

# 我国燥红土的水分状况及 节水农业利用研究\*

何毓蓉 黄成敏 张信宝

(中国科学院 成都山地灾害与环境研究所·成都市·610041)  
(水利部)

**摘 要** 研究了我国燥红土的土壤持水性和土壤水分物理性。通过对燥红土水分周年动态观测,分析了燥红土的土壤水分年循环规律,以水量平衡法研究了燥红土在湿润期向干少期转换的土壤水衰退过程。并以土壤有效水贮量为参数计算和分析了燥红土的有效供水与作物(玉米)需水间的耦合关系。指出拔节—抽穗是水分亏缺关键期。提出了抗旱沟耕作、砂石等覆盖法,调整作物种植期,适时集中灌溉,罐渗法等节水农作措施。

**关键词** 燥红土 土壤水分 节水农业

## Study on Soil Water Regime and Utilization on Water-Saving Agriculture in Dry Red Soils

He Yurong Huang Chengmin Zhang Xinbao

(Chengdu Institute of Mountain Disasters and Environment, Chinese Academy of  
Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu, 610041)

**Abstract** The paper dealt with the water retention capability of soil and the physical properties of soil water in dry red soils. According to the measurement of the soil water fluctuation, the author analysed the annual soil water cycle rules in dry red soils. By means of soil water balance method, the desorption process of soil water was studied during the period of udic moisture regime to xeric moisture regime. The coupled relationship between the supply of available soil water in dry red soil and demand of plant for water was determined with available soil water as parameter. Meanwhile, the author pointed out that the water deficiency of the plant was decided during the elongation and earsprouting stage. The water-saving practices were proposed, e. g. cultivation gully to fight drought, cultivated lands covered with sands and gravels, regulation stage, appropriate and collective irrigation and infiltration with pots.

**Key words** dry red soil soil water water-saving agriculture

① 收稿日期:1995—09—10

\* 国家“八五”攻关项目(85—910—01—04)之部分内容。

我国云南、海南等地区分布有一定面积的燥红土<sup>[1]</sup>。这类土壤处于红壤分布带内,受高山峡谷地形影响,发生焚风效应而出现干热气候和呈稀树灌草丛景观。形成了以燥红土为基带土壤的土壤谱系。在长达半年以上的旱季、严重的土壤侵蚀和土地荒漠化的影响下,使这一地区土壤肥力性状不良和退化。尤其是土壤水热不调,长时间的土壤水分干旱状况,成为本区农业发展最关键的限制因素。

迄今我国对于燥红土水分特性及其节水农业利用的研究还未开展。随着热区资源的深度开发在区域经济发展中占有日趋重要的地位,同时防治土地退化和改善生态环境愈渐紧迫,使这一研究具有显见的意义。本文以滇北元谋干热河谷区的燥红土为研究对象,试对其土壤持水性、土壤水分动态等及其节水农业利用措施和途径进行探讨。

## 1 研究区的自然环境概况

研究区地处滇中高原北部,金沙江南岸。除因断裂发育,间有如元谋、班果等断陷盆地分布外,大面积为强烈侵蚀切割的中低山和丘陵。在海拔1 200~1 400m也多有冲积或洪积阶地分布。

本区属热带季风气候,干湿季分明。年均气温21.9℃,年总积温8 552.7℃。年均雨量630.9mm,旱季从11月至翌年4月,雨季半年降雨量占全年90%以上。年均蒸发总量3 848mm(小型蒸发器测),以 Penman 公式计算的年干燥度达4.4。

区内自然植被多为耐旱、耐瘠的黄茅草(*Heteropogon Conortus*)、桔草(*Cymbopogon goeringit*)等草类;仙人掌(*Opuntia monacasntha*)、霸王鞭(*Euphorbia royleana*)等肉质刺灌丛以及散生的铁橡栎(*Quercus coceiferoides*)、木棉(*Bombax malabarica*)等乔木。植被生长稀疏,覆盖度很低,多<10%。由于热量条件好,在雨季及有灌溉保证的农地,多数作物也能生长。

