

413-419

红壤丘陵; 季节性干旱, 土壤干旱; 旱; 抗旱

# 南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对策研究\*

张斌 张桃林

(中国科学院南京土壤研究所, 南京, 210008)

S154.1; S274  
P463

A

**摘要** 本文着重从气候和土壤两方面探讨红壤丘陵区土壤季节性干旱的成因。研究表明,红壤特殊的水分物理性质和该区特定的大气-土壤-植物系统水分运动模式的综合作用是红壤季节性干旱的主要成因。认为丘陵红壤的土壤水分管理应从土壤结构改良和协调气候-土壤关系两方面入手,通过合理的耕作技术和建立合理的利用方式体系,改良土壤结构,利用深层土壤水分,从而达到提高土壤水分利用率和抗旱、避旱的目的。复合农林业和免耕覆盖技术对红壤水分具有显著的调节作用。

**关键词:** 红壤丘陵, 土壤水分物理, 避旱, 抗旱, 干旱

南方东部丘陵区包括我国东南10个省(区)全部或部分。山区、丘陵各占总面积的38%。红壤是该区的主要土壤类型,其中浙、赣、湘、闽、两广、琼等7省(区)土地面积的45%为低丘红壤,面积达45万 $\text{km}^2$ <sup>[1,2]</sup>。虽然该区水热资源丰富,年降水量可达1200—2500mm,但雨量分配不均,伏旱、秋旱频繁。干旱已成为农业生产的重要障碍因素之一<sup>[3,4]</sup>,严重妨碍着红壤旱地巨大的光温资源潜力的发挥。

研究土壤资源的水分特征及其对水分的调节利用能力,对制定防旱、避旱和抗旱的农业技术措施有重要的意义。本文根据近年来对低丘红壤的土壤水分特征的研究结果,从气候-土壤等方面探讨红壤丘陵区季节性干旱的成因,并提出该区防旱、避旱和抗旱的农业技术对策。

## 1 季节性干旱的土壤因素

### 1.1 红壤的土壤水分库容

红壤总库容是指其剖面中容积孔隙的容量<sup>[5]</sup>。若以30kPa时土壤含水量计算1m土体可容纳的水分总量作为贮水库容、以大于1500kPa吸力时土壤水分的容纳量为无效库容,则有效库容量为30kPa至1500kPa间的土壤贮水量。由表1可见,红壤的总库容为482.8mm,略低于相同质地的东北黑土、华北潮土,略高于黄土母质发育的褐土;贮水库容与褐土相当,略低于黑土和潮土,但有效水库容只是它们的一半左右;0—20cm,0—50cm,0—100cm土层土壤有效水库容分别为21.5,48.1和104.2mm,均为贮水库容的三分之一。由于影响库容的主要因素是土壤质地和土壤结构状况<sup>[6,11]</sup>,一方面红壤高度发育的微团聚体及其所构成的通气孔隙使其通透库容较大,贮水库容较小,另一方面微团聚体内所吸持的水分也占据了部分库容(为无效库容),加之红壤的粘粒含量高,而粘粒吸附水又多为无效水,因而红壤有效水库容较小,使其较潮土、黑土和褐土更易受到干旱的威胁。

\* 本研究为“八五”攻关专题(85-009-01-11)和国家自然科学基金项目(49371034)的部分工作。  
林杭生参加了本研究的初期工作,梁音协助部分数据的处理工作,在此一并致谢。  
收稿日期:1994-01-20,修改稿收到日期:1994-09-02。

表1 红壤库容特征

Table 1 Water reserving capacity of red soil(mm)

