

土壤水分调控途径与土壤特性关系的探讨

赵炳梓 徐富安

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 研究表明,储水库容、导水率、土壤紧实度、结构孔隙的稳定性、质地等土壤特性对耕作、灌溉等农田水分调控措施的效果及其选择具有重要意义。

关键词 土壤特性;农田水分调控

目前水资源不足已成为影响和制约农业生产发展的重要因素之一。特别是随着经济和社会的迅速发展,工业和城市用水的迅速增长,淡水不足的矛盾将更加尖锐。我国华北及长江中下游地区受季风气候的影响,降雨分布不均,在作物生长的关键季节分别会发生春旱和伏秋旱,对当地农业生产产生不良影响。为了调节农田水分,增加作物产量,各地农民采用节水灌溉、深耕等调控措施,以增加有限水资源的增产效益。然而,这些农田水分调控措施的运用,其效果在各地却各不相同。我们的观测及试验结果表明,这些水分调控措施的正确选用往往与土壤性状有关。本文将通过我国东部季节性干旱地区若干代表性土壤(潮土、红壤、黄棕壤)的试验结果,来探讨农田水分调节措施的选择及其效果与土壤性状关系。以供各地参考。

1 土壤性状与农田水分管理

1.1 根系分布范围与灌溉方式的选择

根系分布的深度、广度与可供选择的灌溉方式密切有关。表1中资料是对三类土壤的野外调查和实验室测定结果。由于潮土质地较轻(多数层次为轻壤质),其2m土层内有效储水量高达591.5mm,远高于黄棕壤和红壤。因此在潮土上进行冬灌储水,完全能满足一季冬小麦耗水需求(约500mm)。由于潮土下层没有影响作物根系伸展的障碍层次存在,麦根可扎到1.6m,甚至更深,玉米根也可达1.4m上下,可以充分利用深层储水。然而黄棕壤和红壤却不同,不但2m土层内有效储水量不足(因为它们的质地为重壤至轻粘土,粘粒含量高达25—30%),而且,心土层有影响根系生长的障碍层次存在。一般认为当土壤紧实度大于 $12\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 时,根系的伸展将十分困难^[1]。这两种土壤心土层的紧实度均已超过 $15\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。而且红壤心土层的pH很低,也是影响多数作物根系深扎的重要原因。因此,对于这两种土壤上的农作物,其根系吸收水分和养分的深度和容量有限,难以利用深层储水。据姚贤良研究^[2],第四纪红粘土发育的红壤土层深厚,具有深层储水,即使在7、8、9月的三个月旱季,旱地红壤1—2m和2—3m土层仍分别保存390.5mm和433.6mm的储水量。但测定的不饱和导水率的结果(表1)表明,由于三种土壤的心土层土壤粘粒含量高,不饱和导水率低,即使在接近田间持水量情况下,依靠毛管向上传导的水量每日仅有0.1mm左右。而小麦、蔬菜等作物在生长旺盛期的日耗水量可达3—5mm之多^[3,4]。可见,没有根系向下的广泛分布,单依靠土壤水分毛管

运动是无法满足作物高产生长需求的。据陈志雄等研究^[5],在丰水年份,地下水位较高(约2m)时,潮土上小麦生长季节深层储水向根区补给量可达18—56mm。而干旱年份,地下水下降后,这种补给难以监测出来。

