

红壤水问题及其管理*

姚 贤 良

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘 要

本文叙述了华中丘陵地区红壤水问题及其有效管理。指出了这一地区虽然年降雨量较多,但由于其分配极不均匀,伏旱秋旱非常严重,成为影响该地区农业生产的主要障碍因子之一。而红壤的贮水库容,特别是贮有效水的库容较低,土壤的有效含水量有限,更促进了伏秋旱的进一步发展。有计划的发展微喷灌溉,进行覆盖以及间或轮种深根植物利用深层贮水,能在相当程度上,提高红壤水资源的利用。

关键词 红壤,土壤有效水,土壤水管理

我国南方红壤面积分布很广,总面积达 203 万平方公里(km^2),约占全国土地总面积的 1/5,覆盖 15 个省、区,是我国热带、亚热带经济林木和粮食生产的重要基地。本区具有很多优越的自然条件,如水热资源丰沛和作物生长期长等,但也有不少对农林生产极为不利的因素,如季节性干旱严重,土壤的保水、保肥性较差等,后者往往成为影响农林生产进一步提高的障碍因素。本文着重对赣中丘陵地区粘质红壤的贮水库容及其与水利用的关系,并联系气候因素和合宜的水管理予以剖析。

1 气候因素

红壤地区虽然水热资源优越,但由于雨量分配极不均匀,少雨水时的伏秋旱期间再加上高温,有时可使旱作颗粒无收。就以赣中丘陵地区 1990—1992 年三年的年降雨量、蒸发量(表 1)和土壤温度测定表明,该区的降雨量和蒸发量无论在年内或年际均有很大变化。三年中 1992 年降雨量最多,比年蒸发量多 754.0mm。1991 年的降雨量最少,比年蒸发量多 118.9mm。三年中每年降雨量和蒸发量的月间分配,7、8、9 三个月的降雨量约占全年的 1/5;而蒸发量几乎占全年的一半。1992 年伏旱期间稍有降雨,但 9、10 两个月无雨,秋旱严重。加以在此期内的土温较高,更加速干旱。如表 2 所示。7、8、9 三个月表土 0—5cm 的土温平均超过 30°C ,实际上有时此层的温度可高达 40°C 以上。即使在 20—30cm 和 40—60cm 内的土温亦可接近 30°C 。这就反映了红壤区的雨量分配不均和因季节受高温,造成严重伏秋旱,成为影响该区农林生产的主要障碍因素之一。

* 国家自然科学基金资助项目的部分内容,参加本项目研究先后有方仲灵,许绣云,于德芬和朱红霞等。
收到修改稿日期:1994-12-28

表 1 红壤试区的年降雨量和蒸发量

Table 1 The annual rainfall and evaporation in the experimental area of red soil

年份 Year	降雨量 Rainfall (mm)				蒸发量 Evaporation (mm)			
	总量 Total	上半年 Jan.—Jun.	下半年 Jul.—Dec.	7.8.9 Jul.—Sept.	总量 Total	上半年 Jan.—Jun.	下半年 Jul.—Dec.	7.8.9 Jul.—Sept.
1990	1785.5	1123.7 (62.9)*	611.8 (37.1)	391.8 (21.9)	1306.4	490.7 (37.6)	815.7 (62.4)	609 (46.6)
1991	1507.5	1078.6 (71.6)	428.9 (28.4)	250.0 (16.6)	1388.6	522.4 (37.6)	866.2 (62.4)	660.6 (47.6)
1992	2043.2	1402.7 (68.7)	640.5 (31.3)	543.9 (26.6)	1289.2	503.9 (39.1)	785.3 (60.9)	513.4 (39.8)

* 括弧内数据为占总量的百分率。

表 2 红壤温度(°C)(7—9月)

Table 2 The temperature of red soil (July—September)

年份 Year	测 定 深 度 Measuring depth (cm)		
	0—5	20—30	40—60
1990	31.5*	28.3	28.3
1991	30.9	29.8	29.8
1992	31.8	28.3	29.1

