

苏州地区黄泥土暗管排水效果*

赵诚斋 程云生

(中国科学院南京土壤研究所)

苏州地区地势平坦,是我国著名的水稻高产地区之一。但是,这个地区的三麦产量很不平衡,大部分地区产量不高不稳,其中重要的一个原因是土壤过湿,尤其是春雨连绵的年份危害更甚。据统计¹⁾,该地区每2—3年就发生一次三麦湿害。三麦湿害主要发生在占耕地面积80%的太湖地区平原和低洼圩田。这两类地区土壤较粘重,地下水位过高,土壤通透性差,常易造成三麦湿害。广大贫下中农历来重视农田排水。解放后随着生产关系的变革,农田排水有很大的发展。合作化前,土地分散,缺乏统一的排水体系,农田排水系以狭崮、龟背形、沟系密为其特点,其主要作用是快速排除地表水,而地下水位仍处于较高的状态。合作化后,排水沟系有了统一规划,但仍以深而窄的明沟为主,沟底易淤积,排水不畅,再因田块方整化后,增加了田地的面积和长度,明沟降低地下水位的作用是有限的。同时,这些农田排水沟系都是临时性的,每年冬春季节都要投入相当多的劳力。因此,从长远考虑,田间排水工程应当向半永久性或永久性设施过渡,也是社会主义大农业农田基本建设发展的一个方向。

十多年前²⁾,在这个地区已出现了农田暗管排水设施,并已取得良好效果。它不仅能够有效地控制地下水位,而且不占农田面积,又便于机械化作业,一次投资多年受益。所以,暗管排水是一种较好的永久性排水设施,对于人多地少的地区更显示出其优越性。但是,暗管的埋深和间距必须因地制宜,才能发挥最大的排水效益。因此,我们于1975年秋在无锡县东亭大队选择具有代表性的平田黄泥土布置暗管排水试验。

一、暗管排水试验设计

暗管排水试验田位于无锡东郊锡沪公路南两条河滨之间,两河相距约600米,河水位离地表3.5米。试验田块长90米、宽18米,每一处理为一块田。暗管用长28厘米、宽9厘米、高7厘米的素烧瓦管,排水内孔为7×3.8厘米。暗管埋深分为80和110厘米两种,间距分为6和9米两种共四组处理(表1)。1975年秋收后施工,排沟比降为1/800。另选大面积田地为对照,其中土暗沟深60厘米、间距4.5米。

每一处理设有地下水位观测井,其中3口井的有两口井分别距两沟1米,另一口井位于两沟的中心,即距两沟3米;5口井的有两口井分别距两沟1米,另两口井分别距两沟3

* 参加工作的还有周月华、周正度和林长英。

1) 引用江苏省革命委员会水电局水文站资料。

2) 昆山县农田水利试验站资料。

表 1 试验处理

田块编号	沟深(厘米)	间距(米)	观测井数
103	110	6(3)*	3
104	110	9(2)	5
105	60	4.5(4)	3
110	80	6(3)	3
111	80	9(2)	5
112	80	9(2)	—
113	80	6(3)	—

* 括号内数字表示暗沟条数。

米,还有一口井位于两沟的中心,即距两沟 4.5 米;对照田中心井距两沟 2.25 米。同时,于两沟之间按装一组张力计以观测各处理土壤各层(10、30、60 和 110 厘米)的吸力变化,观测时期为 1976、1977 年 3 月底到 5 月中旬麦子收获时止。1977 年还选择了茬口一致的田块进行了测产。

二、黄泥土的基本水分物理特性

1976 年 5 月 15 日,即雨后 4 天选择具有代表性的 103 号试验田采集土样,其分析结果列于表 2。

表 2 黄泥土的基本性质

层次及深度 (厘米)	比重	容重 (克/厘米 ³)	颗粒组成% (毫米)				质地 名称	自然 含水量 (%)	总孔 隙度 (%)	通气 孔隙度 (%)	Eh (毫伏)	有机质 (%)	全氮 (%)
			1— 0.05	0.05— 0.01	0.01— 0.001	< 0.001							
耕层 0—15	2.65	1.28	3.1	44.3	26.8	25.8	重壤	23.7	51.0	20.7	576	2.49	0.144
犁底层 15—25	2.65	1.38	3.7	45.7	26.2	24.4	重壤	31.8	48.0	4.1	522	2.75	0.156
25—40	2.65	1.36	2.8	47.7	25.9	23.6	重壤	29.8	48.6	8.1	531	2.29	0.126
白土层 40—47	2.70	1.46	4.7	40.8	23.3	31.2	重壤	23.7	45.8	11.2	531	0.48	—
47—71	2.72	1.37	2.2	32.0	24.1	41.7	轻粘	33.0	49.6	4.2	529	0.47	—
黄泥层 71—93	2.72	1.64	3.2	42.3	30.7	23.8	重壤	23.6	39.7	1.0	521	0.33	—