项目 Items	层次 Horizon(cm)	红壤 <sup>(6)</sup> Red soil	黑土 <sup>(7)</sup> Paeozem soil	潮土 <sup>(8)</sup> Chao soil	褐土 <sup>(9)</sup> Cinnamon soil
总库容 Total cap.	0—20	100.9	120.0	108.0	99.0
	0—50	245.2	278.4	253.0	235.0
	0—100	482.8	511.6	503.0	459.0
贮水库容 Reserving water cap.	0—20	59.9	86.0	68.5	61.4
	0—50	159.2	210.0	184.9	156.0
	0—100	334.5	425.0	392.7	319.2
无效水库容 Unavail. water cap.	0—20	38.4	36.0	32.5	16.1
	0—50	111.1	98.0	90.2	45.4
	0—100	230.3	215.0	194.9	98.3
有效水库容 Available water cap.	0—20	21.5	50.0	36.0	45.3
	0—50	48.1	112.0	94.7	110.5
	0—100	104.2	210.0	207.8	220.9
通透库容 Aeration cap.	0—20	41.0	34.0	39.5	37.6
	0—50	86.0	68.4	68.1	79.0
	0—100	148.3	86.6	110.3	139.8

## 1.2 红壤的水分保持、释放特征

表2 两种林地土壤水分特征曲线拟合方程

Table 2 Simulation of soil water characteristic curve under two forest systems

林地 Forest	层次 Horizon(cm)	代码 Code	拟合方程 Simulation	相关系数 Relative coefficient
茶园土壤 Soil in tea garden	18—24	I	$\theta = 34.46 - 4.35 \times \log S$	-0.9926
	24—40	I	$\theta = 35.14 - 4.01 \times \log S$	-0.9823
	40—70	II	$\theta = 33.11 - 4.18 \times \log S$	-0.9801
	70—100	IV	$\theta = 37.12 - 5.12 \times \log S$	-0.9861
稀疏马尾松 林土壤 Soil in sparse masson forest	100—130	V	$\theta = 34.28 \times S^{-0.067}$	-0.9820
	0—15	I	$\theta = 37.07 \times S^{-0.11}$	-0.9821
	15—40	I	$\theta = 36.00 \times S^{-0.10}$	-0.9865
稀疏马尾松 林土壤 Soil in sparse masson forest	40—70	II	$\theta = 30.62 \times S^{-0.27}$	-0.9770
	70—100	IV	$\theta = 32.81 \times S^{-0.07}$	-0.9874
	100—130	V	$\theta = 32.21 \times S^{-0.06}$	-0.9943

\*  $\theta$  单位为 g/kg, S 单位为 hPa;Unit:  $\theta$ , g/kg; S, hPa.

表3 两种林地不同土层释放 80%有效水时的土壤水吸力(kPa)

Table 3 Soil water suction to release 80% of the available water in different horizons under two forest systems

土壤层次 Soil horizon	土壤水吸力 Soil suction(kPa)				
	I	II	III	IV	V
茶园土壤 Soil in tea garden	1180	1120	1020	1020	1130
稀疏马尾松林土壤 Soil in sparse masson forest	830	920	420	1060	1110

\* 参见表 2. See table 2.

土壤水分特征曲线表征土壤水分保持和释放过程中其含水量与水势的相应关系。压力膜测定法测定相邻茶园、马尾松稀疏林地土壤水吸持力与土壤含水量的关系,得到水分特征曲线的拟合方程有 2 种:  $\theta = a \times S^{-b}$  和  $\theta = a - b \times \log S$  (表 2)。其中  $\theta$  为土壤含水量, S 为土壤水吸力 (单位:  $\theta$ , g/kg; S, hPa)。结果与 Garder<sup>(12)</sup> 和 杨艳生<sup>(13)</sup> 等人研究结果一致。

若以面积  $\int_{300}^{15000} \theta \times dS$  表示土壤有效

水库容,则当土壤水吸力为  $t$  时,释放的土壤有效水占有效水库容的比率  $R$  可表示为: $R = \int_{300}^t \theta \times dS / \int_{300}^{15000} \theta \times dS$  ( $300 < t < 15000 \text{hPa}$ )。同样,根据上式可得当  $R=80\%$  时的  $t$  值(表 3)。结果表明,红壤在  $0.42-1.18 \times 10^6 \text{Pa}$  的较低的吸力段,土壤水分的释放量即达到其有效水分的 80%。马尾松林地土壤与茶园土壤相比,释放 80% 的有效水时  $t$  值较小,表明马尾松土壤的持水性更差,植物更易受到干旱的胁迫。