本区燥红土主要发育在第四系沉积红土母质上,也有发育于古老地层的花岗岩、片麻岩等风化母质上。除燥红土外,在区内还分布有发育于第三系或第四系早更新世的泥质半成岩的变性土及砂质半成岩的薄层土等。

## 2 燥红土的基本性状特征

### 2.1 燥红土的主要类型及土壤构造特征

在研究区燥红土主要分布在海拔1 260~1 400m,多见于古红土阶地。主要分为普通燥红土和表蚀燥红土两亚类。

2.1.1 普通燥红土 分布地带多较为平坦,侵蚀强度稍小,植被生长状况较好。一般土层较为深厚,可达200cm以上,土壤剖面构造较完整。;表层0~20cm为弱腐殖质层(A<sub>1</sub>),较疏松,以粒状结构为主,多根系。亚表层20~40cm为淀积层(B),有少量粘粒和铁质胶膜,核状、块状结构为主,紧实,有少量根系。底层在40cm以下为母质层(C),无结构,极紧实,无根系。

2.1.2 表蚀燥红土 多分布在较高地形部位,或为较陡的坡地。由于强烈的侵蚀作用,表土流失殆尽,几乎无植被生长。土壤构造不全,活土层浅薄。表层多只有10~20cm厚,并多为原淀积层。紧实,有铁锰结核,无根系。表层以下即为母质层,坚硬,无结构。

### 2.2 燥红土的土壤基本性状

表1是燥红土的基本理化性状和养分含量。可以看出,燥红土容重偏高,土壤紧实。土壤中一般砂粒和粘粒占较大比重。土壤pH在4.8~5.4,酸性强。土壤有机质含量很低。表明燥红土的肥力是较差的。

表1 土壤的基本性状

土壤	土层深度 (cm)	容重 (g/cm <sup>3</sup> )	土粒组成(mm. %)			化学性状			营养性状			
			沙粒	粉粒	粘粒	pH	CaCO <sub>3</sub>	CEC	有机质	全氮	全磷	全钾
			2~0.050	0.05~0.002	<0.002	(H <sub>2</sub> O)	(g/kg)	cmol(+)/kg	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
普通	0~20	1.39	42.40	22.23	35.37	5.17	0	14.79	6.8	0.39	0.14	11.8
燥	20~40	1.53	33.60	44.57	21.83	5.37	0	18.06	5.0	0.44	0.15	15.1
红土	40~60	1.50	37.50	21.18	41.32	4.84	0	16.66	2.6	0.29	0.08	14.1
表蚀燥红土	0~20	1.43	50.52	11.66	37.82	4.78	0	14.84	4.2	0.34	0.16	12.4

### 3 燥红土的水分状况

#### 3.1 土壤持水性

土壤低吸力段(<100kPa)的持水性主要取决于土壤结构,同时这一段吸力下的土壤水是对植物最易吸取利用的有效性水分,因此在研究土壤水分特性、评价土壤供水能力等均有重要意义<sup>[2]</sup>。

采用自制的石英砂——陶土板水吸力装置,<sup>①</sup>测定了燥红土(原状土样)的持水曲线(图1)。

从表层土壤持水性比较,作为对照的普通薄层土,虽然其发育度低,土层薄,但因母质影响,砂粒适中,土壤结构性好,却表现出较好的持水性能。燥红土在各吸力下,土壤持水量均较普通薄层土低,而且在同一吸力段内,失水速度又较快,表明其持水性较差。普通燥红土的持水性能则较表蚀燥红土为好。

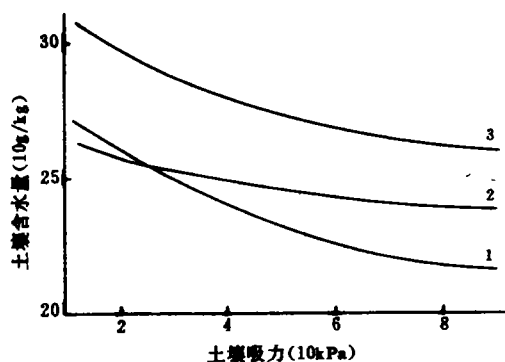


图1 燥红土的持水曲线

1—表蚀燥红土 2—普通燥红土 3—普通薄层土

#### 3.2 土壤水分物理性

采原状土样,以威尔科克斯法测定了燥红土的田间持水量。用处理为<1mm 粒径的风干土,以米契里西法,测定了土壤最大吸湿量。并计算求得土壤凋萎湿度和土壤的有效水含量等(表2)。