黄泥土全剖面有明显的层次性,粘粒含量大部分在 20—25% 范围,个别层次高达 30—40%,质地属重壤或轻粘,犁底层以下有厚薄不一的(不超过 20 厘米)白土层,其下为黄泥土层。土壤容重从上到下逐渐增大,底土可高达 1.60 克/厘米³以上。耕层较浅(12—15 厘米),且富含有机质,养分贮量较丰富,犁底层以下至白土层以上亦然,是作物根系主要活动的层次,也是农田排水首先要考虑不受水渍危害的层次。

黄泥土雨后 4 天的自然含水量和田间持水量的剖面分布情况与均质土壤不同。剖面自然含水量呈 3 字型,剖面田间持水量为长 S 型(图 1)。土壤含水量与土壤总孔隙度成正比,尤以田间持水量的剖面分布更为明显,符合丘列姆诺夫水分平衡方程(罗戴,1952)。

从土壤水分剖面分布情况来看,很容易产生错觉,认为 10—30 厘米和 50—70 厘米土

层有水分聚积的现象。实际上这是一种假象。从同一天几个田块土壤吸力的分布来看(图 2),上层土壤水分负压都高于下层,说明土壤水分正以不饱和水流从下层向表层运

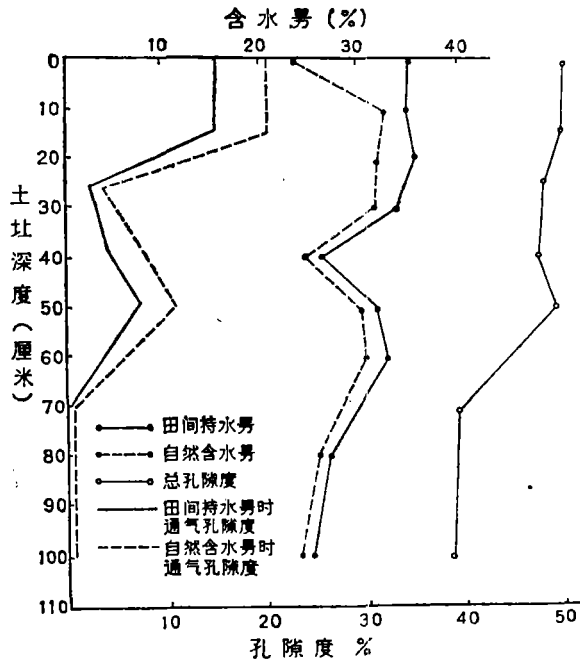


图 1 土壤含水量和孔隙度剖面分布

行。由此可见,单从土壤含水量的剖面分布情况是很难说明黄泥土剖面水分运行的规律。

土壤通气孔隙度是判断土壤通气性是否良好的一个重要指标。一般认为通气孔隙度在 10% 以上时土壤才具有良好的通气性(鲁泌, 1957)。从图 1 看出,土壤含水量在田间持水量时黄泥土耕层的通气孔隙度为 15%, 已能满足作物根系的要求, 但犁底层仅有 2%, 以下变动于 3—7% 之间, 70 厘米以下几无通气孔隙的存在。雨后 4 天耕层土壤的通气孔隙度超过 20%, 显示强烈的通气性, 以下各层土壤的通气孔隙度亦因强烈蒸发而有所提高, 但大部仍在 10% 以下, 尤以 50 厘米土层以下均未超过 5%, 充分说明黄泥土下层土壤的通气性是不良的。但是, 各层的氧化还原电位除个别犁底层外均在 500 毫伏以上, 下层也无明显的还原层存在, 尚待继续研究。