表 4 2 种林地土壤的比水容量( $\text{ml}/10^5 \text{Pa}/\text{g}$ )拟合方程

Table 4 Stimulation of specific soil water volume in two forest systems

层次 Horizon	茶园土壤 Soil under tea garden	稀疏马尾松林土壤 Soil under sparse maason forest
I	$d\theta/dS = -4.35/S$	$d\theta/dS = -4.077/S^{1.130}$
II	$d\theta/dS = -4.01/S$	$d\theta/dS = -3.417/S^{1.095}$
III	$d\theta/dS = -4.18/S$	$d\theta/dS = -5.052/S^{1.160}$
IV	$d\theta/dS = -5.21/S$	$d\theta/dS = -4.077/S^{1.069}$
V	$d\theta/dS = -2.97 \times S^{-1.087}$	$d\theta/dS = -1.997/S^{1.012}$

\* 参见表 2. See table 2.

土壤的水容量  $C_s$  表示单位重量土壤增加单位吸力时土壤中释放出的水分容量,定义为: $C_s = d\theta/dS$ 。有人根据  $C_s$  的大小将土壤有效水区分为易效水和难效水<sup>[14,15]</sup>。认为  $C_s$  为  $10^{-2}$  的数量级范围时的土壤水即为难效水。由 2 种林地土壤的比水容量方程(表 4)计算可知当土壤吸力达 200—500kPa 时,2 种土壤的比水容量达  $10^{-2}$  数量级。因此,

红壤不但有效水库容小,有效水的释放又主要是在低吸力段,而且其有效水中难效水比例大。可见这些土壤水分特征是红壤上植物更易遭受干旱威胁的主要土壤原因。

## 2 季节性干旱的红壤水分循环因素

红壤丘陵相对高度一般为 50—100m,地下水补给少,土壤水分主要来自于降水。该区降水

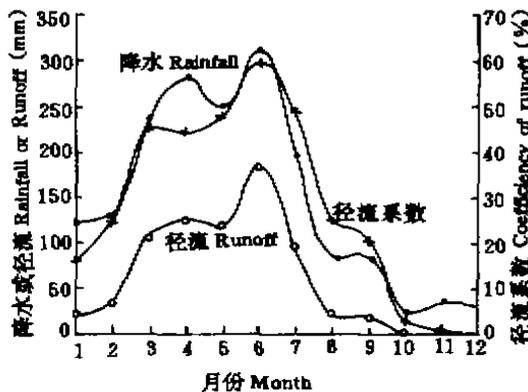


图 1 人工幼林地地表径流季节性动态  
Fig. 1 Seasonal dynamics of runoff in artificial young growth

集中在 4—6 月,占年降水量的 67%。1985—1990 年何园球<sup>[16]</sup>在江西鹰潭坡度为 10 度的坡地上的研究结果表明,若以降水量为 100%,则林冠截留、地表枯叶保蓄、地表径流、土体吸收降水分别占 3.6%—18.7%,1.4%—18.7%,5.4%—51%和 39%—51.8%,土体 90cm 处渗漏水占 8.5%—12.6%,而且不同林型间存在着很大的差异。同时,地表径流呈强烈的季节性(图 1)。虽然 7 月份的降水量为 200mm 左右,低于 3—6 月份的月降水量,但因 7 月份降雨次数少,降雨强度大,所以,其径流系数却高于 3—6 月份。

