

华中丘陵红壤的水分问题

II. 旱地红壤的水分状况*

姚 贤 良

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文研究表明,与荒地红壤相比,旱地红壤表土的物理性质已有明显不同,土壤容重和土壤阻力较低,而土壤孔隙度较高。但心土和底土层的物理性质仍类似荒地红壤,然而,这些土层中高水势段的释水性却比荒地红壤相应土层中的更低。年内不同时期内的贮水量,旱地红壤比荒地红壤高,因而伏秋旱期间土体中出现低于萎蔫含水量值的时间较迟,干旱深度较浅。旱地红壤 0—300cm 土体内的贮水库容中,在上半年已贮满水,在下半年 0—100cm 土体的贮水库容中,尚有较大空间可容水,但在 100cm 以下的土体中仍贮有相当量的水分。

关键词 旱地, 红壤, 水分状况

华中丘陵地区分布着大面积的丘陵红壤,其中一些坡度 $< 5^\circ$ 的缓坡地,已平整为旱地,成为粮、油、果、茶等亚热带作物的重要生产基地。虽然这一地区的水热资源较为丰富,但它们年内的分配极不均匀。伏天的高温和伏秋的持续干旱,往往会导致粮油作物绝收和经济林木生产严重受阻,成为这一地区农林生产持续发展的主要障碍。丘陵旱耕地表土因耕作等人为管理措施,致使其土壤剖面特征已与荒坡红壤不同,从而其水分特性和水分状况亦各异。但迄今这方面的研究尚不多。本文主要研究新垦粘质红壤旱地的水分特征和水分状况,亦相应研究了测区土壤的基本理化性质(1991年测定,野外定位测定从1990年开始,延续4年)。

1 旱地红壤的主要理化性质

测区原为长有稀疏马尾松,间有茅草红壤荒地,1986年移土平整,1987年开始辟为旱地红壤的长期试验地,种植花生、荞麦等旱作,无灌溉条件。成土母质为第四纪红色粘土,其主要理化性质列于表1。据研究报道,荒地红壤开垦后,由于不合理的土壤管理,土壤结构的稳定性会迅速下降,影响保水保肥,导致水土流失,是热带地区垦荒失败的重要原因

* 国家自然科学基金项目(批准号: 49471040)部份内容,参加工作的先后有方仲灵、于德芬、朱红霞、许绣云和林长英等。

表1 旱地红壤的主要理化性质

Table 1 The main physical and chemical properties of upland red soil

土层深度 Depth of soil layer (cm)	粘粒 Clay (%)	比表面 Specific surface area(m ² /g)	容重 Bulk density (g/cm ³)	结构系数 Coefficient of structure (%)	总孔隙度 Total porosity (%)	通气孔隙度 Air-filled porosity (%)	持水孔隙度 Waterhold porosity (%)	土壤阻力 Soil resistance (Mpa)	pH		活性铝 Aluminum Al ₂ O ₃ (g/kg)
									水	KCl	
0—35	40.1	157.5	1.23	99.5	52.8	24.7	28.1	0.40	4.90	3.77	2.1
35—55	48.1	183.7	1.35	99.2	45.2	13.2	32.1	1.21	4.50	3.69	2.3
55—100	44.9	151.5	1.32	98.7	50.0	13.5	36.5	1.16	4.30	3.69	2.0
100—125	42.3	158.2	1.39	97.0	45.6	8.9	36.7	1.31	4.70	3.61	1.7
125—150	45.5	163.9	1.43	98.7	46.2	6.2	40.0	1.96	4.70	3.55	1.8
150—175	38.0	163.5	1.42	95.3	46.9	5.1	41.8	1.96	4.77	3.52	1.6