土壤通气孔隙度与地下水埋深的关系极大, 并随地下水位的升降而变化。

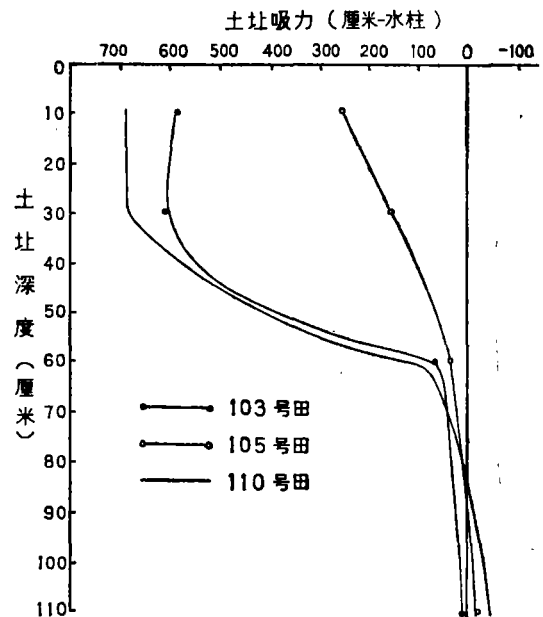


图 2 雨后 4 天土壤吸力分布

因此,我们测定 2.5、50、100 厘米-水柱吸力下的通气孔隙度,以研究地下水位变化对通气孔隙度的影响(表 3)。结果是地下水位接近地表(2.5 厘米)时的通气孔隙度很低;地下水位下降到 50 厘米时耕层通气孔隙度较好,耕层以下也略有增加,但还不能满足通气良好的要求;就是地下水位下降到 100 厘米时($pF = 2$),各层土壤通气性的改善亦仍有限。因此,黄泥土的下层土壤结构致密紧实,如只降低地下水位而不考虑蒸发排水,则只能改善耕层的通气性,而不能改善耕层以下土层的通气性。

表 3 不同负压下土壤的通气孔隙度(%)

田 号	深 度 (厘米)	不同的负压(厘米-水柱)		
		2.5	50	100
103	0—15	1.2	9.2	10.4
	15—25	0	1.0	1.2
	25—40	0.4	1.5	2.3
	40—47	1.3	5.2	6.7
105	0—15	2.8	15.2	16.8
	15—25	0	2.0	3.0
	25—36	0	4.0	4.6
110	0—15	5.7	16.6	18.3
	15—23	0	3.2	3.8
	23—35	0	2.5	3.1
	35—53	0.8	4.0	5.3

改善耕层的通气性,而不能改善耕层以下土层的通气性。

土壤通气孔隙度不仅是土壤空气更新的主要通道,而且与决定排水速度的土壤饱和水力传导度(K)密切相关。在田间用浅井灌入法直接测定 K 值(Black, 1965),结果是耕层极高(1038 厘米/天, 20°C),犁底层很小(1.66 厘米/天),约为耕层的万分之十五;心土层(3.10 厘米/天)又比犁底层高出二倍;底土层(1厘米/天)比犁底层还小, K 值的大小与上述土壤孔隙特性是相符的。以上研究结果充分说明黄泥土若无排水设施或底土改良,要靠土体自然排水是难以达到预期效果的。

三、暗管及土壤蒸发的排水效果

试验区 1976 年 3—5 月份降雨量为 309.6 毫米,可视为正常年份的雨量(正常年份同期降雨量是 310 毫米);1977 年同期降雨量高达 416.5 毫米,可视为多雨年份的雨量¹⁾。

两年来的观测结果表明,当日降雨量为 28 毫米以上,或连日降雨 30 毫米以上时,会引起地下水位大幅度上升。地下水位上升的幅度是随着暗管的埋深而减小,与暗沟间距(6—9 米)的关系不甚明显。日降雨量超过 50 毫米时,所有处理田块的地下水位都很快地上升,可达耕层接近地表。但是雨后地下水位下降的速度却十分不同,暗管埋深 110 厘米的田块在雨后地下水位下降到 50 厘米和 80 厘米,分别只要 1 天和 2 天,而暗管埋深 80 厘米的要 3 天和 10 天,深 60 厘米土暗沟的地下水位下降到 50 厘米需要 3 天,以后稳定于 70 厘米处。由此可见,雨后地下水位下降的速度以深暗管最快,外围排水不畅的田块最慢,其次序是暗管埋深 110 厘米的 > 80 厘米的 > 土暗沟的 > 外围排水不畅的田块。