土壤渗透速率决定了土壤接纳降水的能力。该区高能雨滴打击表土,使其破碎阻塞微团聚体间的孔隙,形成表土(0—2cm)结壳<sup>[17]</sup>,使表土容重增至  $1.3-1.49 \text{g}/\text{cm}^3$ ,大于心土层和底土层。因而,表土层(0—20cm)的渗透系数  $K_{10}$  为  $4.08 \text{cm}/\text{h}$  ( $K_{10}$  为水温  $10^\circ\text{C}$  时的渗透速率),明显小于心土层(20—60cm)的  $19.4 \text{cm}/\text{h}$  和底土层(60—80cm)的  $17.0 \text{cm}/\text{h}$ <sup>[6]</sup>。可见,表土较低的  $K_{10}$  值是阻碍降水入渗,造成地表径流严重(尤其是在降雨集中的 4—6 月份)的主要原因之一。另一方面,由于表层以下土壤的  $K_{10}$  较大,降水一旦进入土体,其水分一般运动较快,可在深层贮存起来。不过,由于 7 月份以后长时

间无降雨(一般在30—60d),加之7月份降雨又多呈暴雨形式,径流系数较大。因此,土壤干旱十分突出。

此外,红壤土体中大量存在的稳定性微团聚体,也使毛管孔隙及其贯通性不发育。因此,旱季红壤表层土壤水因强烈蒸散而迅速失水时,心层土则会很快形成“自然幕”<sup>[13]</sup>,抑制底层土壤水的上行运动。从而形成了红壤独特的土体贮水构造动态。笔者在低丘花生地上利用中子测水仪监测土壤水分的结果表明(图2):坡地红壤表层土壤含水量变化呈强烈的季节性;深层土壤含水量大于表层,但变幅较小。此外,受丘陵地貌的影响,土壤水分具有明显的侧渗及再分配的坡地水分运动特征,土壤水分贮量在坡地不同部位存在显著的空间差异(表5)<sup>[17]</sup>。

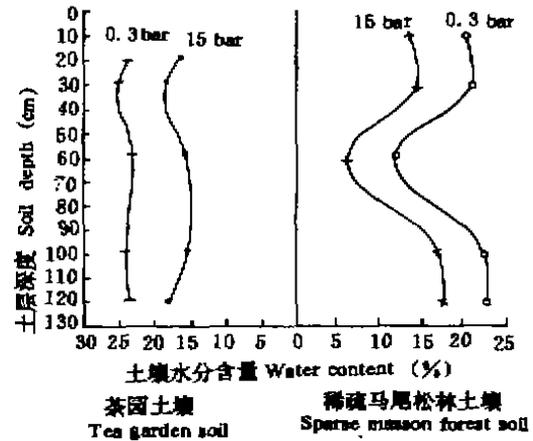


图2 红壤旱坡地花生地不同层次土壤水分含量动态  
Fig. 2 Dynamics of soil water content in different horizons of peanut upland

表5 低丘红壤土壤贮水量(mm)的坡地空间变异(1987—1989年)\*

Table 5 Spatial variation of soil Water Storage (mm) in a hill land

深度 Depth	部位 Position	月份 Month									
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0—40(cm)	坡顶 Top(A)	151.2	145.0	147.8	140.2	136.8	130.0	134.0	136.6	139.6	
	坡中 Side(B)	160.8	154.6	156.8	149.2	150.8	146.2	145.6	140.8	143.4	
	B-A	9.6	9.6	9.0	9.0	14.0	18.2	11.6	4.2	3.8	
40—100cm	坡顶 Top(A)	241.2	211.5	211.2	216.3	202.8	205.5	203.7	211.5	218.4	
	坡中 Side(B)	241.5	229.5	231.6	225.6	225.6	227.7	222.9	222.6	227.1	
	B-A	0.5	18.0	20.4	9.3	22.8	22.2	19.2	11.1	8.7	

\* 根据何园球<sup>[17]</sup>资料整理(监测丘陵坡度8—10°,坡长50m)

Original data from He Yuanqiu<sup>[17]</sup>(a hill with a slope 8—10° and 50m long).

