

福建赤红壤旱地土壤水分特性及调控^①

全 斌

陈健飞 郭成达

(集美大学信息工程学院信息科学系 厦门 361021) (福建师范大学地理科学学院)

摘 要 福建不同母岩上发育的赤红壤旱地土壤水总库容在熟化度大致相当的情况下相差不大。玄武岩上发育的赤红壤旱地贮水库容、有效水库容分别比花岗岩发育的赤红壤旱地贮水库容、有效水库容要高,前者的保水性强于后者。不同利用方式主要通过影响土壤的有机质状况及熟化度,进而影响土壤结构,导致土壤持水容量不同。赤红壤旱地的比水容量达到 10^{-2} 数量级在 $-10\text{kPa}\sim 30\text{kPa}$ 就开始出现,而红壤旱地出现在 -30kPa 以下,表明赤红壤旱地的失水速度快,保水供水性能弱于红壤旱地。为此,福建省赤红壤旱地土壤水分调控管理的方向和措施有:增加降水入渗、调整农业结构,采用复合农业技术、增施有机肥和改进灌溉等。

关键词 赤红壤;旱地;土壤水分;福建

赵其国曾指出:“水资源的合理利用,特别是提高土壤水资源综合利用率是解决我国粮食增产与农业可持续发展的一条重要途径”^[1]。从福建省来看,首先是在气候上,虽然降水丰沛,但干湿季分明,湿季降水过多,而干季水资源缺乏,易形成季节性干旱;其次赤红壤主要分布区的闽东南沿海水资源紧缺,人均占有量仅为 2236m^3 ,低于全国人均占有量(2700m^3),且农业用水定额偏高^[2]。闽东南地区是我省目前重点发展的规模特色农业带,在今后建设的过程中,水对于农业将日益显出重要作用。另据计算,该区耕地气候生产潜力为 $17\sim 22\text{t}/\text{hm}^2\cdot\text{a}$,目前实际产量仅为其一半左右,其中土壤水分亏缺,植物易受旱害是一个重要的限制因素。总之,水资源对于闽东南地区农业发展是一个制约因素。然而迄今,对福建旱地土壤水分的系统研究鲜为报道。因此,研究福建赤红壤旱地土壤水分问题及其管理对于深化本区土壤肥力特点的认识,进一步发挥土壤生产潜力,具有一定的重要意义。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

在漳浦赤湖选取4个土壤剖面作为赤红壤区的代表性剖面,其中Z1剖面为玄武岩发育的赤红壤上的果园土壤,Z2剖面为玄武岩发育的赤红壤上的菜园土壤,Z3剖面为花岗岩发育的赤红壤上的果园土壤,Z4剖面为花岗岩发育的赤红壤上的菜园土壤。该区赤红壤在中国土壤系统分类(修订方案)^[3]中,大致相当于干润富铁土及干润淋溶土,在美国土壤系统分类^[4]中,大致相当于半干润老成土及半干润淋溶土。在建瓯徐墩余厝选取3个土壤剖面作为红壤区的代表性剖面,其中J1剖面为花岗岩发育的红壤上的果园土壤,J2剖面为花岗岩发育的红壤上的农地(其上种梨瓜,水旱轮作),J3剖面为石英岩发育的红壤上的菜园土。该区红壤在中国土壤系统分类(修订方案)^[3]中,大致相当于湿润富铁土及湿润淋溶土,在美国土壤系统分类^[4]中,大致相当于湿润老成土。每个剖面分别按 $0\sim 25$, $25\sim 50$, $50\sim$

