

杭嘉湖平原水稻土物理性状的探讨*

方兆登 张益农

(浙江省嘉兴农业学校)

杭嘉湖平原是我国提供商品粮的生产基地之一。随着多熟制的发展和施肥量的增加,对该地区的粮食增产是起了较大的作用。但是,多熟制发展后,土壤浸水时间延长,干耕晒垡的机会减少,土壤出现粘闭、起浆、僵硬,水气矛盾突出。近几年来,农村肥料结构发生了变化,化肥用量愈来愈大,而有机肥的比重日益减少。据嘉兴、海盐、海宁、桐乡和长兴等县市的土壤普查资料统计表明:有机肥与化肥的比例已由以往的60—70%降至30—40%或更少,致使土壤生态平衡失调,土壤物理环境日趋恶化,土壤生产力得不到充分发挥。许多研究工作证明,作物生长与土壤物理性状有密切关系,近年来,我们在生产中经常发现,凡土壤物理环境好的田块,它所获得的生物产量和经济效益均高,反之,则低。因此,现在在杭嘉湖水网平原的水稻土(特别是粘质水稻土)上,与其说是土壤养分条件限制了作物产量,还不如说是土壤物理条件限制着作物的产量。为此,我们将杭嘉湖平原的几种水稻土(基本的理化性质列于表1)的物理试验结果汇总,并联系土壤生产力状况进行初步分析和讨论。

一、土壤孔隙性

土壤孔隙性是土壤中孔隙数量、各种几何形状和大小孔径的组合。它直接影响土壤通气、透水、土壤养分的转化和根系的伸展,对于水稻土孔隙分配在肥力上是很重要的。我们测定了这地区五种土壤的孔隙组成,以原状土为试样,将其安置在土壤测孔仪上^[1],用茹林公式 $D = 3/T$ (式中 D 为当量孔径, T 为土壤吸力)计算孔径大小。所得结果(图1)表明,空隙容(积与吸力有指数曲线($y = ax^b$)关系。

根据贝弗尔(Baver)的划分标准,毛管力小于31.5—100厘米水柱的孔隙为非毛管孔隙即通气孔隙)。布金汉(Buckingham)在对田间土壤水分势能关系的论述中指出,处于土壤剖面中地下水位上某一点的水分,它同时受到重力势和基质势的作用,这点水分达到平衡时,其重力势与基质势相等,这时重力势就是这一点到地下水位的垂直距离^[2]。赵诚斋等建议以土壤吸力 pF_2 时的空隙(孔径大于0.03毫米)作为判断土壤通气性好坏的指标^[3]。这就是耕层土壤在受100厘米水柱吸力作用下的充气孔隙。这种情况对于地下水埋深在100厘米的土壤是合适的。但对地下水位较高的杭嘉湖平原土壤(表2),似应调变其负压更为合理。我们采用60厘米水柱高度($pF_{1.78}$)下测得的空隙量(孔径大于0.05毫米)作为冬作物土壤通气爽水、渍滞的指标。植稻季节土壤处于过饱和状态,而在搁(烤)田时,其地下水埋深一般在30厘米左右,故用30厘米水柱吸力($pF_{1.48}$)的空隙(孔径大于0.1毫米)为指标。从表3可知,通气孔隙无论是冬作或是植稻期间都是粉泥田最高,小粉泥田,白土田次之;相反,孔径 <0.005 毫米的无效孔隙($pF > 2.78$,水分难为作物根系吸收,细菌也难发育)量则以青紫泥田最高,