之一^[1]。但测区旱地红壤, 由于开垦年限短和耕作施肥强度较低等原因, 土壤结构变化不大。与开垦前荒地红壤相比, 土壤结构系数大多仍在 99% 以上。所不同者, 开垦后的旱地红壤, 其表层土的土壤阻力和容重比荒地红壤较低, 而孔隙度较高。如荒地红壤表层土的土壤阻力和容重分别为 0.51MPa 和 1.41g/cm³; 而旱地红壤表土则分别为 0.41MPa 和 1.23g/cm³。荒地红壤的总孔隙度和通气孔隙度分别为 45.6% 和 15.4%; 而旱地红壤则分别为 52.8% 和 24.7%。30cm 以下土层的物理性质与荒地红壤大致相同^[2,3]。这反映了, 荒地红壤平整为旱地后, 尽管开垦利用仅 4—5 年, 但经过机械操作等措施的影响, 表土的物理性质已有明显变化, 它们对土壤水分物理性质和水分状况已产生影响。

2 旱地红壤的水分物理性质

供测土壤的土水势和含水量关系的资料列于表 2。由表所见, 旱地红壤不同土水势下

表2 旱地红壤水势(-kPa)和含水量(V%) 关系

Table 2 The relationship between water potential (-kPa) and water content (V%) of upland red soil

土层深度 Soil layer (cm)	水 势*											有效含水量 Available water content (%)
	Water potential (-kPa)											
	0	1.5	3.0	6.0	9.0	30	60	90	300	600	1500	
	含 水 量											
	Water content											
0—35	51.2	47.2	40.0	35.3	33.0	28.2	26.7	25.6	23.6	21.4	19.1	9.1
35—55	45.2	43.9	41.2	38.2	36.2	32.1	30.5	29.6	29.3	27.9	25.2	6.9
55—100	46.2	45.9	44.0	41.6	39.9	36.4	35.1	34.3	30.4	28.5	25.7	10.7
100—125	45.5	43.6	41.4	39.9	38.9	36.6	35.6	35.2	33.4	31.4	29.3	7.3
125—150	46.1	45.2	43.5	42.3	41.6	40.0	39.5	39.0	37.8	35.2	32.5	7.5
150—175	47.0	46.3	44.9	44.0	43.3	41.9	41.2	40.8	39.1	37.1	33.1	8.8

* 0—90kPa用环刀采集田间原状土测定; 300—1500kPa用通过2mm孔径的土壤, 重塑田间容重后测定。

的释水量因不同土层而异。0—35cm 和 35—55cm 土层中高水势段(0—30kPa)的释水量比低水势段(30kPa—1.5MPa)明显多,它们分别占总释水量(0—1.5MPa)的 71.9% 和 65.5%。而底层土壤则有相反的趋势。125—150cm 和 150—175cm 土层中高水势段的释水量比低水势段的少,分别占总释水量的 44.9% 和 36.7%。这种上下土体中水分能态变化的差异,反映了上层土壤在耕作管理下结构孔隙已有所发育,水分较易释放。而下层土壤中尽管持水孔隙较上层土多得多,但因土壤容重较大,土粒排列紧密,水被土粒吸持的束缚力较大,而使其释水性能较低。对粘质红壤,随着土壤中粘粒含量和容重的降低,有效含水量有一定的提高^[4]。

表3 旱地红壤不同水势段的比水容量(θ /-kPa)

Table 3 The Specific water capacities of different water potential sections in upland red soil

土层 深度 Soil layer (cm)	土 水 势 Water potential (-kPa)				
	1.5—9.0	9.0—30	30—90	90—600	600—1500
0—35	1.89	2.3×10^{-1}	8.7×10^{-2}	8.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}
35—55	1.03	2.0×10^{-1}	4.2×10^{-2}	3.3×10^{-3}	3.0×10^{-3}
55—100	8.0×10^{-1}	1.7×10^{-1}	3.5×10^{-2}	1.1×10^{-2}	3.0×10^{-3}
100—125	6.3×10^{-1}	1.1×10^{-2}	2.3×10^{-2}	7.1×10^{-3}	2.0×10^{-3}
125—150	4.8×10^{-1}	7.6×10^{-2}	1.7×10^{-2}	7.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}
150—175	4.0×10^{-1}	6.7×10^{-2}	1.8×10^{-2}	7.6×10^{-3}	4.0×10^{-3}