表1 三种土壤心土的特征

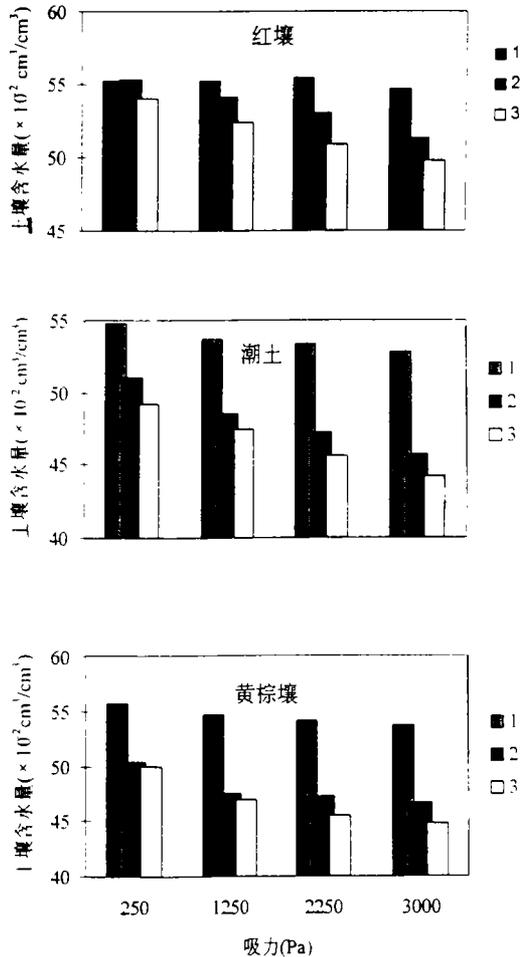
	2m土层 总储水 (mm)	2m土层 有效储水 (mm)	pH	土壤紧实度 (kg·cm ⁻²)	剖面根系分布 (cm)	田间持水量时 土壤导水率 (cm·h ⁻¹)	田间持水量时 土壤日导水量 (mm)
红壤	954.8	234.1	4.7	15.1±10.7	0-41	4.24×10 ⁻⁴	0.102
潮土	907.4	591.5	7.3	8.1±2.0	0-160	3.53×10 ⁻⁴	0.085
黄棕壤	795.7	191.2	6.8	15.6±4.7	0-37	2.7×10 ⁻⁴	0.065

注:储水量用环刀法测定,紧实度用日式简易紧实度仪测定;导水率用环刀单面蒸发法测定;日导水量由不饱和导水率计算而来。

上述资料表明,潮土在遭受季节性干旱时,其灌溉方式的选择可以多样,既可以采用冬灌方法(如利用黄河秋冬有水之机),又可以采用喷灌等节水的灌溉方式。而红壤与黄棕壤难以利用深层土壤库容储水来解决旱季作物需水问题。适宜采用少量多次的沟灌、浇灌、滴灌、喷灌等方式以供应作物需求。为了改善它们的水分供应状况,采用深耕松土、扩容、施用石灰等改土措施是必要的。

1.2 深耕蓄水与土壤结构稳定性

耕作是土壤水分管理的一项重要措施。而深耕(深松心土)可减少根系穿透阻力,增加土壤孔隙度和贮水库容,提高土壤水分入渗速率,扩大根系的伸展范围而使作物根系吸收到更多的水分和营养。目前,在红壤开垦中,在果树等作物栽植前,采用挖深坑、开壕沟等办法疏松土层,扩展贮水库容的做法,也是一种深耕的方式。Kamprath et al.的研究显示^[6],对于那些土壤剖面由于存在硬层或坚实层而阻止根系伸展和水分进一步渗透的土壤,深耕有增加作物产量的效果。但是,并非所有土壤均适合采用深耕措施来改善土壤水分性质,深耕改善土壤水分特性的效果与土壤结构稳定性有关。图1是三种土壤心土层经二次干湿交替后,土壤容积含水量的变化情况。资料显示,在吸力3kPa内,红壤各吸力级随干湿交替次数的增加土壤持水量变化最少。经一次干湿交替后,红壤心土层



注:1、2、3 分别表示扰动土及其经一次和二次干湿交替处理

图1 干湿交替处理对土壤心土层含水量的影响

的四个被测吸力点含水量平均降低 1.69 个百分点,经第二次干湿交替后,含水量再继续降低 1.23 个百分点;红壤比质地相似的黄棕壤变化幅度小,因经二次干湿交替后,黄棕壤心土层平均降低 6.64 和再继续降低 1.14 个百分点。潮土的变幅则为 5.53 和 1.54 个百分点。各土壤耕作层的变化趋势与心土层相类似,但三种土壤的耕作层经干湿交替后,含水量降低的幅度均比心土层还要大。