表2 燥红土水分物理性(单位 10g/kg)

土壤	土层深度 (cm)	总孔隙度 (%)	田间持水量 FC	阻滞含水 BCM	凋萎湿度 PWP	最大吸湿量 MH	有效水量		
							总量	易效	难效
普通	0~20	47.55	32.14	22.50	9.38	6.25	22.76	9.64	13.12
燥红土	20~40	42.26	26.36	18.45	14.12	9.41	12.24	7.91	4.33
表蚀燥红土	0~20	46.04	26.99	18.89	9.36	6.42	17.36	8.10	9.26

由测定结果可见,普通燥红土(表层)较表蚀燥红土的容重低,孔隙度高,结构性好,因而田间

① 参见黄成敏、何毓蓉,1993,元谋干热河谷区土壤水分及物理特性研究。

持水量较高,同时这两种土壤的凋萎湿度值相近,所以普通燥红土的有效水总量也较高。据测定,本区普通薄层土的田间持水量为 $30.99 \times 10\text{g/kg}$ ,有效水总量为 $28.68 \times 10\text{g/kg}$ 。所以,燥红土的水分物理性尚不如普通薄层土。

### 3.3 土壤水分年动态

为分析我国燥红土水分年循环规律,选点定位定时(每旬1~2次),分层(0~20cm, 20~40cm, 40~60cm土层)采样,以烘干法测定土壤自然含水量,进行了土壤水分动态观测。并同地同步观测了降雨量、蒸发量、蒸散量等。为减少除气象因子外的其它环境水文因素的影响,观测点选在地势稍高,无外来径流进入,以及地下水埋深在10m以下,无地下水补给等干扰的普通燥红土地内。

图2是普通燥红土不同层次土壤水分周年动态。观测年属正常偏湿润年型(年降雨量为798.5mm)。可以看出:(1)土壤水分干湿期分明。6月中、下旬至10月下旬或11月上旬为土壤水湿润期。11月上旬至翌年6月上旬为土壤水干少期。(2)在土壤水分湿润期中,各层土壤水贮量在田间持水量与凋萎湿度之间,多集中在植物生长阻滞含水量上下,因此这期间土壤有效水供贮量充足。(3)在土壤水干少期中,土壤水贮量处在凋萎湿度与植物生长阻滞含水量之间,且长时间在凋萎湿度以下。这期间土壤有效水贮量不能满足植物生长需要。(4)年内土壤剖面中,一般随深度增加,土壤含水量增大,表层土壤水贮量最低。(5)土壤对干湿季节变化的反应具滞后性。在干旱转雨季时(6月下旬至7月中旬)有一段土壤水分恢复补给期。在雨季转旱季时(11月中旬至12月中旬)有一段土壤水衰退期。