在一定程度上可反映土壤释水难易的比水容量列于表 3。本测区系原荒丘顶部经推土平整而形成的旱地田块,与一般荒地红壤相比,它心土的层位相对上移。开垦后的表土因耕作施肥等管理措施的影响,其比水容量相近,土水势下降到 -30kPa 以下时,比水容量降到 10^{-2} 数量级。但在底土层(100cm 以下)当土水势为 -9.0kPa 时,其比水容量已降到 10^{-2} 数量级,这也与其土壤容重较大,土粒排列较紧密有关。可以预见旱地红壤底土层的非饱和导水率将比荒地红壤更低。因此,底层土壤的水分依靠非饱和导水率来补充上层土壤,以提供植物根系吸水的难度更大。

3 旱地红壤的水分状况

旱地红壤水分的动态变化是用中子测水仪进行的,表土 0—20cm 则用烘箱法测定。测定时间间隔约 10 天,每次按不同土层测深达 300cm。其体积含水量等湿线列于图 1 和图 2。图 1 是田间实测总含水量的等湿线分布。图 2 是将田间实测总含水量中减去萎蔫含水量(-1.5MPa 时的土壤含水量)后的有效含水量的等湿线分布,其中 O 线表示已无有效含水量。根据表 2 所见,旱地红壤 0—100cm 土层中的田间持水量(相当于 -30kPa 水势时的含水量)约在 30% 左右,100cm 以下各土层中约 40%;而相应土层内的萎蔫含水量分别达 20—25% 和 30—33%。由图 1 可见,从 1 月到 6 月底以前,旱地红壤 0—100cm 土体内主要分布有 30% 和 35% 等湿线。7 月以后两条等湿线,尤其是 35% 等湿线明显下移,0—50cm 土体内常出现 15% 和 20% 等湿线。100cm 以下则常出现 40% 等湿线,除 1993 年 3

