

土壤结构特性与农田水分管理

赵炳梓 徐富安

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本文研究了河南封丘地区的潮土及江西余江县第四纪红色粘土上发育的红壤的基本结构特性,包括颗粒特性、结构稳定性及孔隙性等。并结合当地气候条件,探讨了潮土和红壤在水分管理方法上不同的原因,为减轻干旱、提高降水利用率提供理论依据。

由于受东南季风的影响,我国东部地区降水的季节分布很不均衡,季节性干旱现象时有发生。华北地区的春旱及华中丘陵地区伏、秋旱常成为限制这些地区作物产量的主要因素。在雨季,增加土壤入渗水量,改善土壤持水特性,减少地表蒸发损耗,提高降水利用率,对减轻干旱造成的危害具有重要意义。然而,土壤的持水性、渗透性、保水性均与土壤的结构特性密切相关(如土壤的孔隙组成及其稳定性)。为了阐明不同土壤结构特性与农田水分管理技术之间的关系,我们选用河南封丘地区的潮土和江西余江县的第四纪红色粘土上发育的红壤进行了初步研究。

一、气候特征与土壤结构特性

(一)气候特征

表1资料表明,封丘地区的年总蒸发量超过年总降水量的3倍。其降水的59%集中在七、八、九3个月;三、四、五3个月的降雨较少,且春季大风日数多(平均有9天),风速平均达3.7至4.5米/秒。三一五月份蒸发量为降雨量的5.9倍,春季干旱平均10年8—9遇。此时华北地区冬小麦正处于返青—成熟阶段,是小麦需水关键时期。据我们1990—1991年在该地区试验,从三月初到五月底小麦耗水量(221.1毫米)占小麦总耗水量的59%。而同期的降水量仅为100毫米左右。小麦需水量和降水量之间的矛盾十分突出。为了增加小麦产量,提高土壤的

表 1 历年平均降雨及蒸发量(毫米)

地点	项目	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12												年平均
		(月 份)												
封丘县	降雨量	4.4	8.5	22.3	42.8	34.5	72.5	172.9	113.9	75.1	39.7	21.9	6.7	615.1
	蒸发量	61.4	80.1	135.4	196.0	256.7	323.8	210.9	180.8	146.6	122.9	78.9	63.9	1857.4
余江县	降雨量	73.1	132.2	186.8	264.1	299.9	292.0	125.6	118.5	85.6	70.6	60.1	56.6	1765.1
	蒸发量	44	46	70	108	124	140	232	208	110	108	70	48	1338.0

注:表中封丘县的数据摘自“封丘县综合农业区划”(河南省封丘县农业区划委员会办公室编,1984);余江县的摘自“余江县土壤”(江西省余江县土壤普查办公室编,1986)。

保墒能力及增加雨季期间的土壤水分入渗量就显得特别重要。

余江县地处亚热带湿润区，该区年降水量大于蒸发量。一至六月的降雨量为蒸发量的1.7至2.9倍，春雨丰富；然而，七、八、九3个月的降雨量只占全年降雨量的18.7%，但此时正值高温季节，极端最高气温可达40.5℃*，红壤裸地表土温度可达70℃**，至使地面蒸散作用强烈，常使该区发生严重的伏、秋旱。这是红壤地区柑桔、油桐和花生等经济林果作物产量不能稳定的重要原因。目前，红壤地区山塘水库不足，地面蓄水多用于水稻栽培。因此，如何增加土壤蓄水库容，增加雨季水分的利用率，对增加红壤旱地经济作物产量具有重要意义。

(二)土壤结构特性

土壤颗粒(单粒与复粒)的大小，各粒级的组成比例、排列方式及其稳定性，将左右土壤的渗透性、持水量、土壤水的运动速率和蒸发耗水的速率。对土壤结构特性的了解，有助于人们对不同性状土壤采取不同的水分管理技术。

1. 土壤颗粒特性：供试潮土主要由黄河冲积物发育而成。耕层土壤砂粒含量在60%以上，为轻壤土。底层土壤粉粒高达74—82%，粘粒含量均较低，耕层底下有一夹粘层，其粘粒含量较高(表2)。此类质地剖面土壤在当地较有代表性。潮土土质疏松，土层深厚，具有良好的储水性能。由于具有轻质的耕层和底土，其凋萎含水量低，土壤的有效水含量高。夹粘层的粘粒含量虽达35%，但该层土体垒结并不致密，多裂隙和孔隙，并不影响根系穿扎和水分下渗。

表2 供试土壤的剖面颗粒组成*(%)