^① 基金项目:福建省教育厅科技项目(编号:JA00160)和国家自然科学基金重点项目(编号:49831004)的部分成果。

100cm 分层,采集理化分析样品,并用 50cm³ 环刀采集原状土样测定土壤水分特征曲线用。

1.2 测定方法

土壤水分采用压力膜法测定;有机质用重铬酸钾法测定;机械组成采用比重计法测定;土壤比重用比重瓶法测定;容重用环刀法测定。

2 结果与讨论

2.1 不同母岩发育的赤红壤旱地持水性差异

表 1 赤红壤旱地的主要物理性质及库容

剖面号	母岩及利用方式	土层深度 (cm)	容重 (g/cm ³)	粘粒 (%) (<0.002mm)	有机质 (g/kg)	总孔隙度 (%)	通气孔隙度 (%)	持水孔隙度 (%)	总库容 (mm)	贮水库容 (mm)	有效水库容 (mm)
Z1	玄武岩果园	0~25	1.16	38.2	24.9	58.1	26.9	31.2	145.3	78.0	28.7
		25~50	1.21	49.2	15.4	57.1	25.5	31.6	142.7	79.0	30.6
		50~100	1.10	53.2	14.9	61.3	30.5	30.8	306.4	154.0	51.7
		(0~100)*	1.14	48.5	17.5	59.5	28.4	31.1	594.4	311.0	111.0
Z2	玄武岩菜园	0~25	1.37	13.7	14.3	48.9	31.9	17.0	122.1	42.5	24.0
		25~50	1.65	25.2	9.7	35.8	9.6	26.2	89.5	65.6	22.7
		50~100	1.61	33.7	9.4	40.6	8.6	32.0	203.0	160.2	48.3
		(0~100)	1.56	26.6	10.7	41.5	14.7	26.8	414.6	268.3	95.0
Z3	花岗岩果园	0~25	1.59	7.7	5.2	39.5	29.8	9.7	98.9	24.2	8.7
		25~50	1.57	8.2	3.0	40.8	30.0	10.8	101.8	27.1	9.0
		50~100	1.56	34.2	8.1	42.4	11.0	31.4	212.2	156.8	18.7
		(0~100)	1.57	21.1	6.1	41.3	28.3	13.0	412.9	208.1	36.4
Z4	花岗岩菜园	0~25	1.33	8.2	11.7	49.2	38.4	10.8	123.1	26.9	7.6
		25~50	1.48	6.2	4.9	43.3	31.9	11.4	108.3	28.5	10.7
		50~100	1.74	11.7	3.0	34.1	16.5	17.6	170.4	88.0	21.8
		(0~100)	1.57	9.5	5.7	40.2	25.8	14.4	401.8	143.4	40.1

*0~100cm 土层的土壤性质,相对数值以土层厚度作权重加和,绝对数值直接累加。

供试赤红壤旱地的主要物理性质及库容如表 1 所示。0~100cm 土层总库容四个剖面中除 Z1 剖面(老果园)较高外,Z2、Z3、Z4 剖面都在 400~415mm 之间,体现不同母质上发育的赤红壤旱地总库容在熟化程度大致相当的情况下相差不大。但 Z1、Z2 剖面各土层贮水库容、有效水库容比 Z3、Z4 剖面相应土层都大,其中,0~25cm 土层贮水库容和有效水库容 Z1、Z2 剖面平均值分别为 Z3、Z4 剖面平均值的两倍以上。1m 土层内 Z1、Z2 剖面的贮水库容平均值和有效水库容平均值分别为 289.7mm、103mm,分别比 Z3、Z4 剖面的贮水库容平均值 175.8mm 和有效水库容平均值 38.3mm 各约大 100mm 和 60mm。这反映基性岩(玄武岩)上发育的赤红壤旱地贮水库容、有效水库容分别比在酸性岩(花岗岩)上发育的赤红壤旱地贮水库容、有效水库容要高,前者的保水性强于后者。这与它们的质地、有机质、容重等有关。基性岩发育的赤红壤与酸性岩发育的赤红壤相比,前者表层、心土层和底土层的粘粒分别为 26%、37% 和 44%,而后者相应为 8%、7% 和 23%,前者明显比后者粘重。由于在一定吸力范围内,质地愈细,持水量愈高^[5],因此,玄武岩上发育的 Z1、Z2 剖面贮水库容比花岗岩上发育的 Z3、Z4 剖面贮水库容要大。

有效水库容的差异与土壤质地、结构和有机质含量有关,其中,一定程度上土壤有效水含量与有机质含量成正相关。Z1、Z2 剖面比 Z3、Z4 剖面有机质含量较多,容重较低。前两个剖面有机质含量平均为 14.8g/kg,比后两个剖面平均值 5.98g/kg 大近 2 倍,这有利于改

善团聚体质量和孔隙度,促进形成良好土壤结构。已有研究^[6]认为,结构良好土壤的微团聚体由于各种孔隙度都增加,一方面使透水性增大,有利于土壤蓄水,另一方面也可改变某些水分常数的数值,使有效含水量增加。因此,玄武岩上发育的 Z1、Z2 剖面有效水库容比花岗岩上发育的 Z3、Z4 剖面有效水库容要大。