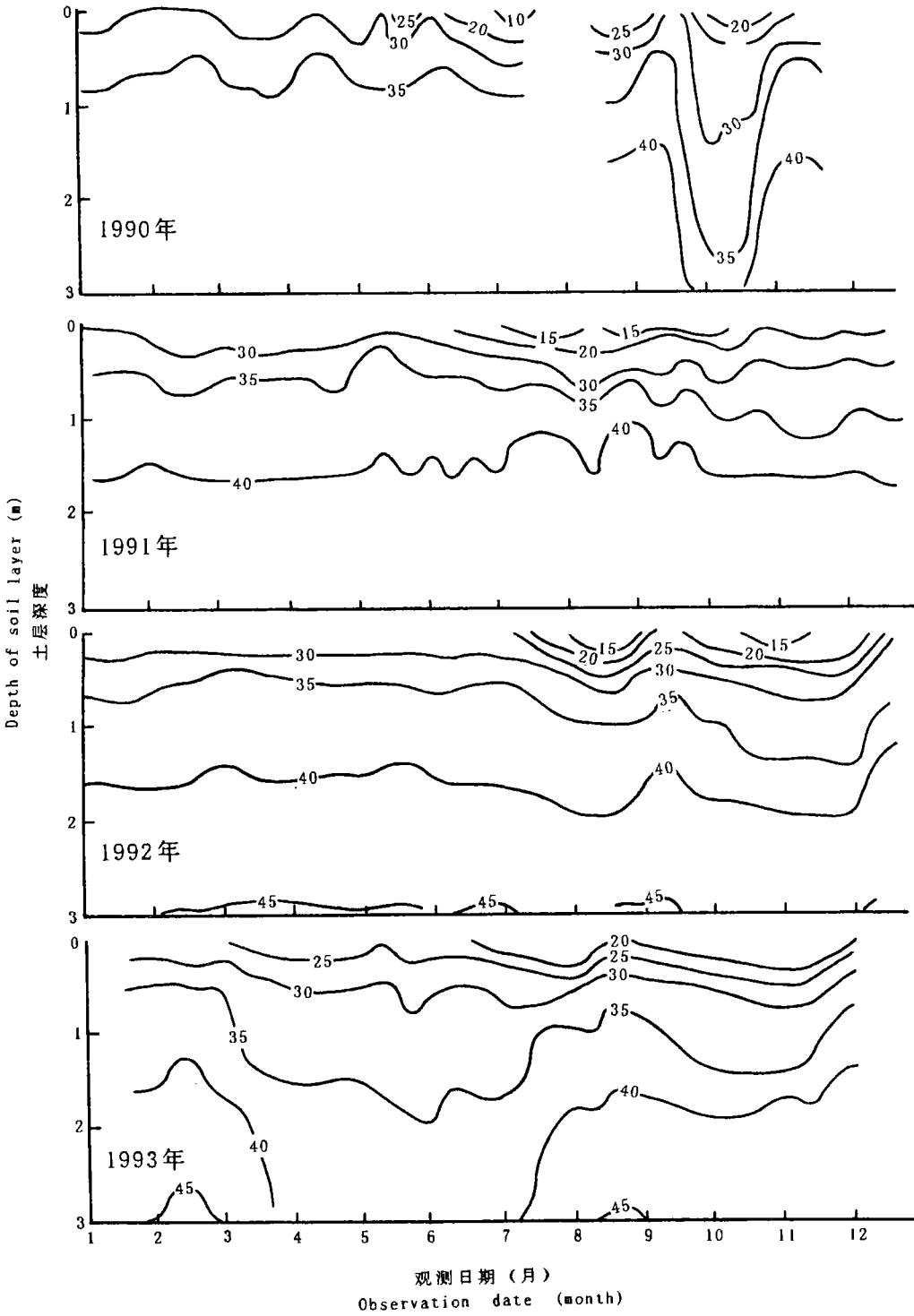


图1 旱地红壤总含水量(V%)等温线的分布(1990—1993)

Fig.1 The annual distribution of isomoisture curve for total water content in upland red soil (1990—1993)