* 参加本工作有王习根、柯治良、张林康同志,市土办严强同志做数据微机处理,市农科所提供部分资料。一并致谢。

粉泥田最低。这与农民评议青紫泥田渍滞粘糊、排水差闭气、作物迟发，而粉泥田爽水、早发的观念相一致。

表 1 土壤基本理化性质

采样地点及水稻土类型	嘉兴市郊区青紫泥田 (古潜底脱潴潴育型水稻土)	嘉善县黄泥田 (古黄斑潴育型水稻土)	桐乡县小粉泥田 (底钙质潴育型水稻土)	海盐县粉泥田 (古海相潴育型水稻土)	长兴县白土田 (漂洗型水稻土)
<0.01毫米物理性粘粒(%)	64.1	51.9	50.8	48.8	45.4
<0.001毫米粘粒(%)	29.8	23.0	18.9	17.0	16.7
土壤质地(苏制)	轻粘土	重壤土	重壤土	重壤土	重壤土
总孔隙度(%)	57.1	55.6	54.2	49.7	51.6
抗压强度(公斤/厘米 ²)	10.53	8.36	7.69	3.68	5.07
有机碳(a,%)	2.81	1.79	1.76	1.26	1.55
活性有机碳(b,%)	1.13	0.82	0.92	0.67	0.78
易氧化率(a/b,%)	40.0	46.0	52.2	53.2	50.4
充气孔隙度(pF1.78,%)	5.5	5.6	7.1	10.9	7.5
无定形铁(Fe ₀ ,%)	0.848	0.696	0.569	0.386	0.481
游离铁(Fe _d ,%)	1.81	1.76	1.59	1.27	1.26
铁晶胶率(%) (Fe _d -Fe ₀)/Fe ₀	1.13	1.53	1.79	2.29	1.62
铁活化度(Fe ₀ /Fe _d ,%)	0.47	0.40	0.35	0.30	0.38

注：(1) 试样采自耕层0—17厘米，长兴县的耕层为0—15厘米。(2) 抗压强度重复20个，充气孔隙度重复7个。(3) 有机碳和活性有机碳用重铬酸钾法测定。(4) 无定形铁用pH3.2的0.2N草酸提取，游离铁用连二亚硫酸钠—柠檬酸钠—重铬酸钾提取，均用邻啡囉啉比色测定。

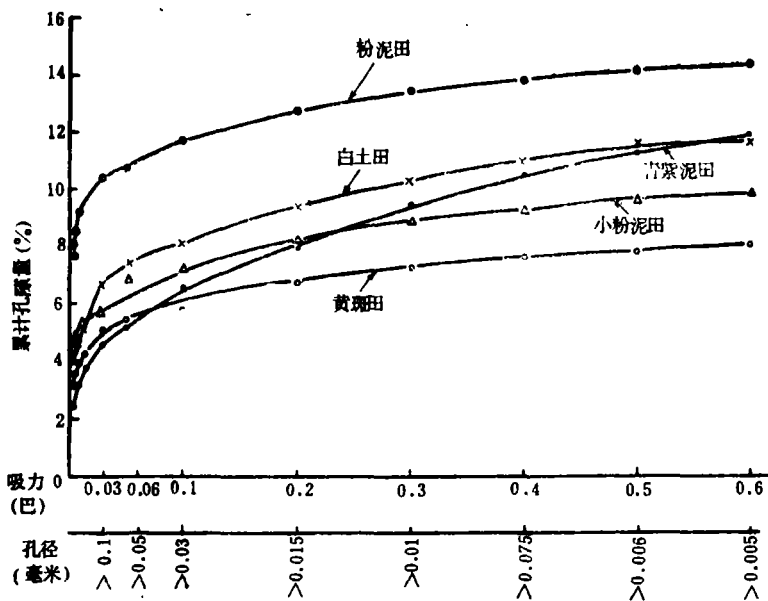


图1 杭嘉湖平原水稻土孔隙分布

表2 杭嘉湖平原水稻土冬季地下水埋深(厘米)

地 点	嘉 兴	嘉 善	平 湖	海 宁	桐 乡	海 盐	长 兴	湖 州
观测点数(个)	1490	1734	1825	2151	1894	1093	555	1009
地下水平均埋深	47.4	45.3	60	52.6	60	60	60	60

表3 不同吸力状态下各级孔隙(%)

吸 力	青紫泥田	黄斑田	小粉泥田	粉泥田	白土田
pF 1.48 (0.03巴)	4.7	5.1	6.8	10.6	7.0
pF 1.78 (0.06巴)	5.5	5.6	7.1	10.9	7.5
pF > 2.78 (>0.06巴)	45.3	44.3	44.2	35.2	39.7