降雨量正常年份与多雨年份相比较,各种试验处理田块的地下水位变化的幅度也是

1) 无锡气象站观测资料。

不同的。1976 年与 1977 年 4、5 月间(4 月 24 日至 5 月 13 日), 降雨量分别为 100.8 和 201.6 毫米, 各处理田块地下水位处于 50 厘米以上的持续时间是十分不同的。暗管埋深 110 厘米的田块在 1976 年为 1—2 天, 而 1977 年则为 3 天; 暗管埋深 80 厘米的在两年同期分别为 2—3 天和 4 天; 深 60 厘米土暗沟的则为 5 天和 12 天。这说明深暗管的排水效果优于大面积采用的土暗沟, 多雨年份尤为明显。

土壤蒸发(包括土壤蒸发和植物蒸腾)是土壤排水的另一个重要途径, 在非饱和土壤中其作用更为明显。非饱和土壤水分运动的方向和强度取决于土壤的吸力势梯度¹⁾。现以雨后土壤吸力的变化为例来说明土壤水分运动的方向以及与蒸发的关系(图 3)。1976

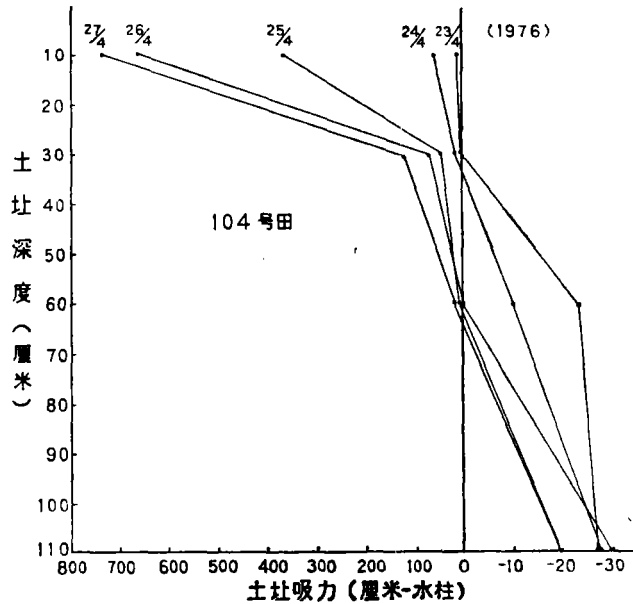


图 3 雨后逐日土壤吸力的剖面分布

年 4 月 22 日降雨 32.6 毫米, 23 日土层 30 厘米以上土壤的吸力势梯度小于重力势梯度, 水分以非饱和水流向下运行。24 日以后由于水分的下行水流和土面蒸发、植物蒸腾的结果, 表层土壤吸力增大, 30 厘米以下的水分开始向上运行, 因此雨后下行水流只有一天就中止了。25 日以后由于土表蒸发和植物蒸腾而使土壤吸力增大的深度可达 60 厘米。4 月底以后气温升高, 地下水位埋深下降至 70—80 厘米, 再因土壤蒸发和作物蒸腾的强烈进行, 表层土壤吸力强烈增高, 但 60 厘米上下土壤吸力一直较低。因此可以大致认为黄泥土地下水位上升的强烈毛管补给区为 40—50 厘米。

两年来同期土壤吸力的变化是不同的。土壤吸力变化的总趋势是降雨量正常的 1976 年高于多雨年的 1977 年, 而且影响土层的深度亦是 1976 年深于 1977 年。土壤出现正吸力的深度亦是 1976 年较 1977 年深, 1976 年耕层土壤吸力除大雨后 1—2 天出现低吸力外, 一般吸力都较高, 而 1977 年仅在雨后 3—6 天表现较高的吸力外, 大部分时间都处于低吸力状态。再以 60 厘米土层的吸力来看, 1976 年很少出现正吸力, 而 1977 年除个别深

1) 土壤吸力势梯度是指土壤中上下两点吸力读数之差(厘米-水柱)除以两点间距离(厘米), 该值如小于重力势梯度(等于 1), 则水流方向向下, 如大于重力势梯度则方向相反。

暗管田块的土壤吸力极低外,大都处于正吸力状态。这正说明黄泥土必须采取有效的排水措施以减少春雨的危害。事实证明,尽管多雨的1977年春季,深暗管已明显地表现出排水的优越性。