2.2 不同利用方式下的赤红壤旱地持水特征比较

Z1、Z2 剖面均发育在玄武岩母质上,但利用方式不同。从表 1 可见,Z1 剖面 0~1m 土层粘粒含量和有机质含量分别为 48.5% 和 17.5g/kg,均高于 Z2 剖面的 26.6% 和 10.7g/kg,实地调查 Z1 剖面所在的果园开垦种植 30 年以上,说明其熟化度较高,水分条件也优于 Z2 剖面。0~1m 土层的总库容、贮水库容和有效水库容,果园利用方式的 Z1 剖面比菜园利用方式的 Z2 剖面分别多 179.8mm、42.7mm 和 16mm,这反映了人为耕作对土壤贮水性能的影响。而 Z3、Z4 剖面均发育在花岗岩母质上,但 Z3 剖面 0~1m 土层内的总库容、贮水库容分别为 412.9mm 和 208.1mm,均高于 Z4 剖面的 401.8mm 和 143.4mm。这与 Z3 剖面粘粒含量较高有关。果园利用方式的 Z3 剖面 0~1m 土层粘粒含量平均为 21.1%,为菜园利用方式的 Z4 剖面粘粒含量 9.5% 的两倍多。一般来说,土壤贮水量与粘粒含量成正相关。可见,利用方式主要是通过影响旱地土壤的有机质含量和质地、结构状况而综合作用于土壤持水特性的。

2.3 赤红壤旱地各水势段的相对含水量

赤红壤旱地土体中各水势段释水量占总持水量的百分率称为各水势段的相对含水量。一般,0~-30kPa 水势段的含水量主要由毛管力所支配,运动能力强,有效程度高。表 2 可见,四个剖面 0~25、25~50cm 两土层 0~-30kPa 水势段的释水量均在 40% 以上,最高达 72.6%,这与旱地土壤表层、中层经耕作施肥使土壤孔隙发育有关。表 2 还显示,Z3、Z4 剖面 0~25、25~50cm 在 0~-30kPa 水势段的相对含水量高达 70% 左右,而 Z3、Z4 剖面 0~25、25~50cm 在 <-1500kPa 水势段的相对含水量较低,仅在 20% 上下,这与其土壤质地偏

表 2 不同利用方式下赤红壤旱地各水势段的相对含水量(%)

剖面号	利用方式	土层深度(cm)								
		0~25			25~50			50~100		
		土水势(-kPa)								
0~30	30~1500	<1500	0~30	30~1500	<1500	0~30	30~1500	<1500		
Z1	果园	43.7	20.7	35.6	43.3	21.9	34.8	42.1	19.4	38.4
Z2	菜园	58.9	23.2	17.9	41.8	20.1	38.1	30.4	20.9	48.6
Z3	果园	72.6	9.9	17.5	68.6	10.5	20.9	32.1	8.1	59.8
Z4	菜园	70.2	8.5	21.3	67.8	12.1	20.1	59.8	9.9	30.3

轻有关,这两个剖面 0~25、25~50cm 土层的砂粒含量都在 74% 以上,粘粒含量都在 10% 以下(表 1)。砂粒含量越多,0~-30kPa 的相对含水量越高,粘粒含量越多,0~-30kPa 的相对含水量越低。一方面这是由于类似砂土的土壤砂粒含量越多,土壤中大孔隙多,0~-30kPa 的相对含水量越高;另一方面,粘粒含量相对较少,土壤对水的吸持力下降,<-1500kPa 水势段的持水量减少,而 >-1500kPa 水势段的持水量则增加。从表 2 还可见,4 个剖面各层 -20~-1500kPa 水势段的相对含水量在 0~-1500kPa 水势段含水量中所占比例为最小,0~25cm 土层中 -30~-1500kPa(有效含水量)水势段相对含水量各剖面比例在 8.5~23.2% 之间,占不到 1/4,而在该层中 0~-30kPa 各剖面比例为 43.7~72.6%,<-1.5MPa 比例为 17.5~35.6%;同样地,在 25~50cm 和 50~100cm 土层中也表现出 -30