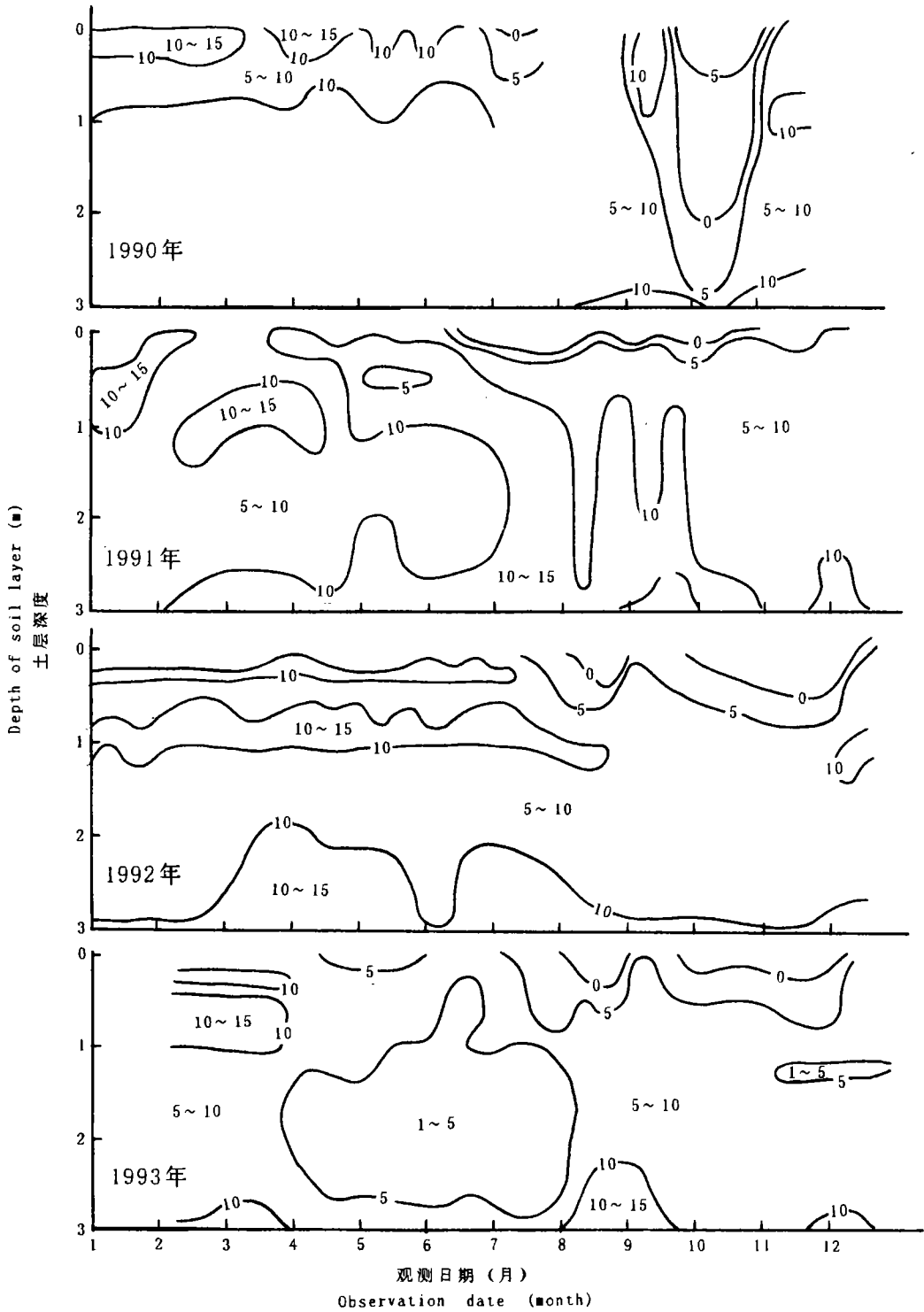


图2 旱地红壤有效含水量(V%)等温线的年分布(1990—1993)

Fig.2 The annual distribution of isomoisture curve for available water content in upland red soil (1990—1993)

月下旬至7月上旬此线明显往下偏移外,一般在全年内于土体下部的分布还是比较平稳。由此可见,旱地红壤0—300cm土体内的含水量,在上半年基本接近或达到田间持水量范围,而在下半年7月开始,上层土体内常出现没有有效水的零等湿线(图2),而且在1990年此线下移到100cm以下。1992年9月到11月3个月的降水量只有52mm,仅占年总降水量的2.5%,而同期的蒸发量高达355.7mm占年总蒸发量的27.6%,在此期间旱地红壤0—50cm土体内的无有效水的零等湿线一直延到12月,秋旱严重。1993年的年降水量虽然不低,达2082.6mm^[3],但因其主要分布在上半年。因此,7月以后0—50cm土体内仍常出现无有效水的零等湿线,延至12月。

与坡荒地红壤的水分状况相比,旱地红壤土体中各级等湿线都明显上移,反映了土体内的贮水量比荒地红壤中高。以1993年为例(表4),从1—12月旱地红壤0—100cm土体内的平均贮水量比荒地红壤多50—60mm,在100cm以下土体中所贮的水则更多。由此,旱地红壤中出现无有效水的零等湿线的时间比荒地迟,其分布位置亦较浅。造成这种现象,与荒地垦殖平整土地后,地表径流减少,降水入渗量增多有关。而且,旱地红壤100cm以下土体中等湿线的年内的摆幅变化亦较荒地红壤小,反映了该土体中的土内径流亦较弱。当然,正如表4所见,旱地红壤0—20cm土层内增加的水量不多,加上这种土壤的非饱和导水率低^[5],靠下层土壤供水的难度大。因此,旱地红壤上的旱作仍易受到干旱威胁。

表4 旱地红壤与荒地红壤中贮水量比较(1993)

Table 4 The comparison of water storage(mm) between upland red soil and uncultivated red soil