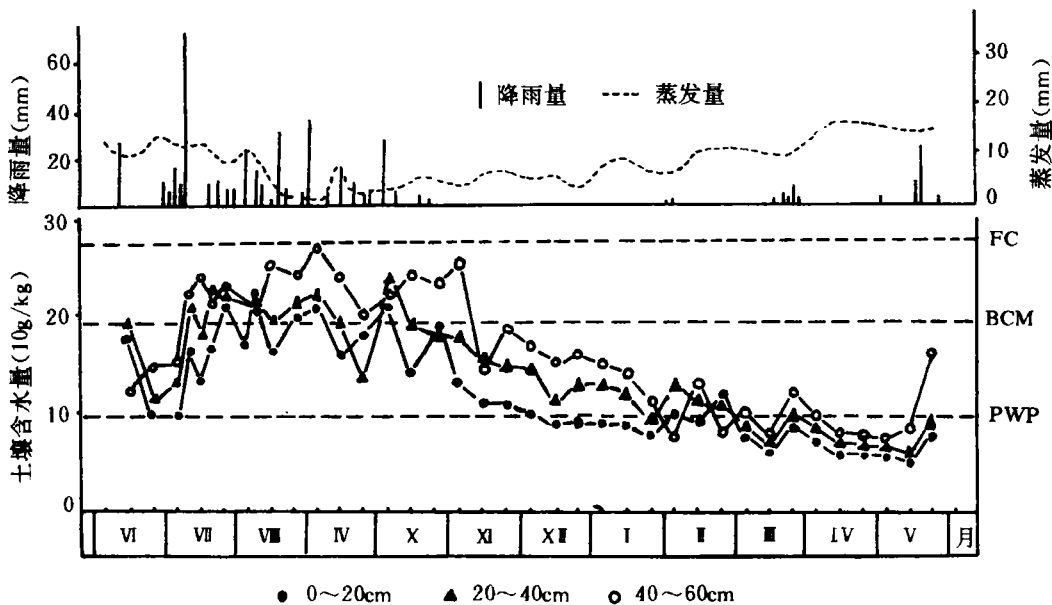


图2 燥红土土壤水分年动态(观测时间,1993.6~1994.5)

● 0~20cm ▲ 20~40cm ○ 40~60cm

### 3.4 土壤水分衰退过程

研究雨季向旱季转换时土壤水分的衰退过程,除在评价土壤耐旱性,研究土壤水运移规律等

有重要的意义外,对于生产上节水利用,合理安排种植计划等仍是必要的依据。

采用水量平衡法研究普通燥红土在湿润期向干少期转换时(10月下旬至翌年1月下旬),土壤水分衰退过程。

土壤水平衡方程过程:

$$dw/dt = It + f_t + D - P - Ea \quad (1)$$

式中:  $dw/dt$  ——土壤含水量的变化率,  $It$  ——在  $t$  时的灌水量,  $f_t$  —— $t$  时的降水入渗率,  $P$  ——土壤渗漏率,  $D$  ——地下水补给率,  $Ea$  ——土壤水蒸散率。在本项观测试验中,无降雨,  $f_t = 0$ ; 无灌溉,  $It = 0$ ; 无渗漏,  $P = 0$ ; 无地下水补给,  $D = 0$ , 故式(1)可简化为:

$$dw/dt = -Ea \quad (2)$$

由式(2)表明,在本观测试验条件下,单位时间土壤含水量的变化衰减过程等于土壤蒸散率。根据实测结果,得出普通燥红土的土壤水分含量与时间关系曲线,拟合得以下结果:

表层(0~20cm)拟合方程为:

$$W = 18.68t^{-0.172} (r = -0.98^{***}) \textcircled{1} \quad (3)$$

式中:  $W$  ——土壤含水量(10g/kg),  $t$  ——时间(日)。故得土壤水分衰减经验方程为:

$$-dw/dt = 3.21t^{-1.172} \quad (4)$$

亚表层(20~40cm)拟合方程为:

$$W = 18.08 - 0.09t (r = -0.91^{***}) \textcircled{1} \quad (5)$$

故土壤水分衰减率( $dw/dt$ )为一常数。

底层(40~60cm)拟合方程为:

$$W = 21.94 - 0.11t (r = -0.87^{**}) \textcircled{1} \quad (6)$$

故土壤水分衰减率( $dw/dt$ )也为常数。

上述结果表明:普通燥红土表层土壤水分衰减过程中,土壤含水量与时间的变化关系为幂函数关系,土壤水分含量随时间变化衰减剧烈。而在下层(<20cm 土层),土壤水分衰减过程中,土壤含水量与时间的变化及关系为直线关系,土壤水分含量随时间变化衰减较均匀。