* 每个数值为 45 次测定的平均值。

2 红壤库容

由于水分的入渗、贮存、渗漏和蒸发都直接与土壤的孔隙系统有关,而红壤的保水性差和供水不良又直接取决于它的孔隙系统特征。不同的孔隙系统构成各种库容。

2.1 红壤总库容

是指红壤剖面中总的孔隙容积部分,由剖面中各土层的总孔隙度换算,加权而得^[1]。根据试区坡地红壤性质的空间变异研究表明,红壤的总孔隙度呈正态分布^[2],故经计算所得库容可按算术平均值表示(表 3)。由表 3 可见,红壤 0—100cm 土体内的总库容为 482.8mm 或 4828m³/ha。比同样粘质的(粘粒含量都在 30—40%)东北黑土^[3]和华北潮土^[4]略低或大致相当。1m 剖面内上下库容分布,红壤较均一,0—50cm 比 50—100cm 多 7.6mm,每 20cm 土层间库容的差异亦很小(表 4)。

2.2 红壤贮水库容

是指能保持土壤水分的最大容量,由田间持水量计算而得。本区粘质红壤的田间持水量相当于土壤水吸力 30kPa 时的土壤含水量。据此计算,红壤 0—20, 0—50 和 0—100cm 内的贮水库容分别为 59.9, 159.2 和 334.5mm, 占总库容分别为 59.4%, 64.9% 和 69.3%。与相应粘质的黑土和潮土相比,在同样厚的土体内,红壤的贮水库容要小得多,

而且占总库容的比率亦很低(见表 5)。这反映了红壤的贮水性能比同样质地的黑土和潮土低得多,这是保水性差的原因之一。

表 3 红壤总库容

Table 3 The total volumetric capacity of red soil

土壤 Soil	土层深度(cm) Soil layer	库 容 Volumetric capacity		
		mm		m ³ /ha
红壤 (江西)	0—20	100.9	(n = 58)	1009
	0—50	245.2	(n = 8)	2452
	0—100	482.8	(n = 8)	4828
黑土 ^[3] (东北)	0—20	120.0	(n = 1)	1200
	0—50	278.4	(n = 1)	2784
	0—100	511.6	(n = 1)	5116
潮土 ^[4] (华北)	0—20	108	(n = 4)	1080
	0—50	253	(n = 4)	2530
	0—100	503	(n = 4)	5035

表 4 红壤剖面各层总库容

Table 4 The volumetric capacity of each layer in the profile of red soil

土壤深度(cm) Soil layer	库 容 Volumetric capacity		
	mm		m ³ /ha
0—20	100.9 ± 7.65	(n* = 58)	1009
20—40	96.2 ± 8.58	(n = 27)	962
40—60	95.9 ± 5.08	(n = 8)	959
60—80	94.2 ± 3.59	(n = 8)	942
80—100	95.6 ± 5.73	(n = 8)	956

* n 为样品数。

表 5 红壤贮水库容(mm)

Table 5 The water-storage capacity of red soil

土 壤 Soil	土 层 厚 度 Soil layer thickness (cm)		
	0—20	0—50	0—100
红 壤	59.9(59.4)*	159.2(64.9)	334.5(69.3)
黑 土	86.0(71.7)	210.0(75.4)	425.0(83.1)
潮 土	68.5(63.4)	184.9(73.1)	392.7(78.1)

* 括弧中数字为占总库容的百分率。

表 6 红壤通透库容(mm)

Table 6 The transmission volumetric capacity of red soil

土 壤 Soil	土 层 厚 度 Soil layer (cm)		
	0—20	0—50	0—100
	红 壤	41.0(40.6)*	86.0(35.1)
黑 土	34.0(28.3)	68.4(24.6)	86.6(16.9)
潮 土	39.5(36.6)	68.1(26.9)	110.3(21.9)

* 括弧内数值为占总库容的百分率。

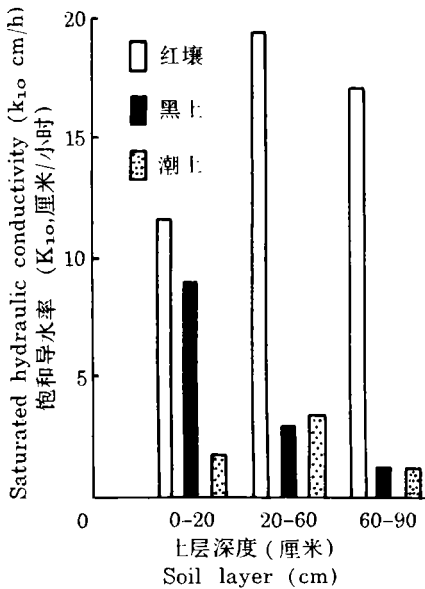
图 1 三种土壤的饱和导水率(K₁₀)