观测时间 Observation date (moth)	土 层 深 度 Depth of soil layer (cm)				
	0—20	0—50	0—100	100—200	200—300
1—3	$\frac{55.7}{52.5}$	$\frac{156.4}{137.2}$	$\frac{340.8}{284.8}$	$\frac{392.9}{343.4}$	$\frac{433.6}{371.0}$
4—6	$\frac{50.0}{45.6}$	$\frac{137.2}{118.2}$	$\frac{298.8}{244.1}$	$\frac{349.9}{295.4}$	$\frac{380.4}{324.8}$
7—9	$\frac{42.8}{40.8}$	$\frac{125.7}{109.2}$	$\frac{290.7}{234.7}$	$\frac{363.7}{305.4}$	$\frac{404.9}{344.4}$
10—12	$\frac{37.9}{36.5}$	$\frac{115.8}{103.5}$	$\frac{279.4}{226.9}$	$\frac{374.8}{303.6}$	$\frac{420.8}{348.1}$

注: $\frac{\text{旱地红壤贮水量}}{\text{荒地红壤贮水量}}$

4 旱地红壤的潜在蓄水性能

土壤的潜在蓄水性能主要根据田间实测贮水量和计算的贮水库容相比较而估定^[3]。旱地红壤不同土层厚度的库容状况列于表5。由表可见,旱地红壤0—100cm土层内的贮水库容与荒地红壤相近,约占总库容的2/3。但在100cm以下土层中的贮水库容较大,占总库容的80%以上,但其有效水库容很低,只占贮水库容的1/5,这与这些土层中的土壤容重较大有关。

表5 旱地红壤的库容 (mm)¹⁾

Table 5 The volumetric capacities of upland red soil

土层深度 Depth of soil layer (cm)	总库容 Total volumetric capacity (mm)	贮水库容 Water-storage volumetric capacity (mm)	有效水库容 Available water-storage volumetric capacity (mm)
0—20	105.6	56.2(53.2) ²⁾	18.2(32.4) ³⁾
0—50	241.2	152.5(63.2)	38.9(25.5)
0—100	491.2	345.0(70.2)	92.4(26.8)
100—200	462.2	395.0(85.5)	79.0(20.0)
200—300	462.2	395.0(85.5)	79.0(20.0)

1) 总库容、贮水库容和贮有效水库容分别按土体中各土层的总孔隙度、田间持水量和有效水量计算而得。

2) 括弧中数字为占总库容的百分率。

3) 括弧中的数字为占贮水库容的百分率。

表6 旱地红壤实测平均贮水量 (mm, 1990—1993)

Table 6 The measured average water storage (mm, 1990—1993) of upland red soil

观测时间(月) Observation date (Month)	土 层 深 度 Depth of soil layer (cm)				
	0—20	0—50	0—100	100—200	200—300
1—3	59.0±3.84 (0.07)*	160.3±2.37 (0.02)	342.7±2.52 (0.01)	398.5±4.03 (0.01)	430.4±2.54 (0.01)
4—6	56.6±4.08 (0.07)	152.2±8.88 (0.06)	330.6±18.7 (0.06)	383.7±30.4 (0.08)	455.7±71.7 (0.16)
7—9	44.4±3.93 (0.09)	131.7±5.28 (0.04)	304.5±8.06 (0.03)	390.5±23.2 (0.06)	433.6±24.1 (0.06)
10—12	43.2±6.02 (0.14)	126.1±10.8 (0.09)	289.4±11.3 (0.04)	381.8±6.63 (0.02)	408.1±23.7 (0.01)

* 括号内数字为变异系数。

表7 旱地红壤的容水系数 (W_{fs})Table 7 The water-filled coefficient of upland red soil (W_{fs})

观测时期 Observation date (Month)	土 层 深 度 Depth of soil layer (cm)				
	0—20	0—50	0—100	100—200	200—300
1—3	1.05	1.05	0.99	1.0	1.09
4—6	1.0	0.99	0.96	0.97	1.15
7—9	0.79	0.86	0.88	0.99	1.09
10—12	0.77	0.83	0.84	0.97	1.03

1990—1993 年间不同厚度旱地红壤中实测的平均贮水量见表 6。表 6 内每个数值为 36 次测定的平均数和标准差。其变异系数除 4—6 月 200—300cm 土层和 10—12 月 0—