供试土壤	剖面层次	土层深度(厘米)	砂粒 1—0.05 (毫米)	粉粒 0.05—0.001 (毫米)	粘粒 <0.001 (毫米)	质地	容 量 (兆克/米 ³)
潮 土	表耕层A ₁	0—10	66.28	26.29	7.44	轻壤土	1.309
	亚耕层A ₂	10—34	62.26	28.26	9.49	轻壤土	1.535
	夹粘层B ₁	34—66	4.07	61.07	34.86	重粘土	1.379
	心土层B ₂	66—90	0.60	82.26	17.16	中粘土	1.448
	底土层C	>90	20.85	74.11	5.05	紫砂土	1.461
红 壤	新耕层A ₁ **	0—21	21.07	40.07	38.87	重壤土	1.284
	原耕层A ₂	21—36	16.06	45.79	38.16	轻粘土	1.122
	心土层B	36—110	15.12	42.12	42.76	轻粘土	1.317
	网纹层C	119—163	14.56	42.46	42.99	轻粘土	1.410

* 红壤110—119厘米为砾石层，下同。

** 平整土地时，新覆盖上去的土层，为原底土，下同。

采于余江县刘家站的红壤发育于第四纪红色粘土，由于高度风化，整个剖面的粘粒含量均较高，从上至下的变化范围为38—43%，致使土壤的凋萎含水量较高。

2. 土壤结构及其稳定性：测试结果表明，潮土中水稳性团聚体含量不高。其中>0.25毫米水稳性团聚体含量只有15.0%。潮土有机质含量(耕层仅为7.8克/千克)和粘粒含量均低，颗粒间缺乏胶结物质，结构体稳定性差。而红壤>0.25毫米水稳性团聚体含量却高达56.7%，其0.25—0.01毫米微团聚体含量为91.2%。99.2%的粘粒已团聚成各级水稳性微团聚体和大团聚体。这是由于红壤虽然粘粒含量高，但它富含铁、铝三氧化二物，粘粒之间的

* 江西省余江县土壤普查办公室，余江县土壤，1986。

** 姚贤良等，低丘红壤的水热状况及其生产意义(资料)，1991。

内聚力和三氧化二物凝胶粘结而形成大量稳定性的土壤团聚体。而大量稳定性土壤团聚体的存在,使土壤表现出“假砂”结构,在土壤通透等性质上表现出类似砂土的特征^[1, 2]。

3. 孔隙性:潮土和红壤的孔隙大小分配列于表3。潮土表层砂粒含量高,适于通透的传导孔隙含量高达20.4%,而紧砂质的底土层和砂粘过渡层(B₂)储存孔隙达25.6—39.2%,保水能力很强。耕层下面的夹粘层,传导孔隙含量仍达10.8%,具有一定通透性能,能将雨季下渗水分保蓄于底层。由于该层细孔隙含量高达28.3%,当土壤吸力稍有提高时,其不饱和导水率将迅速下降,因此,该土层又能起到保蓄下层水分的作用。从上述资料可以看出,潮土具有良好的质地层次搭配,灌溉水和自然降水的入渗和保蓄性能均较好。

表 3 供试土壤的孔隙大小分配*

供试土壤	剖面层次	土层深度 (厘米)	总孔隙度 (%)	传导孔隙 (>50微米) (%)	储存孔隙 (50-0.5微米) (%)	残留孔隙 (<0.5微米) (%)
潮 土	表耕层A ₁	0—10	50.6	20.4	22.6	7.6
	亚耕层A ₂	10—34	42.1	11.8	20.6	9.7
	夹粘层B ₁	34—66	48.0	10.8	8.8	28.3
	心土层B ₂	66—90	45.4	0	25.6	19.8
	底土层C	>90	44.9	0	39.2	5.7
红 壤	新耕层A ₁	0—21	51.5	12.1	18.1	21.3
	原耕层A ₂	21—36	57.7	23.4	14.3	20.0
	心土层B	36—110	50.3	11.1	11.7	27.5
	网纹层C	119—163	46.8	4.2	8.8	33.8

* 孔隙分类按Greenland(1977)[3]。

红壤由于具有大量水稳性微团聚体和大团聚体,其耕层传导孔隙可达12.1~23.4%。心土层亦有11.1%可供传导的大孔隙。但是,红壤具有的储存孔隙数量较低,而残留孔隙数量较高。下层土壤残留孔隙可占总孔隙度的55—72%。土壤中无效贮水量所占比例将明显高于潮土。