~1500kPa(有效含水量)水势段比例低这一特点,这是赤红壤旱地上作物易受旱害的重要原因。

2.4 赤红壤旱地的比水容量

比水容量表示单位吸力变化时单位质量土壤可释放或吸入的水量,它的大小在一定程度上可以反映土壤的释水性和供水能力。就植物生长而言,比水容量值大时,植物吸水就容易,土壤水分有效性也高。陈志雄等认为在看土壤的持水性时,应以比水容量为指标来反映土壤水分的有效性,而不能只着眼于土壤持水量的高低,也不能只着眼于土壤有效水量的多寡^[5]。赤红壤、红壤旱地水分特征曲线上的比水容量列于表3,从中不难看出其一般的趋势是,随着吸力增加土壤的比水容量迅速减少。赤红壤4个剖面比水容量达 10^{-2} 数量级在土水势-10kPa~-30kPa范围就开始出现,而红壤旱地(J1、J2、J3剖面)这一数量级一般出现在-30kPa以下,这表明赤红壤旱地的保水供水性能比红壤旱地相对弱。随着土水势下降,比水容量降到 10^{-3} 数量级各剖面出现土水势范围不一,Z1、Z2剖面土水势-500kPa~-1.5MPa间开始出现,Z3、Z4剖面在-100kPa~-300kPa间开始出现,可能与Z1、Z2剖面比Z3、Z4剖面粘粒含量较多而砂粒含量较少有关(表1),这说明,玄武岩发育的赤红壤旱地土壤(Z1、Z2剖面)比花岗岩发育的赤红壤旱地土壤(Z3、Z4剖面)供水持久性强,抗旱性好。但总的看来,赤红壤旱地的比水容量较小,植物易于吸收和利用的水分就少,且随含水量的下降而释水量愈加变少,每逢旱季到来时,赤红壤旱地上的作物易于受旱。

表3 赤红壤、红壤旱地不同水势段的比水容量*(ml/-kPa)

剖面	土层深度 (cm)	土水势(-kPa)						
		0~10	10~30	30~50	50~100	100~300	300~500	500~1500
Z1	0~25	2.27	7.5×10^{-2}	4.5×10^{-2}	1.6×10^{-2}	2.15×10^{-2}	2.5×10^{-2}	5×10^{-4}
	25~50	2.24	8.5×10^{-2}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	2.25×10^{-2}	2.3×10^{-2}	1.1×10^{-3}
	50~100	2.05	9.5×10^{-2}	9×10^{-2}	1.2×10^{-2}	2.1×10^{-2}	1.45×10^{-2}	8×10^{-4}
Z2	0~25	2.26	9×10^{-2}	5×10^{-2}	1.6×10^{-2}	2.05×10^{-2}	1.35×10^{-2}	1×10^{-3}
	25~50	1.76	6×10^{-2}	4×10^{-2}	2×10^{-2}	1.45×10^{-2}	1.6×10^{-2}	1.1×10^{-3}
	50~100	1.3	5×10^{-2}	3×10^{-2}	2.2×10^{-2}	1.55×10^{-2}	1.7×10^{-2}	1.4×10^{-3}
Z3	0~25	2.39	9.5×10^{-2}	4×10^{-2}	1×10^{-2}	0	4×10^{-3}	1.4×10^{-3}
	25~50	2.21	8×10^{-2}	3×10^{-2}	1.2×10^{-2}	1×10^{-3}	4.5×10^{-3}	1.3×10^{-3}
	50~100	1.36	6×10^{-2}	3.5×10^{-2}	1.4×10^{-2}	2×10^{-3}	3.5×10^{-3}	1.3×10^{-3}
Z4	0~25	2.4	7×10^{-2}	3×10^{-2}	1×10^{-2}	—	2×10^{-3}	1.9×10^{-3}
	25~50	2.13	1.35×10^{-2}	5×10^{-2}	1.2×10^{-2}	6×10^{-3}	2.5×10^{-3}	1×10^{-3}
	50~100	2.46	7.5×10^{-2}	1×10^{-2}	1.2×10^{-2}	4.5×10^{-3}	2.5×10^{-3}	1.4×10^{-3}
J1	0~25	4.2	1.95×10^{-1}	6.5×10^{-2}	3×10^{-2}	9.5×10^{-3}	5×10^{-3}	3×10^{-4}
	25~50	3.65	1.55×10^{-1}	6.5×10^{-2}	2.6×10^{-2}	1.25×10^{-2}	6.5×10^{-3}	3×10^{-4}
	50~100	1.04	2.1×10^{-1}	6×10^{-2}	2.8×10^{-2}	8.5×10^{-3}	9.5×10^{-3}	4×10^{-4}
J2	0~25	2.58	1.35×10^{-1}	4.5×10^{-2}	2×10^{-2}	1.25×10^{-2}	8.5×10^{-3}	5×10^{-4}
	25~50	4.5×10^{-1}	2×10^{-1}	6×10^{-2}	3×10^{-2}	1.35×10^{-2}	8×10^{-3}	2×10^{-4}
	50~100	1.29	1.95×10^{-1}	5.5×10^{-2}	3×10^{-2}	1.1×10^{-2}	7.5×10^{-3}	8×10^{-4}
J3	0~25	1.57	2.9×10^{-1}	6.5×10^{-2}	3.6×10^{-2}	1.85×10^{-2}	1.3×10^{-3}	1.5×10^{-3}
	25~50	1.66	1.6×10^{-1}	7×10^{-2}	2.6×10^{-2}	1.2×10^{-2}	7.5×10^{-3}	3×10^{-4}
	50~100	9.2×10^{-1}	2.25×10^{-1}	4×10^{-2}	2.6×10^{-2}	1.1×10^{-2}	9.5×10^{-3}	4×10^{-4}