## 4 燥红土的节水农业利用

### 4.1 土壤有效水贮量与作物需水量的关系

作物所能利用的土壤水分是其有效性部分。大气降水也需通过土壤,并补给后成为有效水分的部分供植物利用。因此在研究农田水量平衡时,应以土壤有效含水量为计算参数。

本文采用农田土壤水量平衡方程表述为:

$$FWS = I + f_a + D - P + WA_1 - WA_2 \quad (7)$$

式中:  $FWS$  ——农田有效供水量;  $WA_1, WA_2$  ——时段初和末的土壤根系层的有效水贮量;  $I$  ——时段灌水量;  $f_a$  ——时段有效降水量;  $P$  ——时段渗漏量;  $D$  ——为地下水补给量。在本观测试验条件下,  $I = 0, D = 0, P = 0$ , 故式(7)可简化为:

$$FWS = f_a + WA_1 - WA_2 \quad (8)$$

根据普通燥红土的水分动态观测结果,以式(8)计算其有效水供给量,与对应的作物(夏玉米)生育期需水量间进行耦合分析,结果如表3,作为对照的作物的生育期需水量<sup>[3]</sup>,在计算时已

①

$|r_{0.01}| = 0.7476, |r_{0.001}| = 0.8721$

考虑了作物耗水系数(或其倒数水分利用率),因此在保证作物正常生长而不计产量水平时,比较土壤有效供水量(包含有效降雨量在内)与作物需水量间的数量和时间的耦合关系是有意义的。结果表明:普通燥红土根系活动层(0~40cm)的有效水供给量和同期有效降雨量与作物全生育期的需水量间是基本平衡的。在作物多数生育期也能满足需要。但在拔节—抽穗期亏缺水分60.8mm,出苗—拔节期也略有不足。在抽穗期其产量的响应系数 $kg$ (即相对减产量与相对蒸散量亏缺之比)为1.5,而全生育期平均为1.25<sup>[3]</sup>。因此在雨季燥红土的有效水供给量仍在某些时段,甚至是作物对水分敏感的生育期贮量不足,对农作物的产量构成威胁。

表3 燥红土的土壤有效水贮量与作物需水量耦合关系

作物生育期 (夏玉米)	期 间		作物需水量(mm)			土壤有效水供给量(mm)			有效降 雨量 (mm)	总供 水量 (mm)	供需盈(+) 亏(-) (mm)
	月·日	日数	模系数 (%)	日耗 水量	生育期 耗水量	表层 (0~2cm)	亚表层 (20~40cm)	根系活动层 (0~40cm)			
播种—出苗	6.15~6.25	10	6.12	2.2	21.9	22.3	5.4	27.7	0	27.7	+5.8
出苗—拔节	6.25~7.9	14	15.56	4.0	55.7	-19.5	-30.6	-50.1	-93.6	43.5	-12.2
拔节—抽穗	7.9~7.25	15	23.41	5.6	83.7	-13.9	-3.0	-16.9	39.8	22.9	-60.8
抽穗—灌浆	7.25~8.15	21	27.81	4.7	99.5	16.7	9.2	25.9	74.2	100.1	-0.6
灌浆—蜡熟	8.15~9.5	20	19.17	3.4	68.6	-13.9	-9.2	-23.1	193.4	170.3	-101.7
蜡熟—成熟	9.5~9.15	10	7.93	2.8	28.4	13.9	9.2	23.1	10.0	33.1	+4.7
生育期	6.15~9.15	90	100.00	4.0	357.8	5.6	-19.0	-13.5	411.0	397.6	+39.8

## 4.2 节水农业利用途径

4.2.1 两养农业的节水利用 燥红土分布区90%以上旱地无灌溉条件。在这些农地内主要以充分利用自然降水,尽量减少无效蒸发来发展种植业。据以上研究结果,可采取下述措施:(1)抗旱沟种植。对土层较深厚的普通燥红土,采取挖筑0.8~1m宽,沟面距地表15~20cm深,沟内深松土30~40cm,沟间距0.5~0.8m的沿等高线的抗旱沟。在沟内种植各类作物。这种措施是通过改变地形,汇集水肥于沟内,沟内改土扩大土壤贮水量,提高土壤保水能力,从而达到增水和增产的效果。据干旱区紫色土试验,可提高土壤贮水量9.9%~49.6%,增产(玉米)(84.5%),