土壤扰动后,经干湿交替而持水能力变化小,即显示此类土壤结构稳定性较好,土壤由深耕松土所增加的持水孔隙能维持较久。从上述资料可以发现,深松土壤以扩充土壤持水容量的措施在红壤上的效果将优于潮土和黄棕壤。红壤的孔隙稳定性较强,这是因

为红壤粘粒之间的内聚力和铁、铝三氧化物凝胶粘结而形成的土壤水稳性团聚体含量较高。红壤耕作层 $>0.25\text{mm}$ 的水稳性团聚体含量达 56.7% (表 2)。土壤结构系统为 99%, 土壤的结构稳定性好,扰动土经干湿交替后土粒间不易重新排列而沉实变紧;黄棕壤尽管粘粒含量也比较高,并且质地与红壤相似,但颗粒间胶结物质少,靠粘粒间相互吸引的土壤团聚体不能抵抗进入毛细管的空气压力或膨胀压力,团聚体遇水浸泡会分解,因此土壤的结构稳定性和孔隙稳定性较差,经干湿交替后,土粒间容易重新排列致密。潮土的孔隙稳定性在三种土壤中最差,因为潮土耕作层粉砂颗粒含量高,粘粒含量低,土壤有机质含量仅 $8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,粉砂颗粒间缺乏胶结物质,因而水稳性团聚体含量低,耕作层 $>0.25\text{mm}$ 的水稳性团聚体含量只有 15%,在干湿交替过程中粉砂颗粒易于滑动而不断重新排列,沉实变紧,降低持水孔隙度,所以经干湿交替后,各吸力级土壤含水量迅速减少。在红壤地区可通过耕作疏松表土或通过深耕 B 层的方法来增加雨季水分入渗及增大贮水库容,而潮土和黄棕壤如果通过单一机械疏松表土或破坏障碍层次来增加水分入渗能力或扩充贮水库容的效果及其持效性将不如红壤。可见,用耕作方法增加土壤水的渗蓄能力,必需充分考虑土壤的结构稳定性,否则,既达不到改良目的,又耗能耗力。

1.3 节水灌溉方式选择与土壤质地

喷灌和滴灌技术均是实施节水农业的有效手段。因为它们都是以少量多次的方式,不断满足(特别是关键生育期)作物对水分需求,因此它们单次的灌水量均比淹灌要少。为了提高灌溉水的利用效率,我们必须考虑到少量灌溉水进入农田后,其用于蒸腾与蒸发耗水之间的比例。自然灌溉水尽量多地渗入土壤,就可减少地表蒸发对水分的无效损耗。

采用喷灌情况下,一次灌水量常相当于 30mm 左右雨量(相当于每亩灌水 20m^3)。由于入渗能力的差异,不同质地土壤条件下,水分在剖面的再分配是不同的。通常粘质土壤的水分下渗较少,而轻质土壤则较多。其结果是灌溉水消耗中发生作物蒸腾耗水和土面蒸发耗水之间比例就不同,从而影响了水分利用效率。我们选择了耕层分别为轻壤土和重壤土的农田进行喷灌供水试验。每半月在地表喷灌 30mm 水。从张力计读数观测表明,重壤土灌溉后水分主要集中在 0—20cm,灌溉水难以渗到 50cm 处,而轻壤土灌溉同样水量后,水分主要集中在 0—30cm 处,且部分灌溉水的入渗,使埋于 100cm 处的负压计读数有所下降。可见,水分下渗状况很不一样。图 2 是小麦生长后期不同深度土壤吸力的资料。结果显示,在同样灌水条件下,六月下旬麦子成熟以前,重壤土中不同层次的土壤吸力都高于轻壤土。到六月下旬以后,由于

表 2 土壤水稳性大团聚体组成 (%)