从两个供试土壤的气候条件与土壤结构特性综合来看,潮土具有良好的入渗和贮水性能,但降水不足,应注意合理灌溉和增加保墒措施。而余江县红壤雨水虽充足(年降水量达1700毫米以上),但土壤有效储水性能较差。应注意保护、改善表土结构以增加雨水入渗。并应采取扩充土壤贮水库容,以增加雨季水分的蓄存和利用。

二、土壤水分管理

(一)增加降水入渗

由于华北地区水源紧缺,华中丘陵岗地也大多缺少灌溉条件。因此,尽可能多地接纳和保蓄雨水,减少地表径流,促进降水就地入渗,提高雨水利用率,对这两个地区都是非常重要的。

潮土的A₁、A₂层比较疏松,渗透速度分别为1.06和1.11毫米/分; B₁粘土层,尽管粘粒含量高达34.86%,但土壤结构较好,并有许多小裂隙和蚯蚓洞,其渗透速度可达2.23毫米/分,远远超过耕层。B₂层渗透速度只有0.46毫米/分,而紧砂土层又增至2.22毫米/分。可见,在潮土上要增加降水入渗,关键在于保持耕层疏松状态。轻壤质土易在干湿交替中沉实变紧。据我们测定,扰动土经多次干湿交替后,透水性降为0.67毫米/分,而保持疏松状态土壤,则

为1.84毫米/分。二者相差2.7倍。

旱地红壤表层也比较疏松,渗透速度约为1.16毫米/分。但B层垒结较紧实,渗透速度只有0.15毫米/分,仅为耕层的1/7,这可能是由于红壤在高温多雨条件下,表层粘粒的淋溶强烈,粘粒移动到下层,堵塞了下面的大孔隙,而降低了渗透速度。C层为网纹层,结构体之间有裂隙,渗透速度可达0.97毫米/分。看来,深松红壤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。

土壤水分入渗能力还与耕作利用方式有关。据测定,红壤牧草区的土壤渗透速度为1.16毫米/分;而在种植马尾松的坡地上其表土渗透速度只有0.18毫米/分。这可能与当地多暴雨,表土结构常遭雨滴打击而破坏^[4],以及与频繁的干湿交替而形成的结壳有关。据观察,该坡地表层生有青苔的结壳,表面十分光滑,极不利于透水。可见,长期不耕作的红壤荒地或只稀疏生长马尾松的红壤林地是不利于拦蓄雨水的。若在丘陵坡地上采取等高、条带状林草间作方式,则有利于增加雨季水分的入渗。

(二)增加土壤持水能力

潮土与红壤的持水性能(表4)有显著的差异,而且这种差异越向底层越明显。例如,在0—34厘米土层,潮土和红壤的有效水贮量分别为60.6和52.8毫米,差异较小;而在100—200厘米土层,则分别为394.3和107.9毫米,差异显著。

潮土在0—200厘米内,有效水贮量为591.8毫米,几乎可储存全年降水量,它远远大于红壤的234.0毫米有效贮水量。这与土壤的颗粒组成和排列有关。因为田间持水量和凋萎含水量均随质地变细而逐渐增大,但凋萎含水量随质地变细增大的速率大于田间持水量,这样有效水含量在以粉砂为主的中质土壤中达最大值^[5]。潮土90厘米以下为紧砂土,田间持水量接近饱和含水量,有效含水量高达270克/千克。而红壤的底土为网纹层,垒结十分致密,致使有效水含量更低。红壤低的有效持水量与三一六月份雨季的丰富降水量之间不能协调。增加底土的储水库容,看来是缓解七—九月份干旱危害的途径之一。

表4 供试土壤的持水特性

土 壤	剖面层次	土层深度 (厘米)	饱 和 含水量 (克/千克)	田 间 持水量 (克/千克)	凋 萎 含水量 (克/千克)	有 效 含水量 (克/千克)	0—200厘米 有效水贮量 (毫米)
潮 土	表耕层A ₁	0—10	386.5	189.1	50.3	138.8	18.17
	亚耕层A ₂	10—34	274.1	169.7	54.5	115.2	42.44
	夹粘层B ₁	34—66	347.6	258.2	185.4	72.9	32.13
	心土层B ₂	66—90	313.3	313.0	125.1	187.9	65.30
	底土层C	90—200	307.1	304.6	34.7	269.9	433.76
红 壤	新耕层A ₁	0—21	401.4	276.8	147.8	129.0	34.78
	原耕层A ₂	21—36	513.6	282.9	159.6	123.3	20.75
	心土层B	36—110	381.9	285.2	190.2	95.0	92.59
	网纹层C	119—200	331.8	294.6	219.4	75.2	85.89