表4 燥红土上覆盖的保水效果

测定时间	5月27日	6月2日	6月9日	6月14日	6月18日	6月20日
无覆盖(CK)	26.5	43.3	101.3	101.7	92.7	88.0
草秆覆盖	42.5	44.5	91.2	96.5	105.0	107.6
(比对照增减)	+16.0	-1.2	-10.1	-5.2	+12.3	-19.6
薄膜覆盖	48.7	60.1	115.9	114.3	108.4	110.4
(比对照增减)	+22.2	+16.8	+14.6	+12.6	+15.7	+22.4
砂石覆盖	38.4	43.5	120.1	99.2	96.7	104.0
(比对照增减)	-11.9	+0.2	+18.8	-2.5	+4.0	+16.0

\* 观测时间:1995.5.27~6.20,测定土层0~20cm,贮水量,单位:mm

并可增加间套作物,增加经济收入<sup>[4]</sup>。(2)燥红土表层土壤水分衰退过程较其下层大。;在干湿季转换期和降雨间隔期,对作物生长也有较大影响。因此降低表层土壤水分衰减速度,达到节水增产效果对燥红土种植业十分必要。根据本研究试验,取当地薄层土的砂质半成岩母质碎屑,覆盖于燥红土表层,铺1~3cm厚,即可获得明显的抑制表层土壤水分衰减速度的效果,据测可减少表层土壤水分损失41.7%~161.1%。同时因就地取材,经济简便易行,值得推广。其它如草秆、地膜覆盖等措施也行之有效。(3)躲旱种植。在燥红土的土壤水分恢复补给期,虽然已进入雨季,但土壤水分的有效性低,不能满足作物需水。因此在安排种植时应躲过这段水分期。同时在燥红土的

土壤水分衰减之初,土壤水还保持一定的有效水贮量,而且热量条件也还能满足某些作物需求,如绿肥、蔬菜等。

4.2.2 灌溉农业的节水措施 燥红土分布的干热河谷区,水低山高,水资源缺乏。水利设施有限,灌溉面积很少。加强节水灌溉措施尤为重要。据以上研究结果,可采取下述措施:(1)适时定额灌溉。在作物生育期的水分关键期灌溉,如在本区6月下旬至7月下旬的缺水期施行定额灌溉。(2)省水灌溉措施。采用罐渗法,在燥红土果园应用已取得成效<sup>[5]</sup>。用水泥砂浆砌成砖罐,容积26L,埋于果树旁,渗水速度1.0~5.0L/d,即满足果树生长需要,又节约大量灌溉用水。设施简易,成本低廉、效果显著。是有希望的节水措施之一。其它节水灌溉措施如滴灌、喷灌等还有待试验研究。

承本所元谋水保站高维森、杨道杰等同志支持协助,一并致谢!

#### 参考文献

- 1 熊毅等.中国土壤(第二版).北京:科学出版社,1987,64~66
- 2 庄季屏等.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
- 3 信乃谗等.旱地农田水分状况与调控技术.北京:农业出版社,1992,275~280,419
- 4 何毓蓉.紫色土的水分状况与调控.中国紫色土(上),北京:科学出版社,1991,197,200
- 5 张信宝.罐渗节水灌溉试验研究取得实质性进展.科成报,1993,5,1

(上接第51页)

#### 参考文献

- 1 李庆远主编.中国红壤.北京:科学出版社,1983,254~259
- 2 湖南省气象局编.湖南气候,长沙:湖南科学技术出版社,1979
- 3 中国科学院南京土壤研究所主编.中国土壤.北京:科学出版社,1978,508~51
- 4 湖南省农业厅编著.湖南土壤.北京:农业出版社,1989,84~98
- 5 江西省土地利用管理局等编著.江西土壤.北京:中国农业科技出版社,1991,59~100
- 6 姚贤良、于德芬.土壤的物质性质及其生产意义.土壤学报,1982,19(3):224~236
- 7 古汉虎等编著.低产土壤改良,长沙:湖南科学技术出版社,1982,55~59