Fig.1 The saturated hydraulic conductivity of the three soil

2.3 红壤通透库容

是指该部分库容是不能贮水的,由总库容减贮水库容所得。它对水入渗、水蒸发等性质具有重要意义。由表 6 所见,红壤的通透库容比其他两种粘质土壤要大,且所占总库容的比率亦大。由于红壤剖面中各层的库容分布均匀,它的透水性较好,土壤剖面内网纹层以上一般不存在障碍层。田间原位测定表明,红壤土体的饱和导水率比其他两种土壤明显高。0—20cm, 20—60cm 和 60—80cm 土层中的饱和导水率 K_{10} (10 为导水时的水温) 分别为 11.5cm/h, 19.4cm/h 和 17.0cm/h, 而相质地黑土和潮土的 K_{10} 比红壤低得多(图 1)。红壤土体中存在着较好的通透库容无疑有利于接纳天然降水。虽然丘陵地区多为坡地,但在缓坡上只要有植被,径流系数一般在 0.1—0.2, 所以完全能接纳较多天然雨水,这是形成深层贮水的主要原因。

3 红壤水问题

除气候因素外,红壤水问题集中反映在它的贮水库容较小,其中又以贮无效水的库容较多,而贮有效水的库容很小。另外,虽然红壤的通透库容较大,易於下层贮水,但因多种原因深层水难于被植物利用。

3.1 有效水库容小,有效水含量低

有效水库容的划分涉及土壤萎蔫含水量和田间持水量的确定。对田间持水量,目前虽仍有不同看法,但多数认为确定在 30kPa 土壤水吸力时的含水量范围是较恰当的^[5]。而对萎蔫含水量的确定,国内有时用最大吸湿量乘 1.5 系数法,或用生物法直测,也用

1.5MPa 土壤水吸力时的含水量范围作为指标。我们曾用三种方法进行比较^[6],认为用 1.5MPa 时的土壤含水量作萎蔫含水量的临界值是较好的。因为大多数植物在这一土壤水吸力时的根系细胞膨压已等于零^[7]。由田间持水量和萎蔫含水量计算出的土壤有效含水量库容,和根据萎蔫含水量计算出的无效含水量库容列于表 7。

表 7 红壤的有效和无效水库容(mm)

Table 7 The available and unavailable water-storage capacity of red soil

土 壤 Soil	土 层 厚 度 Soil layer thickness (cm)					
	0—20		0—50		0—100	
	有效(a) ^{*2}	无效(μ)	有效(a)	无效(μ)	有效(a)	无效(μ)
红 壤	21.5	38.4	48.1	111.1	104.2	230.3
	(35.9) ^{*1}	(64.1)	(30.2)	(69.8)	(31.2)	(68.8)
黑 土	50.0	36.0	112.0	98.0	210.0	215.0
	(58.1)	(41.9)	(53.3)	(46.7)	(49.4)	(50.6)
潮 土	36.0	32.5	94.7	90.2	207.8	184.9
	(52.6)	(47.4)	(51.2)	(48.8)	(52.9)	(47.1)

*₁ 括弧中数字为占贮水库容百分率。

*₂ a 为有效的, μ 为无效的。

由表可见,红壤有效水库容比黑土和潮土明显低,占贮水库容的比例亦小,约为 1/3。而其他两种土壤则约占 1/2。红壤的无效水库容却比其他两种土壤要大,占贮水库容的比例亦大。红壤有效水库容小,当然能最大程度地保持土壤的有效水亦较少。根据试区 50 个样品的测定,一般都在 10% (质量%)左右,且与粘粒(<0.001mm)含量和容重值呈负相关。粘粒含量超过 30%,容重超过 1.30g/cm³ 的红壤,其有效水含量低于 10%,反之,高于此值。红壤有效水库容小,有效水含量低是红壤上作物易受旱害的最重要原因。

3.2 红壤深层贮水

红壤剖面内有较丰富的深层贮水,但由于多种原因,不易被植物直接利用。如表 8 所示,红壤剖面中,7、8、9 三个月内的平均有效含水量是较低的。尤其在年降雨量相对较少的 1991 年,0—20cm 土层内的有效水平平均 1.7mm。实际上,表层含水量经常处于萎蔫含水量范围内。但从 0—50cm; 0—100cm; 特别在 1m 以下仍保持有较多的有效含水量,足于

