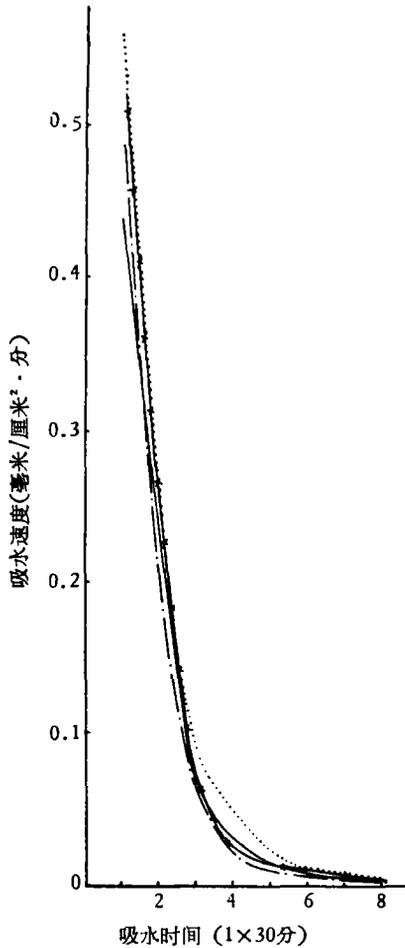


图6 磨细土(<0.25毫米)的吸水速度曲线  
 -·-·-·- 乌黄土      —— 黄土  
 ..... 乌泥田      -x-x-x- 结板田

表3 不同结构土壤中的有效含水量

土壤	田间持水量	凋萎含水量	有效含水量*
荒地红壤	30.3	13.3	17.0
黄土	30.9	10.0	20.9
乌黄土	31.6	6.1	25.5
结板田	27.5	7.4	20.1
乌泥田	34.6	9.3	25.3

\* 即田间持水量减凋萎系数。

#### (五) 不同大小团聚体对某些水分物理性质的影响

改善土壤性质,增强土壤蓄、保和供水能力的根本措施在于改善土壤结构的性质(或本性)。较多研究者认为,在重质土壤上,通过施有机肥料、种植绿肥和施用结构改良剂创造多孔的水稳性团聚体是改善结构的根本措施。然而,在农业实践中通常也应用短期见效的治标的耕作措施。但耕作能否保水与耕后团聚体的大小密切相关。为此,我们将风干的试验土分成7级大小(>10, 10—7, 7—5, 5—3, 3—1, 1—0.5和0.5—0.25毫米),按上述相应的方法研究了不同大小团聚体对水分性质的影响,部分结果列于表4。由表4所见,各级团聚体自田间持水量开始蒸发,对旱地土壤说来,在12小时内水分蒸发速度的变化是: >10和

<1毫米直径的团聚体较快而10—1毫米间较慢。看来,如果团聚体过大,由于其垒结的空间也大,在这种情况下,水分不仅能通过土柱表面蒸发,而且还能通过土体内部团聚体的表面而蒸发,蒸发速度由此增加。但在相反情况下,如果团聚体过小,毛管作用强烈,蒸发也会增强。表内的资料也说明了这点。但对水田来说,除去与旱地有类似的规律外,以3—1毫米的团聚体的蒸发速度为最高,这可能与这级团聚体本身的性质有关。

不同大小团聚体的吸水速度和持水量大多是以>1毫米的较小而<1毫米的较大。

至于在1—10毫米间各级团聚体的大小对水分性质的影响,没有发现明显的关系。这是因为对耕层中风干的非水稳性团聚体来说,决定水分蓄、保、供的不仅是由于它们的垒结而造成不同的孔隙,而且也决定于团聚体本身的性质。

从上述资料出发,为了防止或减弱土壤蒸发,应该在雨后多创造一些直径从1毫米到

表 4 不同大小团聚体对某些水分物理性质的影响

土 壤	团 聚 体 直 径 (毫米)						
	>10	10—7	7—5	5—3	3—1	1—0.5	0.5—0.25
	蒸 发 速 度 (毫米/厘米 <sup>2</sup> ·时)						
黄 土	0.39	0.34	0.37	0.31	0.25	0.51	0.47
乌 黄 土	0.23	0.15	0.16	0.19	0.18	0.25	—
结 板 田	0.19	0.16	0.17	0.20	0.21	0.20	0.19
乌 泥 田	0.27	0.19	0.13	0.18	0.38	0.33	0.25
	吸 水 速 度 (毫米/厘米 <sup>2</sup> ·分)						
黄 土	0.06	0.07	0.10	0.07	0.11	0.09	—
乌 黄 土	0.15	0.16	0.15	0.13	0.13	0.21	0.31
结 板 田	0.10	0.11	0.10	0.10	0.09	0.12	0.21
乌 泥 田	0.09	0.11	0.10	0.06	0.12	0.14	0.22
	田 间 持 水 量 (%)*						
黄 土	29.0	30.1	30.5	28.8	28.0	41.9	54.7
乌 黄 土	37.1	34.2	34.1	33.9	37.2	43.3	54.7
结 板 田	43.8	45.1	44.5	44.5	47.7	54.3	58.4
乌 泥 田	43.7	46.9	36.2	40.7	51.7	57.1	71.2