* 比水容量按土壤水分特征曲线上的斜率公式 $d\theta/ds(\theta - \text{土壤含水量}, s - \text{土壤吸力})$ 计算而得,土壤含水量和土壤吸力由压力膜(板)法测定。

3 福建赤红壤旱地土壤水分调控管理

福建赤红壤旱地特殊的水分物理特性和气候上降水集中、降水变率大和季节性高温的特点是导致土壤季节性干旱的主要原因。因此,本区土壤水分管理首先应从协调气候-土壤关系入手,同时尽可能改善土壤的贮水性能,减少水分的无效消耗。具体措施主要有:

3.1 增加降水入渗

3.1.1 深松 由于赤红壤在高温多雨条件下,表层粘粒淋洗强烈,粘粒移动到下层,堵塞了下面的大孔隙,而降低了渗透速度。深松赤红壤 B 层,增加该层水分入渗速度,以拦蓄雨季降水是很有必要的。同时,深松能降低土壤容重,增大孔隙度,在雨季前深松可增加雨水入渗,使土壤接纳更多雨水。

3.1.2 拦蓄地表径流,充分利用降水资源 众所周知,森林植被对减少水土流失的功效是巨大的,因此,必须最大限度地提高地表植被覆盖率,充分发挥生物的水土保持和生物自肥作用,从根本上提高土壤的保水保土机能。为此,应根据赤红壤区各地的立地条件,合理安排适生树种草种,并采取有效措施,加速植被恢复。对心土层裸露的侵蚀赤红壤,要强化水土保持措施,实施工程措施与生物措施相结合,挖鱼鳞坑,水平沟截蓄地表径流,改善土壤水分状况。在此基础上,营造大叶相思、马尾松等耐旱耐瘠的先锋树种,播种豆科和禾本科绿肥牧草,如山毛豆、胡枝子、日本草等,迅速恢复地表覆盖,提高生物量,加速土壤有机质积累,提高保土培肥效果^[7]。

3.2 调整农业结构,采用复合农林业技术

3.2.1 发展立体农业 闽东南的地形特点是以山地丘陵为主,山地丘陵面积占全区面积约为 69%,其中海拔 480m 以下的丘陵占全区面积的 38.9%。根据这一地形特点,作物布局应改沟谷单一农作为坡地立体布局,这样,既能因土制宜,又可利用多年生乔灌木的强大根系吸收利用底层水分,如柑桔根系可深入 80~90cm 土层,使之从 1m 土体贮水库容中吸取水量,由一年生作物的 28.0% 提高到 36.3%,即能多利用有效水 33.7mm,相当于 337m³/ha,茶园根深 70~75cm,尽管茂密的枝叶会蒸腾大量土壤水,但由于其截住大气降水和防止土表蒸发,仍然能在土体中截蓄较多的水量^[8]。