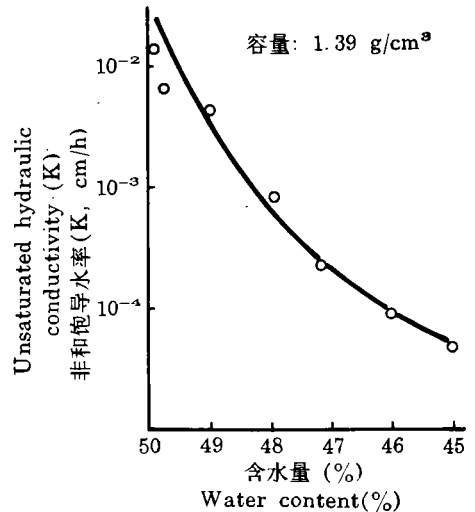


图 2 红壤非饱和导水率(cm/h)

Fig.2 The unsaturated hgdraulic conductivity of red soil

供植物利用。但事实上,7、8、9三个月的旱象仍然特别严重,根系不易在土体中延伸吸水而枯死。红壤中根系不易下扎的报道较多。有的认为是化学因素,如养分不足或铝毒影响等^[8]。根据我们观测,可能与其结构发育甚好而致使非饱和导水率低直接有关。虽然在旱季内下层贮水较丰富,但导水率低,难于及时供给根系吸收(图2)。红壤从含水量49.5%下降到45.5%,非饱和导水率K值就由 10^{-2} 下降到 10^{-4} 数量级。如下降到田间持水量(含水量约30%左右)则K值下降更快。而旱季时耕层土壤中的含水量多在萎蔫含水量范围,其下层的水量靠导水率补充上层微乎其微。深层水较多与土体具有良好的饱和导水率有关。亦和非饱和导水率低有关。前者有利水入渗,而后者能阻止水分向上传导,减少土壤因蒸发而失水。如何利用深层水是提高红壤水资源利用的关键。

表8 红壤不同土层中有效水贮量(mm)

Table 8 The available water-storage capacity of different layers of red soil

年 月 Year Month	土 层 厚 度 Soil layer thickness (cm)					
	0—20	0—50	0—100	100—200	200—300	
1990	4、5、6	21.6*	47.6	100.9	—	—
	7、8、9	12.1	36.2	78.1	83.8	90.8
1991	4、5、6	21.7	52.2	110.1	93.5	110.4
	7、8、9	1.7	20.8	73.4	109.5	132.7
1992	4、5、6	18.2	48.4	103.5	84.3	103.4
	7、8、9	8.6	26.4	73.0	75.6	102.1

* 为9次测定的平均值。

4 红壤水管理

由于红壤贮水库容较小,有效水库容更低,土壤提供有效水的潜在能力不大。加以伏

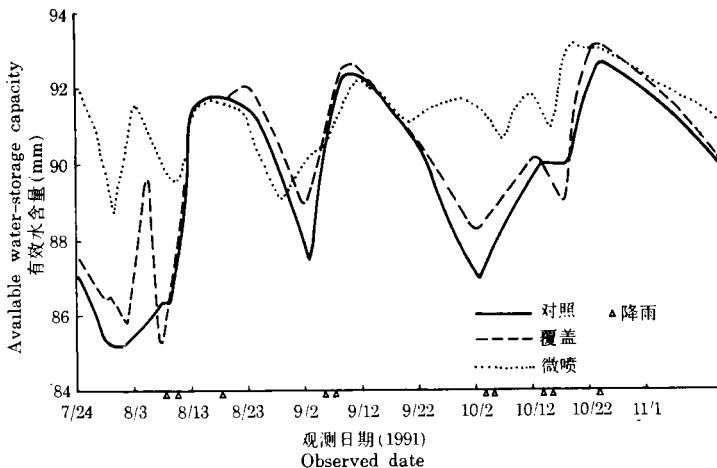


图3 不同处理对桔园红壤有效水贮量的影响

Fig.3 The effect of different treatments on available water-storage capacity of red soil in orange garden