因此,由于红壤独特的物理结构,尤其是剖面自上而下土壤渗透速率差异,形成其特殊的土壤水分贮量动态,旱季时下层土壤水的上行运动不畅,形成了红壤特殊的土壤水分循环特征,这是丘陵红壤浅根作物易遭受干旱胁迫的土壤内在因素。而低丘红壤的水分循环的强烈的季节性,加剧了低丘红壤区的季节性干旱。

### 3 红壤的水管理

以上分析表明,红壤特殊的水分物理特性和低丘红壤区特定的土壤-植物-大气连续体中水分运动模式的综合作用是导致红壤季节性干旱主要的成因。因此低丘红壤的土壤水管理首先应从协调气候-土壤关系和改善土壤结构两方面入手,提高植物土壤水分利用率,从而达到抗旱、避旱的目的。

#### 3.1 复合农林业(Agroforestry)技术

茶园土壤和稀疏马尾松林土壤有效水剖面特征研究结果表明(图3):稀疏马尾松林土地土

壤剖面 40—70cm 处含砂量较大,其它层次土壤物理结构基本相同。所以 2 种林地土壤的田间持水量和凋萎含水量剖面的中部存在差异;2 种林地的剖面的有效水范围自上而下呈下降趋势,但是,茶园土壤的有效水范围大于稀疏马尾松林土壤,且茶园土壤 1m 以上各土层土壤的有效水变化小于稀疏马尾松林土壤;说明不同的林业利用方式对深层土壤水分的有效性有一定的影响。因此,可将林木引入农业土地利用中来,解决土壤季节性干旱问题。

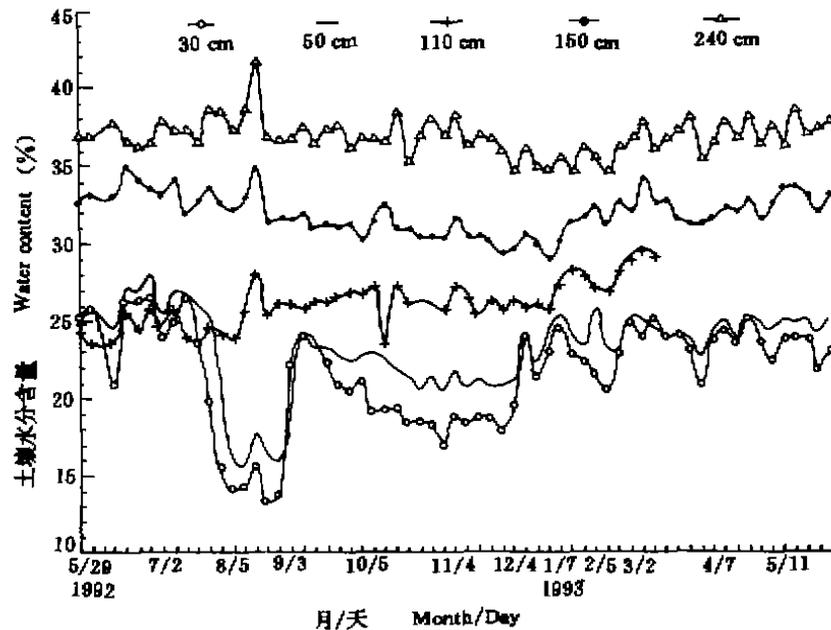


图 3 2 种林地土壤有效水剖面

Fig. 3 The profile of available water in two forest systems

复合农林业<sup>[18]</sup>是指在同一土地单元上,有意识地把树木或灌木与农作物以空间或时间序列结合起来,以便木本和非木本植物获得有效的生态和经济上的相互影响而建立的一种土地利用方式。中国科学院红壤生态站的试验表明:农林间作系统比纯林或作物单作,土壤氮、磷、钾全量及有机质均略有提高;土壤有效水含量增加了 1%—2%;经济效益提高了 29%—158% (表 6)<sup>[16,18]</sup>。

表 6 农林间作的水肥效应

Table 6 Effects of alley cropping system on soil water and fertility

农林间作 Alley cropping	水分 (g/kg) Water capacity		养分 (g/kg Soil) Nutrients				生物量 (t/hm <sup>2</sup> ) Biomass	经济效益 (Yuan/hm <sup>2</sup> ) Benefit
	30 kPa 含水量 Content in 30kPa	有效水 Avail water	全氮 Total N	全磷 Total P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	全钾 Total K	有机质 O. M.		
林 Tree	248	48	0.43	0.65	11.8	8.1	6	3000
农 Crop	259	52	0.52	0.65	13.8	10.8	6	6000
农+林 Tree+crop	307	63	0.63	0.71	19.8	12.5	12	7750