3.2.2 采用复合农林业技术 复合农林业是指在同一土地单位上,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。坡地旱作、林果园内实施间作套种,多层配置,使高矮、生育期、营养需求不同的植物形成适生互补的共生群落,如在坡顶实行乔灌木结合,生物量比纯林、纯灌高 0.5~6 倍,地被覆盖率增加 10~40%,在坡地中部间、套种经济作物、药材,既能减少裸面,贮蓄水分,又能提高养分含量和光能利用率,增加经济效益 29~158%。据张斌等研究结果表明^[9],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,因此,可将林木引入农业土地利用中来,解放土壤季节性干旱问题。林木间套种花生^[8],比纯林、纯花生增加田间持水量 59~48g/kg,有效水 15~11g/kg,并缓冲地面水热状况,促进水肥效应。我们在建瓯三年的定点观测试验也表明^[10],柑桔园套种牧草、绿肥,比裸地果园减少水土流失,在干热季节保持较多的土壤水分。

3.3 增施有机肥

大量研究表明^[11~13],在湿热地区,施肥作物具有较强的抗旱能力,说明土壤有机质含量增多,可增加土壤含水量,提高水分利用率。这是因为增施有机肥一方面可改善土壤结

构,使土壤疏松多孔;另一方面,改变了土壤的胶体状况,使土壤吸附作用增强。这两方面都有利于土壤水分的保持,从而做到“以肥调水”。图1为赤红壤旱地有效含水量和有机质含量拟合曲线,随着土壤有机质含量的增高,土壤的有效含水量增加,两者呈线性关系,拟合方程为: $y=0.1961x+4.5406$,其中 y 为有效含水量(cm^3/cm^3), x 为有机质含量(g/kg),经F检验, $F=5.3>F_{0.05}=4.2$,说明方程的回归效果显著。可见,增施有机质肥是水管理的有效措施。其实施途径主要是:(1)大力发展绿肥生产;(2)通过积造优质农家肥,广辟有机肥源;(3)积极推广秸秆还田。

3.4 改进灌溉技术,加强水利建设

根据作物需水特性和降水的变化规律,进行适时、适量灌溉,同时积极发展喷灌、滴灌,提高灌溉水利用率。目前闽东南的灌溉耕地大都是采用地面灌溉,而喷灌、滴灌比一般的地面灌溉节水40~60%,且有明显的增产效益。据在桔园内进行自流微喷试验^[14],微喷能明显增加0~60cm土层中的土壤有效水含量,特别在无降雨时更加明显,能在一定程度上缓解季节性干旱。滴灌是一种新型节水灌溉技术,据研究认为^[15],蔬菜滴灌能消除叶片水分亏缺;果菜滴灌可增产幅度15.1~54.9%,且提高了品质。福建赤红壤区山地丘陵面积比重较大,更有必要在果茶基地和经济作物区发展喷灌和滴灌新技术,在有条件的平原地区应逐步改漫灌为管灌,以降低灌溉定额,提高灌溉利用系数。此外,因地制宜地修建一批调蓄能力较大的水利工程,特别是跨流域、跨地区的调水工程,对于从宏观上解决资源性缺水问题也是很有必要的。

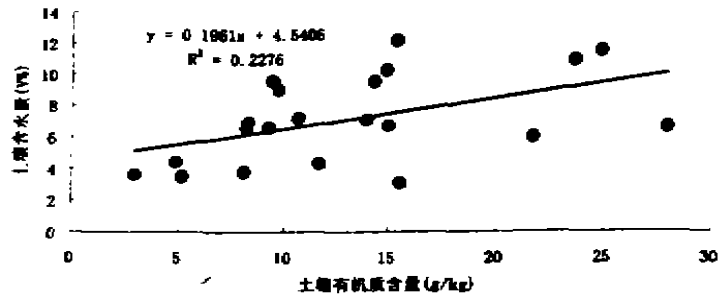


图1 赤红壤旱地有效含水量和有机质含量拟合曲线

4 结语

研究表明,不同母质上发育的赤红壤旱地土壤水总库容在熟化程度大致相当的情况下相差不大;基性岩(玄武岩)上发育的赤红壤旱地贮水库容、有效水库容分别比在酸性岩(花岗岩)上发育的赤红壤旱地贮水库容、有效水库容高,说明前者的保水性强于后者。不同利用方式也会导致旱地土壤持水量不同,它主要通过影响旱地土壤的熟化度或有机质状况,从而改善土壤结构而作用于土壤水分特性。赤红壤旱地的比水容量达到 10^2 数量级的难效水在 $-10\text{kPa} \sim -30\text{kPa}$ 就开始出现,而红壤旱地出现在 -30kPa 以下,这些说明赤红壤旱地的失水速度快,保水供水性能弱于红壤旱地。根据赤红壤旱地的特殊的水分物理性质和气候条件,提出了深松、拦蓄降水、采用农林复合技术、增施有机肥及改进灌溉技术等调控措施。