\* 用环刀按常法进行测定。

10 毫米间的各级团聚体。由于本文主要目的不在于讨论这个问题，而且资料很少，故不能加以进一步讨论。

#### 四、小 结

本文主要想在过去工作的基础上，通过两对不同结构性红壤和红壤性水稻土的水分物理性质的研究，以阐明红壤地区改善土壤结构在调节水分上的作用。也初步涉及不同大小团聚体对水分性质的影响，以便为抗旱为目的的合理耕作措施提供理论依据。

通过田间定位测定和实验室研究表明，结构性较好的乌黄土于夏、秋间的旱情较结构性差的黄土要弱。这种现象除去田间的利用情况不同有所影响外，土壤结构性的好坏是最重要的因素之一。乌黄土由于结构性相应比黄土好；因而它的透水性较大，有利于蓄水；蒸发速度较弱，有利于保水；在田间持水量时的有效水含量多，有利于供水。不同结构性的乌泥田和结板田也有上述的变化规律。至于荒地红壤的水分性质则介乎乌黄土和黄土之间。

研究结果还初步表明，土壤团聚体直径过大 (>10 毫米) 和过小 (<1 毫米) 均能促进水分蒸发，不利于保水。然工作尚须进一步田间验证。

#### 参 考 文 献

- [1] 裴德安：江西对红壤改良的主要经验。土壤，第 10 期，第 31 页，1959 年。
- [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，第 10 卷第 3 期，第 267—288 页，1962 年。
- [3] 姚贤良、于德芬：赣中丘陵地区红壤及红壤性水稻土的胶结物质与土壤结构形成的关系。土壤学报，第 12 卷

第 1 期, 第 43—54 页, 1964 年。

- [4] 樊润成、朱济成: 红壤结构性的磨片观察。土壤学报, 第 11 卷第 4 期, 第 437—441 页, 1963 年。
- [5] Croncy, D. and Coleman, J. D.: Soil structure in relation to soil suction (pF). J. of soil Sci, 5, 75—85, 1954.
- [6] DaLe Swartzendruber, M. F., De Boodt ect.: Capillary intake of water and soil structure. Soil Sci. Soc. of Ameri. Proc., Vol. 18, No. 1, 1—7, 1954.
- [7] Kazo, B.: The effect of the structure of surface soil on waterholding capacity. VIe Congr. int. Sci. Sos. Rapp., 233—236, 1956.
- [8] Quirk, J. P. and C. R. Panabokke: Incipient failure of soil aggregates. J. of soil Sci., Vol. 13, No. 1, 60—70, 1962.
- [9] Астапов, С. В.: Мелиоративное почвоведение, Москва, 1958.
- [10] Алов, А. С.: Структура почвы как фактор плодородия, Москва, 1960, Изд. Минис. С. Х. РСФСР.
- [11] Вадюнина, А. Ф. и Корчагина, З. А.: Методы исследования физических свойств почв и грунтов. Москва, 1961, Гос. Изд. «Высш. школа».
- [12] Качинский, Н. А.: Механический и Микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. Изд. АН СССР. 1958.
- [13] Мичурин, Б. Н.: Структура и водно-физические свойства почв. Сборн. трудов по агроном. физике, вып. 10, стр. 145—153, 1962.
- [14] Нерпин, С. В.: Водоудерживающая способность структурных почв и их влагопроводность. Сборн. трудов по агроном. физике, вып. 10, 137—144, 1962.
- [15] Никольский, Н. Н.: Физические свойства почвы. Москва, 1956.

## СТРУКТУРНОСТЬ КРАСНОЗЁМОВ В СВЯЗИ С ИХ НЕКОТОРЫМИ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ В ХОЛМИСТЫХ РАЙОНАХ ПРОВИНЦИИ ЦЗЯНСИ

Яо Сянь-лян и Юй Дэ-фен  
(Почвенный институт АН Китая)

### Резюме

В настоящей статье изучено влияние структурности краснозёмов на их водно-физические свойства в холмистых районах провинции Цзянси.

Полевое и лабораторное исследование показало, что в красноземных почвах с хорошими структурами в летний и осенний период засуха выражается более слабым, чем в почвах с плохими структурами. Это явление тесно связано с свойствами структур почв. Почвы с хорошей структурностью характеризуются высокой водопроницаемостью, слабой испаряемостью и благоприятной влагоёмкостью.

Результаты наших исследований также показали, что агрегаты почв с размерами  $> 10$  мм, или  $< 1$  мм. усиливают испарение влаги из поверхности почв.