土壤	粒径(mm)					
	>5	5—3	3—1	1—0.5	0.5—0.25	<0.25
红壤	3.1	5.5	18.6	16.7	12.9	43.3
潮土	0	0.67	4.0	4.5	5.8	85.1

注:用 Yoder 法测定。

重壤土上麦田长期处于缺水状态下,发生早衰枯黄现象,轻壤土上吸力才超过重壤土。从这个试验所反映的现象来看,在较粘土壤上,最好选择与土壤渗透性相称,地表湿润区较小的滴灌方式,以减少无效地表蒸发耗水损失。

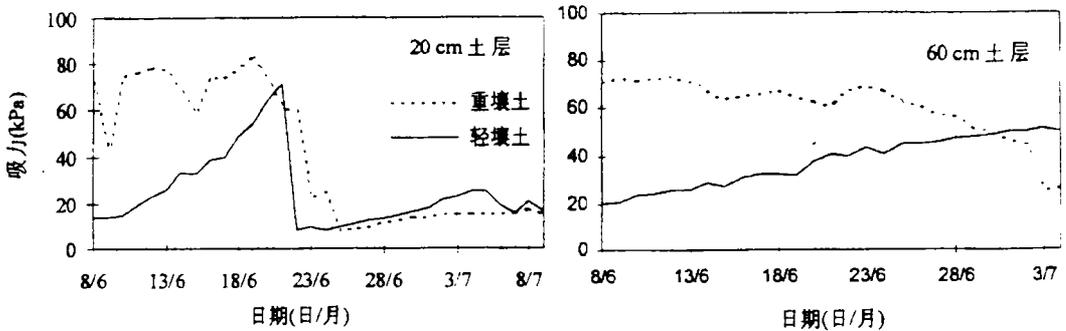


图2 不同质地土壤吸力动态变化

2 小结

红壤、黄棕壤的心土层土壤紧实度大,且红壤酸度大,是根系伸展的障碍层次,又由于土壤不饱 and 导水率低,根系很难利用下层土壤水分。在干旱季节,这二种土壤宜采用沟灌、喷灌等措施来调节农田水分。潮土具有比较大的有效储水库容,且无影响根系伸展的障碍层次存在,还可利用有效储水库容蓄积多量灌溉水,以减轻干旱危害。

干湿交替改变土壤含水量,在吸力 3kPa 内,红壤各吸力级随干湿交替次数的增加,其体积含水量变化较潮土和黄棕壤为少;红壤的孔隙稳定性较强,而潮土和黄棕壤则较差,这是由于红壤的水稳性团聚体含量较高之故。这种特性有利于红壤深翻改土扩容效果的保持。

不同质地土壤由于其入渗能力的差异造成水分在土壤剖面的再分配不同,其结果是影响灌溉水消耗中作物蒸腾耗水和土面蒸发耗水的比例,灌溉方式的选择必须考虑这种因素。粘质土壤(如红壤)最好选择与土壤渗透性相称,地表湿润区较小的滴灌方式。

参 考 文 献

- 1 三好洋,单原一宽著(周顺行等译).土壤物理性质与土壤诊断.农业出版社,1997,53—67
- 2 姚贤良.红壤的物理性质与植物生长.见:张桃林等著.红壤生态系统研究,第四集.江西科学技术出版社,1998,72—81
- 3 赵炳祥,徐富安等.结构改良剂及麦秆覆盖对麦地蒸散的影响.土壤,1992,24(3):120—124
- 4 内海修一著(王志刚等译).保护地园艺—环境与作物生理.农业出版社,1984,67—79
- 5 陈志雄,赵其国.黄淮海平原的节水农业问题.土壤,1989,21(4):196—199
- 6 Kamprath E J, Cassel D K, Gross H D, Dobb D W. Agron. J., 1979, 71:1001—1005

更 正 启 事

1998年5月江西科学技术出版社出版的《中国农业持续发展中的肥料问题》一书,第36页倒数第4行,缺铜4666.7万公顷,更正为缺钼4666.7万公顷。

《中国农业持续发展中的肥料问题》编写组