排水可以改善土壤特性,从而影响到作物的生长发育。4月上中旬正值麦子拔节孕穗期,地下水位的高低直接影响到根系的生长,而根系吸收能力的强弱又影响产量的高低。为了说明这个问题,我们于1977年3月30日将 P^{32} 埋入不同深度的土层,到4月23日采样测定植株体内 P^{32} 的强度,结果(表4)是暗管处理(113号田)的植株根系活动较深,而开明沟的对照处理(106号田)根系只集中在1—5寸,说明排水可使麦子根系向下深扎,并有利于地上部的生长发育。1976年秋各试验田的茬口都调整为2-14大麦,从大麦的株高和每亩穗数以及计算产量(表5)都可说明暗管排水对黄泥土是有效的。

表4 土壤排水条件对根系活力的影响 (六次重复平均值)*

土层深度(寸)	暗管 (113号田)		对照 (106号田)**	
	脉冲数/分	%	脉冲数/分	%
1	1996	41.9	2550	79.5
5	1125	24.2	623	19.4
10	1168	24.5	29	0.9
15	473	9.4	4	0.2

* 徐永福同志提供。 ** 明沟处理。

表5 2-14大麦试种结果

田号	暗管深度(厘米)	暗管间距(米)	株高(厘米)	每亩穗数(万)	每穗粒数(粒)	千粒重(克)	计算产量(斤/亩)	采样日期 1977年5月
103	110	6	70.6	38.2	34.5	21.3	561.4	13日
110	80	6	71.4	36.3	33.6	20.1	490.3	13日
105	60	4.5	62.3	27.1	36.0	23.7	462.4	15日

四、暗管的深度和间距

为了充分发挥黄泥土的潜在肥力,必须保证上部0—40厘米土层具有良好的通气性。黄泥土的强烈毛管活动区为40—50厘米,地下水位应控制在90厘米以下。从暗管排水试验的效果看,黄泥土的暗管埋深小于110厘米时,地下水位下降速度较慢,说明黄泥土的暗管埋深应在110厘米上下为宜。如将暗管埋得更深,既难再度提高土壤上层的通气性,又不能提高排水效果,同时还要加深田外排沟,既增加工程投资,实际收效又不大。因此,暗管的深度不宜再深。

暗管间距6米并不比9米的排水效果更好,间距9米已能满足田间排水的要求,间距是否可再扩大,应进一步试验。

目前该地区广泛应用的土暗沟,深度(60厘米)较浅,间距亦较小(4.5米),虽有一定的排水作用,可使耕层土壤具有一定的通气性,但在多雨年份排水效果很不明显。另外,

田外农排深度, 不足 80 厘米, 也难以发挥土暗沟应有的排水作用。

最后, 应当指出, 黄泥土耕层以下特别是犁底层的导水率很低, 如遇大雨常造成地面积水, 排除缓慢。所以, 在暗管排水的基础上要结合开浅明沟以迅速排除地表水, 减轻对作物生长的危害。

为了加速降低地下水位并尽快地排除土壤积水, 是否可在暗管或暗沟的基础上采取竖井排水, 深松土壤、掺砂或增施有机肥料等措施以改善土壤性质, 加速消除三麦湿害, 是值得研究的问题。

参 考 文 献

鲁泌 J. N., 1957 (叶和才等译, 1965): 农田排水。478—488, 中国工业出版社。

罗戴 A. A., 1952 (乔樵等译, 1964): 土壤水。192—195, 科学出版社。

Black, C. A. (ed.), 1965: Methods of Soil Analysis. Part 1, 242—248, American Society of Agronomy Publisher Madison, Wisconsin USA.

THE EFFECT OF THE TILE DRAINAGE ON RICE SOILS IN SUCHOW DISTRICT, KIANGSU

Chao Cheng-chai and Cheng Yun-sheng

(Nanking Institute of Soil Science, Academia Sinica)

Summary

Effect of the drainage on the melioration of soil moisture condition of paddy field for winter crops was studied in field plots. The soil investigated was a slightly acid silty clay loam, derived from lacustrine deposit in Tongting Brigade, Wusi, Kiangsu. The land was used under a rotation of three crops in one year rice—rice—winter crops (mainly wheat), with a total yield of about 15 tons per hectare. A wet surface soil in rainy spring usually restrained the good growth of wheat plants. The ground water often rised up to the soil surface after a daily rainfall above 50 mm.

Drainage tiles laid 110 cm below the soil surface with intervals of 9 m between two tiles kept the ground water at lower levels. In the year of normal climate, persistence of high water levels, < 50 cm below the soil surface, only lasted 1—2 days in rainy spring. Using P^{32} in the form of KH_2PO_4 as a tracing reagent, it was found that the active absorbing roots reached about 40 cm depth, extending much deeper than those of the neighboring check plots.