

# 苏南高产水稻土耕层孔隙分布的特点\*

徐 富 安

(中国科学院南京土壤研究所)

土壤孔隙分布是土壤结构性好坏的一个重要指标。不仅反映旱地土壤有此特点,对水田土壤也是这样。特别对水旱轮种的土壤尤为重要[1,2]。据对苏南高产水稻土(黄泥土)的研究结果,含有大量 $>5$ 微米孔隙的鳝血黄泥土,其生物活性、有效养分释放速率和数量都较僵板黄泥土高,且有利于早稻早发[3]。土壤孔隙分布状况显著地影响到肥料磷素的移动范围和水稻对磷素的吸收①。

过去用真空毛管计测定土壤当量孔隙,只能测出 $>5$ 微米的孔隙度,而重壤质黄泥土中的 $\geq 5$ 微米孔隙度只占总孔隙度的20~40%。所以,根据这样的结果来研究水稻土的土壤孔隙分布对肥力的影响似感不足。本试验拟对土壤细孔隙作进一步分级测定,以便详细了解高产水稻土耕作层孔隙分布状况及其肥力评价,并为合理耕作、培肥提供理论依据。

## 一、研究方法

供试土壤为结构较好的鳝血黄泥土和结构较差的僵板黄泥土(1980年5月采自无锡县东亭大队)。采样田块均种植大麦。经秋耕、冬春的干湿、冻融交替作用及麦子根系的作用后,0~14厘米耕作层已明显地分化成二个结构性不同的土层:0~3厘米表层(下称表耕层),土壤松软,根系密布,多团粒状结构体;3~14厘米是耕作层主体(下称主耕层),仍与秋耕时相仿,由机耕时堆叠的大土块组成,除土块之间有些大的裂隙之外,土块内粘闭紧实,很少有根系扎入。用高为1.55厘米、直径为5.04厘米的环刀分别采取这两层原状土,并重复三次。主耕层还用高为5厘米、直径为5.04厘米的环刀采集原状土,重复5次。进行实验室测定。

面的矛盾,因此在具体实施时应注意因地制宜。

## 参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所主编,中国土壤,科学出版社,1978。
- [2] 黄瑞采编著,土壤学,科技卫生出版社,1958。
- [3] 中国科学院南京土壤所,土壤专报第37号,科学出

土壤当量孔隙直径按  $d = 3/H$  公式计算( $d$  为当量孔径的毫米数,  $H$  为厘米水柱计的负压压力)。不同吸力区段的土壤孔隙量测定分别用下列方法进行:  $pF_2$  以下(当量孔径 $>30$ 微米)用石英砂吸力平板装置,  $pF_{2.95}$  (30~3.3微米)用石英砂—高岭土吸力平板装置[4],  $pF_{2.95}$ ~4.18(3.3~0.2微米)用压力薄膜仪[5]②,  $pF_{4.18}$  以上( $<0.2$ 微米)用蒸气压法[6]。将测定的结果绘成水分特征曲线。并根据容重、比重算得总孔隙度,以及不同孔径范围内土壤当量孔隙度,绘制成土壤孔隙累积曲线。用单位吸力下孔隙量变化(孔隙累积曲线上各吸力区段曲线的斜率)对该区段吸力作图,得土壤孔隙分布曲线图。

为了解土壤颗粒组成与土壤孔隙分布关系,进行了土壤机械组成、微团聚体组成和大团聚体组成的分析。

用蒸气压法测定的土壤总水势包括渗透势,严格地讲,它不能与负压法和加压法所测定的水分特征曲线相连,但在渗透势小的情况下,将其作为特征曲线的一环,其误差是不大的[6]。

## 二、结果与讨论

### (一)土壤孔隙分布状况

从土壤水分特征曲线(图1)可看出,土壤的总持水量表耕层大于主耕层,并以僵板土主耕层为最低。随着土壤吸力增加,表耕层持水量下降较快,而主耕层

\* 本文承姚贤良同志提供宝贵意见,特此感谢。

- ① 许绣云等:水田土壤结构对磷素移动影响的初步研究。(1980年资料)
- ② 本项试验承任仁真同志帮助测定,特此感谢。

版社,1980。

- [4] 金伯欣,围湖垦殖与围湖调蓄问题初析,湖北人民出版社,1964。
- [5] 华钟,江汉湖群,湖北人民出版社,1965。
- [6] 全国土壤普查办公室,全国第二次土壤普查暂行技术规范,农业出版社,1979。
- [7] 全国土壤普查办公室,全国第二次土壤普查土壤工作分类暂行方案的修改意见,1979。