20cm 土层中的贮水量大于 0.10 属于弱变异外,其他一般都较小。因而,可以认为在一定月份内和年际间相应月份内土壤中贮水量的变幅相对较小。因此,用这些数值来评估土壤潜在贮水性能具有一定代表性。根据实测的平均值和贮水库容的比值(容水系数)所见(表 7),旱地红壤 1—3 月贮水库容中基本都已充满水; 4—6 月 0—100cm 土体内有 14.4mm, 100—200cm 土体内有 11.3mm 的贮水库容中尚未被水充满,当然,这些差异尚属标准差之内。但从 7 月开始,100cm 以上土体中的 W_{fc} 都小于 0.90,约有 50mm 的贮水库容尚未蓄水。但在 100cm 以下土层中的 W_{fc} 都在 1 左右,反映了在贮水库容内已没有再能容水的空间。

与坡荒地红壤的 W_{fc} 相比,旱地红壤在上半年 0—300cm 土体内的 W_{fc} 明显增大而达 1 左右,表明旱地红壤在此期间进一步增加蓄水的功能已很小,这与前人研究结果相似^[6],而在下半年土体中的 W_{fc} 则与坡荒地红壤类似,其 0—100cm 土体中的潜在贮水性很大。此时,设法增加降水的入渗,提高土壤水的贮量是极其重要的。同时,尽管在下半年的降水甚少,但在 100cm 以下的土体中的 W_{fc} 仍在 1 左右,反映了下层土壤中尚贮有相当量的水分。如何巧用深层贮水,则是值得重视的问题。

参 考 文 献

1. Lal R. The role of physical properties in maintaining productivity of soils in the tropics. In "Soil physical properties and crop production in the tropics" John Wiley & Sons, 1979.3—5
2. 许绣云,姚贤良. 红壤生态站土壤物理性质研究/见《红壤生态系统研究》第一集,南昌:江西科技出版社,1992. 93—101
3. 姚贤良. 华中丘陵红壤的水分问题 I. 低丘坡地红壤的水分状况. 土壤学报, 1996, 33(3): 249—257
4. 于德芬,姚贤良. 关于红壤有效水范围的探讨. 见《红壤生态系统研究》第二集,南昌:江西科技出版社,1993. 269—274
5. 姚贤良,许绣云,于德芬. 红壤的库容及其对抗旱性能的影响. 《红壤生态系统研究》第二集,南昌:江西科技出版社,1993. 262—268
6. 琚中和,刘 勋等. 红壤水分特征的初步研究. 土壤通报,1980, (3): 8—12

WATER PROBLEMS OF RED SOIL IN HILLY REGION OF CENTRAL CHINA II. THE WATER REGIME OF UPLAND RED SOIL

Yao Xian-liang

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

Summary

This paper deals with the study on the dynamic changes of water content in upland red soil derived from Quaternary red clay in Jiangxi Province from 1990—1993. Results showed that the physical properties of upper layer of the upland red soil

had apparent changes compared with those of the uncultivated red soil. For example, the soil bulk density and soil resistance were decreased, but the soil porosity was increased. The physical properties of that soil in the lower layer were still similar to those of uncultivated soil, but the water-releasing ability and specific water capacity were declined remarkably. Results also indicated that the water storage of upland red soil in different periods of a year was higher than that of uncultivated red soil. As a result, the delay of wilting point in surface layer appeared and the draught depth in soil was shallower in upland red soil in comparison with those in the uncultivated red soil. This behavior showed that the increase in the acceptance of rainfall and soil water content were beneficial to upland red soil after leveling reclamation of uncultivated red soil. According to the comparison of the water storage measured in field condition with the calculated data of water-storage volumetric capacity, the 0—300cm layer of upland red soil was basically filled with water during the first six months of a year. More pore space in water-storage volumetric capacity of 0—100cm layer of upland red soil could increase the acceptance of rainfall during the second half of a year, but in that time richer water storage was still maintained beneath 100cm depth of that soil. Consequently, how to use the water storage in the deep soil layer would be of important significance for alleviation of the draught harm of hilly region in summer and autumn.

Key words Upland, Red soil, Water regime