\* 农作物是花生;林木是南酸枣

The crop is peanut and the tree is *Choerospondias axillaris*

复合农林系统通过林木的深根系利用深层土壤水分和养分,或者通过其死亡的根系等有机体改善土层间的毛管孔隙结构,有利于深层土壤水分的上行。但是有关树种的选择、林木与作物之间的关系、以及这种利用方式对红壤水分的调控机理仍有待进一步深入的研究。

#### 4.3 覆盖技术

覆盖包括残茬覆盖、秸秆覆盖、活体覆盖以及塑料薄膜覆盖。覆盖物在雨季具有防止雨滴的剧烈打击,有利降水的入渗;在旱季,可以降低地表温度,减少土壤水分蒸发;同时除了塑料薄膜覆盖外,覆盖物都参与了土壤养分再循环,有利于良好土体结构的形成;另外,覆盖物还为土壤动物、土壤微生物提供适宜的生存环境,使其参与促进底层土壤水分向上运动。但是,覆盖技术在红壤旱地上的应用还较少<sup>[3]</sup>。已有的研究结果<sup>[20]</sup>表明以秸秆为覆盖物的免耕覆盖技术使低丘红壤出现凋萎含水量的次数比常耕少36%,地表最高温度大于40℃的次数仅为常耕的一半(表7)。马涓俊等人<sup>[21]</sup>的研究结果也表明:玉米生育期间,秸秆覆盖、活体覆盖分别比对照减少径流量182mm和89mm;减少蒸发量234mm和144mm;增加渗漏量187mm和65mm。

表7 覆盖技术对土壤水分及土壤温度的调节作用<sup>[20]</sup>

Table 7 Effects of mulching and no-tillage on soil water and soil temperature.

日期(month/d) Date	观测项目 Items	统计范围 Range	发生频率(Frequency)	
			免耕覆盖技术 Mulching	常耕技术 Conventional
7/2—12/22	土壤含水量(g/kg) Soil water content	总数 Total	48	48
		≤15	8	11
		≤18	24	23
		≤20	26	25
5/48—7/20	土表最高温度(℃) Max. soil surface temperature	总数 Total	62	62
		≥40	17	31
		≥50	8	10
	玉米产量 Yield of corn(t/hm <sup>2</sup> )		6.13	4.71

#### 5 结语

红壤特殊的水分物理性质和红壤区特定的土壤-植物-大气系统水分运动模式的综合作用是红壤季节性干旱的成因。红壤有效水库容小是其易遭干旱胁迫的一个重要的土壤原因;而土壤水的含量在低吸力段很窄的范围内迅速下降,当土壤吸力在410—1180kPa时,土壤已释放其80%的有效水,则是红壤上植物易遭干旱的另一重要土壤因素。

低丘红壤区降水的季节性,特别是7月份的暴雨是造成7月份及其以后几个月土壤干旱加剧的重要气候因素。红壤独特的物理结构,使接纳的降水较易下行,但干旱季节,表层土壤失水时不易得到下层土壤水分的补给;同时,山丘土壤水的空间变异使得其不同部位受旱程度不同。红壤的这些水分循环特征更加剧了其季节性干旱。

红壤的土壤水分管理应从改良土壤结构和协调气候-土壤关系两方面入手,通过合理的耕作技术,改造土壤结构,扩大土壤有效水分库容,拦截和接纳更多的降水,通过建立合理的利用方式体系,引进深根系植物,利用深层土壤水分,或使表层土壤得到底层水分的补给,提高土壤水分利用率。