下降较慢。鱗血土在pF 1左右主耕层的持水量转而大于表耕层，而僵板土则在pF2.2左右。至pF4.5左右，表耕层和主耕层的持水量相接近，并渐趋一致。表、主

耕层之间在中、低吸力段上持水量的差异，显然受粗細孔隙比例的影响。

从土壤孔隙累积曲线(图2)可以看出，土壤之间

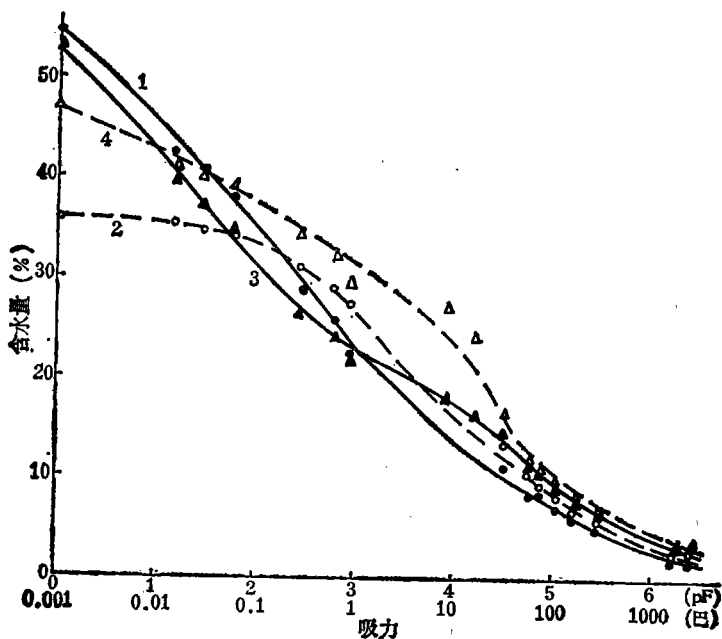


图1 土壤水分特征曲线

- 1—僵板黄泥土，表耕层； 2—僵板黄泥土，主耕层；  
3—鱗血黄泥土，表耕层； 4—鱗血黄泥土，主耕层。

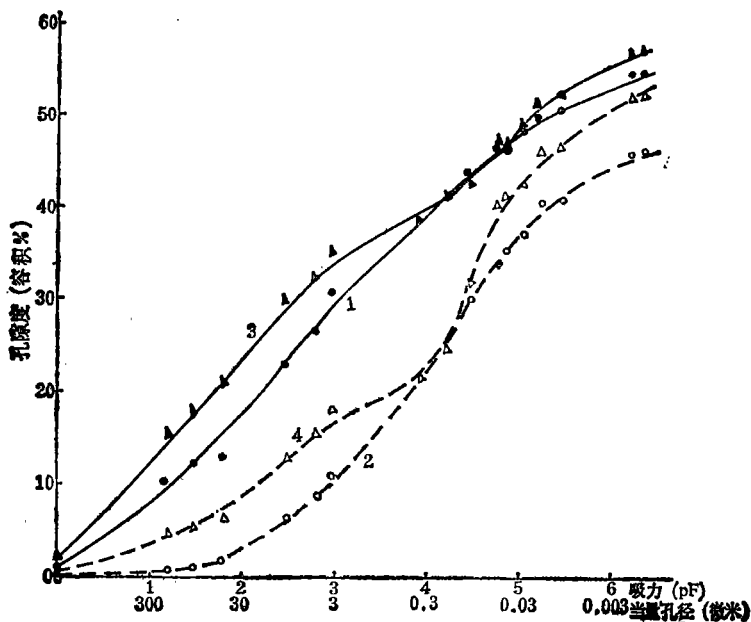


图2 土壤孔隙累积曲线

- 1—僵板土，表耕层； 2—僵板土，主耕层；  
3—鱗血土，表耕层； 4—鱗血土，主耕层。

和同一土壤上下层之间,土壤孔性有明显差异。表耕层的大孔隙数量显著高于主耕层,鱗血土的大孔隙比僵板土多。例如,鱗血土和僵板土表耕层pF2时通气孔隙度分别达23.5%和16.0%,而主耕层则分别为8.7%和3.2%。 $< 5$ 微米的细孔隙度含量则以僵板土的主耕层最高(表2)。

根据图3资料,可将土壤孔隙分布曲线分为三个区段:

(1)  $> 3$ 微米(相当于pF3以下)的孔隙:表耕层中的 $> 3$ 微米的孔隙比主耕层多,随着当量孔隙直径增大,表耕层与主耕层之间 $> 3$ 微米的孔隙含量差异越大。在这个区段内,表耕层孔隙累积曲线的斜率高于主耕层。

(2)  $3 \sim 0.03$ 微米(pF3~5)的孔隙:主耕层的

这级孔隙量一般比表耕层高。特别是鱗血土主耕层的 $0.3 \sim 0.03$ 微米(pF4~5)孔隙量比表耕层显著地高得多。

(3)  $< 0.03$ 微米( $> pF 5$ )的孔隙:上下土层之间差异甚小。鱗血土的这类孔隙略高于僵板土,这可能是鱗血土含粘粒(表1)较多的关系。

### (二)土壤孔隙分布和土壤颗粒组成

土壤孔隙分布受土壤颗粒和团聚体大小、组成及其排列方式的制约。在质地相同的土壤里,则主要是受微团聚体和大团聚体组成和排列的影响。

两个供试土壤的质地和微团聚体组成比较接近(表1)但田间大团聚体组成(图4)却有显著的差异。经过一个冬春的风化及麦根的作用,表耕层已细粒化。各级团聚体分布比较均匀,具有农学意义的 $0.25 \sim 3$

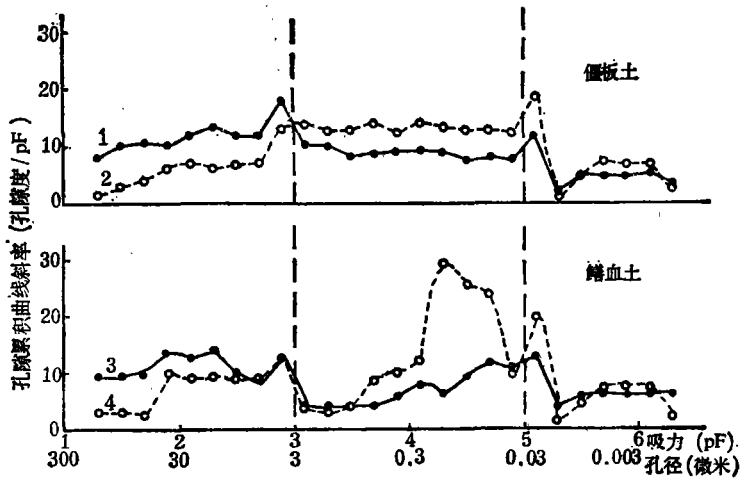


图3 土壤孔隙分布曲线

1—僵板土,表耕层; 2—僵板土,主耕层;  
3—鱗血土,表耕层; 4—鱗血土,主耕层。

表1 土壤机械组成和微团聚体组成

土 壤	粒 径 (毫 米)						
	1~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01~0.005	0.005~0.001	<0.001	<0.01
机 械 组 成							
僵 板 土	0.80	4.99	45.93	12.16	13.10	23.02	48.28
鱗 血 土	0.70	1.88	41.34	13.37	15.02	27.69	56.08
微 团 聚 体 组 成							
僵板土表耕层	2.62	11.89	61.75	12.22	9.04	2.48	
主耕层	2.41	9.11	61.59	13.45	10.01	3.43	
鱗血土表耕层	4.38	11.12	54.83	12.85	12.55	4.27	
主耕层	1.72	13.72	57.75	12.39	12.26	4.16	

注:用吸管法分析。

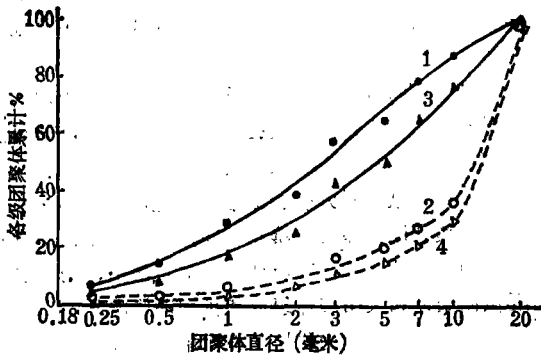


图4 土壤团聚体累积曲线(干筛法)