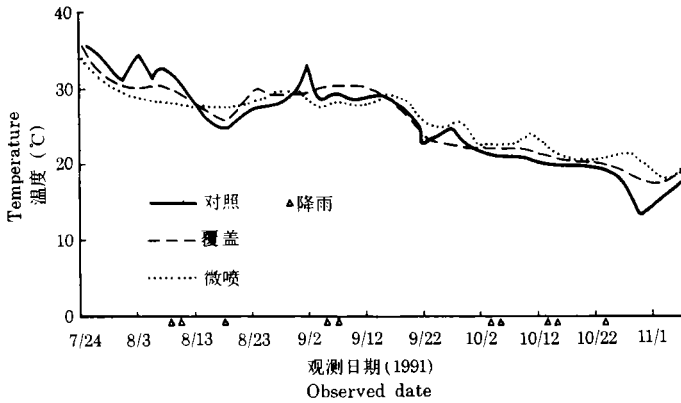


图 4. 不同处理对桔园土壤(0—5cm)温度的影响

Fig.4 The effect of different treatments on soil temperature (0—5cm) in orange garden

秋旱期间由于高温,表土的蒸发力极强。因此,在地表适当补充水分,并加以覆盖,对抗旱和保墒能起明显作用。近年来我们在桔园内进行了自流微喷和绿肥覆盖试验。结果列于图 3 和图 4。由图 3 可见,微喷能明显增加 0—60cm 土层中的土壤有效含水量,特别在无降雨时更为明显。一定程度上缓解了季节性干旱,而在无灌溉条件下,覆盖的保水作用也是明显的。而且覆盖能明显降低表土温度。7、8、9 伏旱期间表土的温度可降低 4—5℃,可在一定程度上降低高温对作物的危害。

由于改善了土壤水热条件,柑桔的产量和质量都有明显提高(见表 9)。另外间或轮种深根性植物可能亦是有效利用深层水的途径。

表 9 不同处理对柑桔品质和产量的影响

Table 9 The effect of different treatments on quality and yield of orange

处 理 Treatment	对 照 Check	覆 盖 Mulching	微 喷 Trickle irrigation
维生素 C(g / 100g)	16.0	24.7	16.5
有机酸(以柠檬酸计,%)	1.36	1.40	1.26
还原糖(%)	2.09	2.53	2.31
总可溶性糖(%)	4.94	5.79	5.77
糖酸比	3.63	4.14	4.58
可食率(%)	66.4	73.1	72.8
果实重(g / per orange)	120.0	—	140

5 小 结

中亚热带红壤丘陵地区的年降雨量较多,并大于蒸发量,但由于年降雨量分配不均,季节性伏旱秋旱及高温非常严重,成为影响该地区农业生产的主要障碍因子之一。而红壤的贮水库容小,特别是贮有效水的库容更小,土壤的有效含水量有限,更促进了旱情的

发展,成为红壤上作物易受干旱威胁的主要土壤因子。有计划的发展微喷灌溉,进行覆盖,或利用深层贮水能在相当程度上缓解旱情,提高土壤水资源的利用率。

参 考 文 献

1. 程云生、姚贤良等译,1965:土壤及土质物理性质测定法。科学出版社。
2. 梁春祥、姚贤良,1993:华中丘陵红壤物理性质的空间变异研究。土壤学报,第30卷 1期,69—78页。
3. 中科院林土所,1980:中国东北土壤。科学出版社。
4. 中科院土壤和水保所等,1961:华北平原土壤。科学出版社。
5. 姚贤良,1989:热带和亚热带的土壤物理问题及其管理。土壤学进展,17(3):1—10页。
6. 于德芬、姚贤良,1993:关于红壤有效水范围的探讨。红壤生态系统研究(第二集)269—275页,江西科学出版社。
7. 华孟等译,1983:物理的土壤学(美S.A.Taylor著)科学出版社。
8. Charles D. Foy, 1992: Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in Soil Science*, Vol. 19: 97—131. Springer-Verlag.

WATER PROBLEM OF RED SOIL AND ITS MANAGEMENT

Yao Xianliang

(*Institute of Soil Science, Academic Sinica, Nanjing 210008*)

Summary

The water problem of red soil in the hilly region of Central China and its effective management are described in this paper. Results show that in this area the drought in summer and autumn is severe due to unequal distribution of rainfall during a year though there is rich precipitation annually, becoming one of the primary barriers affecting agricultural production. The water-storage capacity, especially the available water-storage capacity, in red soil is smaller and the water content available to plant growth is limited, which promote the progressive development of drought situation. Developing trickle irrigation in a planned way and soil surface mulching and use of storing water in deep layer of red soil by adopting the intercropping or rotation cropping with deep rooted plants could be effective in increasing water use efficiency of red soil.

Key words Red soil, Soil available water, Soil water management