目前,红壤地区主要通过深耕深翻增加土壤容水量。人们在种植柑桔、油桐等经济作物前,采用挖掘深80—90厘米,宽100厘米左右深壕,并分层增施有机肥、垃圾的方法,以增大土壤的持水容量和入渗水量^[6, 7]。使当年油桐株高可达156—172厘米,比对照高出31—34厘米^[6]。可延长柑桔抗旱时间14天^[7]。

深翻的效果及其持续效益与土壤结构的稳定性有密切关系。在第四纪红色粘土上发育的红壤,含有大量稳定性大团聚体和微团聚体,土壤深翻后,其改善后的土壤孔隙性将维持较

表 5

扰动对供试土壤某些性质的影响

供试土壤	原 状 土			扰 动 土			扰动土干湿交替后*		
	容 重 (兆克/米 ³)	总孔隙度 (%)	饱和含水量 (克/千克)	容 重 (兆克/米 ³)	总孔隙度 (%)	饱和含水量 (克/千克)	容 重 (兆克/米 ³)	总孔隙度 (%)	饱和含水量 (克/千克)
潮 土	1.31	50.6	387	1.28	51.6	402	1.54	41.9	272
红 壤	1.28	51.5	401	1.03	61.3	598	1.09	59.1	544

* 干湿交替次数：潮土半年内16次；红壤半年内14次。

久。我们曾在盆钵里(装土6千克)对这两种土进行模拟试验,其结果如表5所示。供试土壤经扰动后,其土壤总孔隙度均有增加。但红壤扰动后所增加的总孔隙量(9.8%)远大于轻壤质的潮土。扰动土经半年的干湿交替变化后,潮土总孔隙度降低9.7%,饱和含水量降低130克/千克;相比之下,红壤扰动土经半年干湿交替后,变化就比较少,总孔隙度减少2.3%,饱和含水量减少54克/千克,这是由土壤结构稳定性不同引起的。潮土中>0.25毫米的水稳性团聚体含量只有15.0%,结构不稳定,干湿交替过程中所含大量砂粒间易滑动而排列致密。据观察,对潮土实施深翻扰动后,其透水性反而比未扰动土壤下降了28.6%。深翻扰动破坏了原有贯穿土层中的大孔隙,而在灌溉沉实后,土壤渗透性就不如未扰动者。具有大量水稳性团聚体的红壤,深耕改土后将有很好的效果和持效性。以上资料表明,各地采取深耕措施时必须考虑到土壤结构稳定性问题。

(三)疏松表土的保墒效果

为了了解松土对提高潮土和红壤上的保墒能力的效果,我们在温室进行了盆栽试验,试验以结构改良剂聚丙烯酰胺(PAM)和水解聚丙烯腈(HPAN)作为疏松土壤的材料,试验结果如图1所示。总的看来,结构改良剂PAM和HPAN在潮土上的保墒效果大于在红壤上的效果。在潮土上PAM的保水效果比HPAN的好一些。在9月30日到10月9日的开始阶段,各处理的水分含量都很高,差异不明显。以后随着含水量的降低,差异越来越显著。对照在10月11日土水吸力即已达79KPa,而HPAN和PAM分别到10月17日和10月21日才达到79KPa,比对照分别延迟干旱时间6天和10天;而红壤从试验开始到土壤吸力达79KPa的期间,各处理间差异均不明显。因为改良剂施用后对潮土和红壤的孔隙组成影响不同。表6资料表明,改良剂对两种土壤的贮存孔隙和残留孔隙几乎均无影响。在潮土上传导孔隙明显增加,从对照的小于6.9%上升到改良剂处理后的23%以上;粗孔隙的显著增加,当土壤含水量下降时,由毛细作用引起的蒸发耗水就明显减少,保墒效果好。而在结构较稳定的红壤上,对照和改良剂处理的传导孔隙都达20%以上,对蒸发影响不甚显著。

观察还表明,疏松表土的保墒作用并不是在整个作物生育期都是相同的,表7资料表明,在冬小麦冬前生长阶段,这时土壤含水量较高达220—164千克/克,表层覆盖松土有明显的保墒效果,它比对照平均日耗水量减少0.26毫米。进入越冬期后,含水量下降,土壤水分仍在损耗。观察表明,这一时期表层松土处理的日耗水量反比对照高出0.10毫米,以后随着含水量的进一步降低,与对照的差异逐渐减少。这是由于冬小麦播种时气温较高,当时土壤含水量接近田间持水量,土体蒸发强烈。PAM处理后形成许多大孔隙,阻碍了毛管水向上快