1—僵板土, 表耕层; 2—僵板土, 主耕层;  
3—锈血土, 表耕层; 4—锈血土, 主耕层。

毫米粒径的团聚体达40~50%。各区段孔隙分布比较均匀(图2、3)。并形成许多能快速排水导气的大孔隙。相反,主耕层中大于10毫米的团聚体占64~70%,0.25~3毫米团聚体只占10~15%。田间观察结果,主耕层中在秋耕时所形成的土块,经6个月后,其形态仍没有多大变化。这些土块不是由团聚体(0.25~10毫米)疏松垒结而成,而是由单粒或微团聚体致密排列而成。这层土壤的孔隙组成,除了土块之间有些大裂隙之外,主要是粘团土块内的细微孔隙。土壤孔隙量在各孔径区段内分布是不均匀的。

Russell认为[7],小于0.1微米细微孔隙的含量与粘粒的排列方式有关。如粘土矿物晶片以面对面地定向排列,此类细微孔隙就会显著增加。水稻土由于长期处于浸泡状态,土粒分散,在脱水收缩过程中,粘粒容易发生这种致密的排列。从图3可看出,0.02~0.04微米的孔隙量,两种黄泥土的主耕层都高于表耕层,这可能是二层土壤中粘粒定向致密排列的程度不同,值得进一步研究。

### (三)土壤孔隙分布与土壤肥力

1. 孔隙分布对麦根生长的影响 麦子主、侧根的

直径多在300微米以上[7],主耕层中>200微米的孔隙很少(表2),多为土块间的裂隙和间隙,土块内部则多为<5微米的孔隙,8~12微米粗细的根毛要在这样细小的孔隙中伸展和生长是十分困难的。如土壤含水量降低,扎根更加困难。相反,表耕层中大小孔隙搭配适宜,加上多量化肥施于表层,因而麦根密集分布于表耕层。表耕层里的良好孔性促进根系旺盛生长,而密集根系又促进土壤的团粒化。但由于表耕层很浅,麦子根系的分布呈鸡爪状,显得头重脚轻,难以抵御不良环境的危害。

2. 土壤孔隙分布对水分条件的影响 主耕层的细孔隙比例高,即使在较高的吸力下,持水量也较大。从有效水总量(0.2~50微米孔隙量)看,上下土层之间相差不多(表2)。但从孔隙分布曲线(图3)来看,在这个区段里土壤的供水性是不一样的,表耕层在低吸力段释出的水量较多,而主耕层在较高吸力段释出的水量较多,它们的界线大约在 $pF 3$ (1巴)左右。研究证明,田间有效水分多储存于吸力超过1巴的孔隙里,这对小麦的丰产栽培是不利的①。大家知道,随着土壤孔隙变细,毛管传导度迅速下降,供水速率大为降低。从图5可看出,水分吸力超过600毫巴后,土壤水分吸力差所引起的水分移动平衡的时间将大为延长。

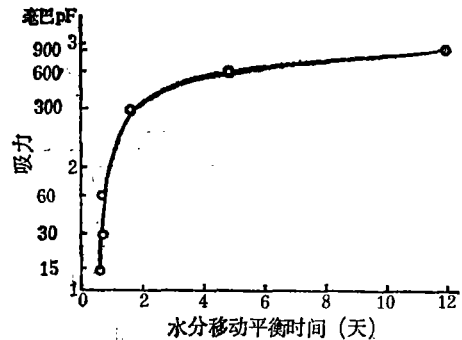


图5 不同吸力下水分移动情况(僵板土主耕层)  
(测定时采用5厘米高环刀及4号砂蕊漏斗,重复5次)

表2 土壤各级孔隙量

土 壤	总孔隙度 %	>200微米孔隙度 %	50~0.2微米孔隙度 %	<5微米孔隙度		<0.1微米孔隙度		<0.05微米(500埃)孔隙度	
				容积百分数	占总孔隙度 %	容积百分数	占总孔隙度 %	容积百分数	占总孔隙度 %
僵板土表耕层	56.3	9.7	25.8	29.3	52.0	13.3	23.6	10.3	18.3
主耕层	48.3	0.4	23.2	39.8	82.4	18.8	38.9	13.8	28.6
锈血土表耕层	58.6	14.2	20.2	26.6	45.4	15.6	26.6	12.6	21.5
主耕层	54.1	4.5	17.7	38.6	71.3	22.1	40.8	14.6	27.0

① S. A. Taylor 1972(陈志雄节译):物理土壤学(physical Edaphology),第14章。见土壤湿度计鉴定会资料,(上海,1980)