参 考 文 献

- 1 赵其国. 现代土壤学与农业持续发展. 土壤学报, 1996, 33(1): 1~11
- 2 林惠花, 林其东. 福建沿海地区水资源紧缺问题及其解决途径. 台湾海峡, 1998, 17(4): 402~407

- 3 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组. 中国土壤系统分类课题研究协作组. 中国土壤系统分类(修订方案). 北京: 中国农业科技出版社, 1995
- 4 Soil Survey Staff. Keys to Soil Taxonomy (8th ed). Washington: USDA-NRCS, 1998
- 5 陈志雄, 汪仁真. 中国几种主要土壤的持水性质. 土壤学报, 1979, (16)3: 277~281
- 6 琚中和, 刘勋. 红壤水分特征的初步研究. 土壤通报, 1980, (3): 8~12
- 7 福建土壤普查办公室编. 福建土壤. 福州: 福建科学技术出版社, 1991, 362~365
- 8 王明珠等. 低丘红壤区水资源的时空变异及综合开发利用, 见: 中国科学院红壤生态站编. 红壤生态系统研究(第三集). 北京: 中国农业科技出版社, 1995, 243~282
- 9 张斌, 张桃林. 南方东部丘陵地区季节性干旱成因及其对策研究. 生态学报, 1995, 15(4): 413~419
- 10 Jianfei Chen. Effects of different planting patterns in hilly orchard on soil ecological environment. In: Zhihong Cao. Soil, Human and Environment Interactions. China Science and Technology Press, 1998, 66~70
- 11 李志杰等. 培肥提高水分利用率及其在持续农业中的作用, 见: 现代土壤科学研究. 北京: 中国农业科技出版社, 1994, 150~153
- 12 王殿武等. 冀西北高原旱作农田土壤水分动态与提高水分作物生产力研究. 土壤学报, 1999, 30(1): 7~10
- 13 Henry D. Forth Fundamentals of Soil Science (sixth edition). New York: John Wiley & Sons, 1978: P. 94~95
- 14 姚贤良. 红壤水问题及其管理. 土壤学报, 1996, 33(1): 13~20
- 15 杨金楼等. 设施园艺滴灌应用技术研究. 土壤物理与农业持续发展, 1995, 76~86

★★★
(上接第 231 页)

这一危险水平显然受一系列因素的影响, 包括土壤性质、地形、雨量等。特别应提到施磷后的时间。如果在施磷后立即遇到大雨, 这一危险水平就低得多。本文水溶磷水平是在施磷 60 天后的结果。

3. 尽管目前大部分红壤区土壤(旱地和水田)在现有土壤有效磷水平下还不至于因面源磷造成水体污染。但在冲积土区, 在城郊蔬菜种植地区这一威胁已实际存在。因为在上述地区已有相当部分土壤有效磷水平达到或接近危险水平, 少部分甚至超过。这就是为什么土壤磷的积累, 面源磷对水体的影响, 应该提上日程的原因。

参 考 文 献

- 1 鲁如坤, 时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施 I. 退化状况评价及酸害纠正措施. 土壤, 2000, 32(4): 198~200
- 2 鲁如坤, 时正元. 退化红壤肥力障碍特征及重建措施 II. 磷、氮、钾库重建措施. 土壤, 2000, 32(6): 310~314
- 3 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- 4 鲁如坤等. 我国南方 6 省农田养分平衡现状评价及动态变化研究. 中国农业科学, 2000, 32(22): 63~67
- 5 Edwards A. C. et al. Proc. The fert. soc. 1997, No 404.
- 6 Sharpley, A. N. et al. JEQ 1994 23: 437~451
- 7 Lyons J. b. et al. JEQ 1998 27: 895~903
- 8 Johnston, A. E. Proc. fertilizer soc. 1997, No 396
- 9 Foy, R. H. et al. Proc fertilizer soc. 1995, No 365
- 10 Sharpley, A. N. et al. JEQ 1994, 23. 437