表 6 两种改良剂对供试土壤孔隙数量的影响

改良剂	(%)					
	潮 土			红 壤		
	传导孔隙	贮存孔隙	残留孔隙	传导孔隙	贮存孔隙	残留孔隙
CK	6.9	27.1	8.7	20.6	17.4	18.9
PAM	23.3	23.7	7.0	27.4	14.6	17.7
HPAN	25.8	22.6	6.8	25.7	16.0	17.8

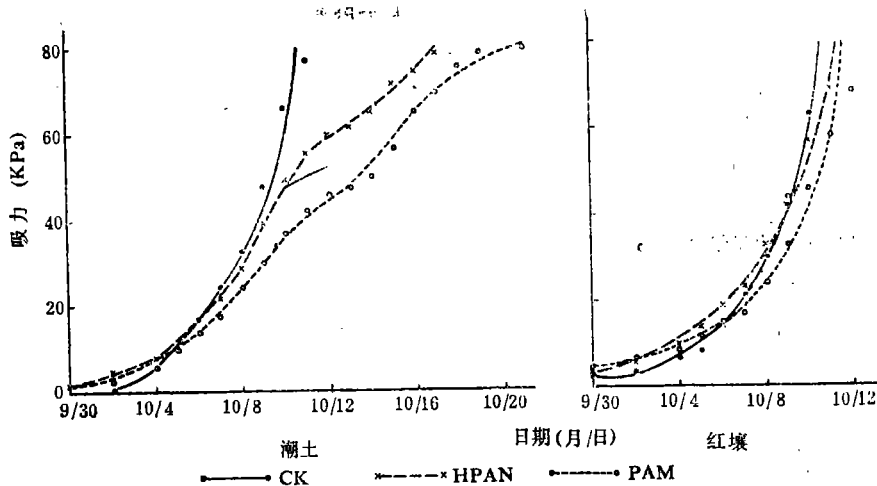


图1 两种改良剂对供试土壤的水分吸力动态的影响

表7 经PAM处理的潮土上冬小麦各生育阶段的耗水量 (毫米)

处 理	播种—越冬 (10月11日—11月16日)		越冬—返青 (11月16日—3月5日)		返青—拔节 (3月5日—4月13日)		拔节—成熟 (4月13日—6月5日)	
	总耗水量	日耗水量	总耗水量	日耗水量	总耗水量	日耗水量	总耗水量	日耗水量
对 照	72.3	2.07	48.4	0.44	23.1	0.59	7.6	0.14
0—8厘米 施加0.05%PAM	63.3	1.81	59.7	0.55	21.2	0.54	2.7	0.05

注：①试验在埋于田间的有底铅筒中进行。筒的直径31厘米，高47厘米(埋入土中42厘米)。装土50公斤，土柱高4²厘米。PAM处理者表土0—8厘米施用占干土重万分之五的聚丙烯酰胺。试验开始时土壤水分含量为22%，达田间持水量。

②试验时间：1990—1991年。

速运行，水分损失减少。进入越冬期，含水量进一步下降后，水分损失中气态损失所占的比重日益上升。该地区冬季多风，水分易以气态形式从大孔隙扩散到大气，PAM 疏松表土层的存在反而不利于保墒。这种损耗亦不可轻视。可见，疏松表土的保墒效果因条件而异，它与土壤墒情及当地风速、相对湿度等大气因素有关。因此，对潮土表土的松紧状态应根据当时当地具体情况予以调节和管理。含水量高时，中耕松土有保墒作用；而含水量较低的越冬期，表土镇压反而能起到保墒作用。

参 考 文 献

- [1] 陆景岗, 红壤结构的田间观察及初步分析, 土壤学报, 16卷, 第1期, 63—69页, 1979.
- [2] 姚贤良等, 红壤的物理性质及其生产意义, 土壤学报, 19卷, 第3期, 224—236页, 1982.
- [3] Greenland, D. J., Soil conservation and management in humid tropics, 17—23, John Wiley and Sons, 1977.
- [4] 姚贤良, 热带和亚热带土壤的物理问题及其管理, 土壤学进展, 17卷, 第3期, 1—10页, 1989.
- [5] Petersen, G. W., Soil sci. soc. Amer. Proc., 32(2), 271—275, 1968.
- [6] 陈炳章, 低丘红壤油桐与农作物间作技术的研究, 浙江农业科学, 第1期, 33—39页, 1983.
- [7] 冯子政, 红壤坡地桔园不同抗旱措施的比较, 中国柑桔, 20卷, 第2期, 21—23页, 1991.