因此,由粘闭土块垒结而成的主耕层,在干旱或强烈蒸腾时,土壤供水速率赶不上植物需水的要求;在雨季水多之时,麦田又易渍涝。上述不良的孔隙分布情况,不仅影响根系的伸展和发育,也缩小根系的营养面积,因此,易发生青棵逼熟,千粒重下降等现象,不利于作物稳产。根系在耕层土壤中营养面积的缩小,不仅影响小麦充分利用全耕层的养分,还增加表施化肥的依赖性,难以发挥土壤的潜在肥力。目前一些社队在麦田中施用的氮肥已大大超过稻田,而产量未见显著增加,并产生化肥“胃口”大的问题。看来,如不根本改善土壤物理条件,合理施用化肥似难得到解决。

3. 土壤孔隙分布对通气条件的影响 从图2可以看出,僵板土和鲜血土的主耕层在低吸力段的粗孔隙含量不高。在 $pF\ 2\ (0.1\text{巴})$ 时,两种土壤主耕层的通气孔隙分别为3.2%和8.7%, $pF\ 3\ (1\text{巴})$ 时,鲜血土的主耕层的通气孔隙达17%,而僵板土的主耕层的通气孔隙也只11%,这与一般旱作物根系生长旺期所需的通气孔隙(20%左右)还有较大的差距。一般细谷类作物在成熟期以前,以0.4~0.5巴吸力下生长较好<sup>①</sup>。但从上所述可以看出,在0.5巴左右时,两种土壤主耕层的通气孔隙都不多,一直要土壤吸力达到1巴以上,才有较多的通气孔隙,但此时却不能满足麦子丰产的需水要求。这充分说明黄泥土的主耕层中水气之间的矛盾是比较突出的。

Currie指出,团块内部的土壤空气扩散系数仅为团块间的1/5左右<sup>[7]</sup>。主耕层里大土块多,大土块内常有发青的内核,这是通气不良的表现。由于土块内氧气供应不足,将使根系穿透紧实土壤的能力降低<sup>[7]</sup>,这也是造成表耕层和主耕层根系分布差异的因素之一。

4. 土壤孔隙分布对耕性的影响 土壤力学性质既同土壤中大孔隙数量有关<sup>[1]</sup>,也同土壤中细孔隙相对含量有关。Russell认为,小于几百个埃,特别是小于一百埃的孔隙数量与土壤的可塑性,粘性,坚硬度,易碎度及僵板等特性有关<sup>[7]</sup>。表2结果表明,主耕层中这类细孔隙含量相对较高,这可能是这类粘质水稻土耕性不良的内在原因之一。

通过上述讨论,可以认为,只有通过合理轮作、晒

堡、深耕等措施,改变耕作层的孔隙分布状况,才能使麦子的高产稳产有坚实的土壤基础。目前,在不少田块上能见到,麦子拔节期前的长势很好,但如遇到短期渍水或干旱等不良条件时,其长势很快变劣,以致影响产量。看来,这与当前耕层大小孔隙的分配有着一定关系。

### 三、小 结

黄泥土冬种麦子以后,耕作层明显区分成二个结构性不同的层次。其主耕层不良的孔隙分布特性影响了土壤水分,通气,耕性等条件,进而影响了麦根的伸展。僵板黄泥土的主耕层里,这些特性更趋恶化。水稻土主耕层中这种不良的孔隙分布,使麦子对水分和养分条件变得敏感。虽然,这种土壤中潜在养分含量比较丰富,水分也比较充足,但仍然容易出现作物不耐干旱,化肥“胃口”(需用量)增大等不良现象。看来,要使苏南高产水稻土上进一步提高旱作物产量,必须寻找改善主耕层细孔隙过多,结构性不良的有效途径。

### 参 考 文 献

- [1] 姚贤良等,高产水稻土结构特性的初步研究。土壤学报,15(1):1—11页,1978。
- [2] D. J. 格林兰特(姚贤良译):土壤结构的研究近况及其与水稻土性质和管理的关系。国际水稻土讨论会(南京)论文,1980。
- [3] 徐富安等:两种不同结构性的黄泥土对早稻吸收养分的影响。土壤学报,18(2):199—202页,1981。
- [4] 徐富安:介绍一种测定土壤孔隙的新装置。土壤通报,5期,17—20页,1980。
- [5] 汪仁真等:压力薄膜和压力薄板法在测定土壤吸力上的应用。土壤,第2期,64—67页,1980。
- [6] 日本土壤物理性测定委员会编,1972(翁德衡等译):土壤物理性测定法。214—221页,科学技术文献出版社重庆分社,1979。
- [7] E. W. 腊塞尔,1973(谭世文等译):土壤条件与植物生长。第18、21、22章,科学出版社,1979。

① 同16页脚注②。