#### 参 考 文 献

- 1 席承藩(主编). 南方山区的出路. 北京: 科学出版社, 1990, 1—2

- 2 张桃林,赵其国,张斌.我国热带亚热带持续农业的土地利用管理.中国科学院红壤生态实验站主编.红壤生态系统研究(第二集).南昌:江西科学技术出版社.1993,1—7
- 3 鲁如坤.持久农业与红壤的开发利用.中国科学院红壤生态实验站主编.红壤生态系统研究(第二集).南昌:江西科学技术出版社.1993,8—15
- 4 Lai,R. Soil surface management in tropics for intensive landuse and high sustainable production. *Ad. in Soil Sci.*1986,5: 1—94
- 5 程云生,姚贤良等译.土壤及土质物理性质测定方法(А. Ф. Вегоник 等著).北京:科学出版社.1965
- 6 姚贤良,许秀云,于德芬.红壤的库容及其对抗旱性能的影响.见:中国科学院红壤生态实验站主编.红壤生态系统研究(第二集).南昌:江西科学技术出版社.1993,262—268
- 7 中国科学院林业土壤所.中国东土壤.北京:科学出版社.1990
- 8 中国科学院水土保持研究所等著.华北平原土壤.北京:科学出版社.1962
- 9 赵聚宝,梅旭荣.晋东南地区农田土壤水分状况及水分循环特征.中国农业科学,1992,25(6):1—8
- 10 姚贤良.我国红壤物理研究近况及展望.中国科学院南京土壤研究所编.李庆远与我国土壤科学的发展.南京:江苏科学出版社.1993,57—64
- 11 许秀云,姚贤良.红壤生态站土壤物理性质研究.土壤,1990,2:60—65
- 12 Garder W R. *et al.* Post irrigation movement of soil water, I, Redistribution. *Water Resources Res.* 1970,6(3):851—861
- 13 杨艳生.侵蚀土壤和某些物质的持水容量.水土保持学报,1990,1:73—79
- 14 庄季屏.土壤低吸力段持水性能及其与早期土壤干旱的关系研究.土壤学报,1986,23(4):306—313
- 15 陈志雄等.中国几种主要土壤的持水性质.土壤学报,1979,16(3):277—281
- 16 何园球.红壤丘陵水分养分循环特点与资源的合理利用.中国科学院红壤生态实验站主编.红壤生态系统研究(第二集).南昌:江西科学技术出版社.1993,216—223
- 17 何园球,王明珠.低丘红壤水动态与元素浓度特征.中国科学院红壤生态实验站主编.红壤生态系统研究(第一集).北京:科学出版社.1992,170—178
- 18 张斌,张桃林,翟玉顺.南方红壤区的农业景观特征与农业布局.长江流域资源与环境.1993,2(4):325—310
- 19 王明珠.红壤丘陵区生态环境退化及治理对策.中国科学院红壤生态实验站主编.红壤生态系统研究(第二集).南昌:江西科学技术出版社.1993,92—97
- 20 张斌,张桃林.新垦红壤旱地耕作制度的比较研究.中国科学院红壤生态实验站主编.红壤生态系统研究(第二集).南昌:江西科学技术出版社.1993,118—124
- 21 马渭俊,文化一.滇中高原红壤旱地水分平衡定位研究.土壤学报,1990,27(3):325—334

## CAUSE OF SEASONAL DRAUGHT FORMATION AND STRATEGY OF THE EASTERN HILLS IN SOUTHERN CHINA

Zhang Bin Zhang Taolin

(Institute of soil science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing, China, 210008)

Based on the analysis of water characteristics of red soil in hilly region and of relationship among the climate, soil and plant, the present paper reveals that the seasonal draught of the soils are due to the special soil water characteristics and the specific patterns of water movement under the integrated effects of local soil, plant and climate. The results show that, to avoid from or fight against seasonal draught in eastern hilly red soil region of South China, the soil water management should aim at ameliorating red soil structure and improving relationship of soil and climate through proper soil management techniques and establishing proper land use systems in order to use deep water in the soil. Besides, agroforestry techniques and mulching with minimum tillage have exerted a profound effect on the adjustment of soil water regime.

**Key words:** eastern hilly red soil region in South China, soil water physics, to avoid from or fight against drought.