二、土壤结构性

土壤结构既是一项重要的土壤物理性质,又是调节土壤肥力的重要基础。目前国内外学者认为,土壤结构是土壤中不同形状和大小的颗粒(包括团聚体)以及不同颗粒间孔隙的排列方式。因此,水稻土结构只有形态的差别。众所周知,水稻土在植稻期间,土壤淹水,结构体易于分散,落干后土壤抗压强度较大。所以,一些研究者认为用通气孔隙和风干土块的抗压强度(断裂模数)来鉴别水稻土的结构特性是较为确切的^①。我们分别测定了五种土壤的抗压强度和通气孔隙以及与结构有关的有机碳,活性有机碳,易氧化率、无定形铁和游离铁的含量(表1)。并研究了这些因素之间的相互关系列于表4。抗压强度与总孔隙度有很好的正相关,达到极显著水平,这与一般概念不同。因为粘质粘闭土壤,潮湿时往往有较高的孔隙度,其中<0.005毫米孔径的细孔隙占80%,而测抗压强度用的试样是干土块,这时已收缩变紧,这是两种条件下的土壤,故得出相反的结果。粘粒含量和抗压强度有较好的相关性,这是必然的。但这两者的关系可被结构所影响,故又达不到极显著水平。充气孔隙度与无定形铁呈显著负相关,而与铁晶胶率成显著正相关。这些结果说明,无定形铁含量高,土壤结构较差,

表4 土壤因素的相关矩阵

相关因素	粘粒含量	抗压强度	有机碳	活性有机碳	易氧化率	pF _{1.78} 充气孔隙度	无定形铁	游离铁	铁晶胶率	铁化活度	总孔隙度
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1										
2	0.905*	1									
3	0.948*	0.910*	1								
4	0.859	0.914*	0.966*	1							
5	-0.961*	-0.850	-0.921	0.802	1						
6	-0.711	-0.889*	-0.740	-0.744	0.762	1					
7	0.958*	0.978**	0.935*	0.886*	-0.940*	-0.880*	1				
8	0.870	0.956*	0.7894	0.775	-0.784	-0.827	0.934*	1			
9	-0.814	-0.865	-0.880*	-0.839	0.898*	0.923*	-0.906*	-0.731	1		
10	0.877	0.871	0.931*	0.872	-0.945*	-0.868	0.926*	0.736	-0.988**	1	
11	0.848	0.990**	0.869	0.867	-0.842	-0.926*	0.974**	0.965**	0.874	0.863	1

* p≤0.05, ** p≤0.01

① 姚贤良,我国土壤物理学研究现状和进展,中国土壤学会第三次代表大会及年会论文集,1983。

而铁的晶胶率高，土壤结构就较好。有人认为 [5,6], 无定形氧化铁的含量高可以作为高产水稻土具有良好结构的间接指标，显然这一看法不适用于杭嘉湖地区的土壤。

对于这地区的水稻土，特别是粘质水稻土，它们的有机质和无定形氧化铁的含量都较高(表1)，青紫泥田的耕层这两者比粉泥田高出两倍，看来土壤结构和质地都影响氧化铁和有机质的贮存和转化。

由于这里的土壤所处的地下水位都较高，土壤还原性强，这就一方面使稳定土壤结构的胶结氧化物胶溶，另一方面土壤分散的颗粒在高含水量情况下不能重建接触而发展结构。故若土壤排水条件得不到改善，土壤结构也将无法恢复。

土壤嫌气利于有机质积贮，但不能发展结构，这是土壤有机质含量虽高而结构不好的原因。在土壤还原条件下，部分高价铁被还原移动，但因土壤结构不好，低价铁始终羁留在粘闭的土体内，这是结构不好的土壤无定形铁含量高的原因。结构不好的土壤利于有机质积贮，所以，土壤有机质含量与抗压强度成正相关，这与一般概念不同。由此，青泥紫田土湿时粘糊，干时坚硬，特别是冬前的麦田，表土干硬，在地表下10厘米的土块粘初无粗孔隙，根只能沿土块表面生长，用锄也不易切碎，常常以一般所说的僵土块存在。所以本区土壤有机质含量虽高，而肥力仍较低，这与其说是由于土壤有机质的质不好，还不如说是因土壤结构不好之故。

三、土壤收缩与粘闭

随着土壤含水量的降低，相邻间土粒被水膜的拉力拉紧，故土体产生收缩。由于土壤质

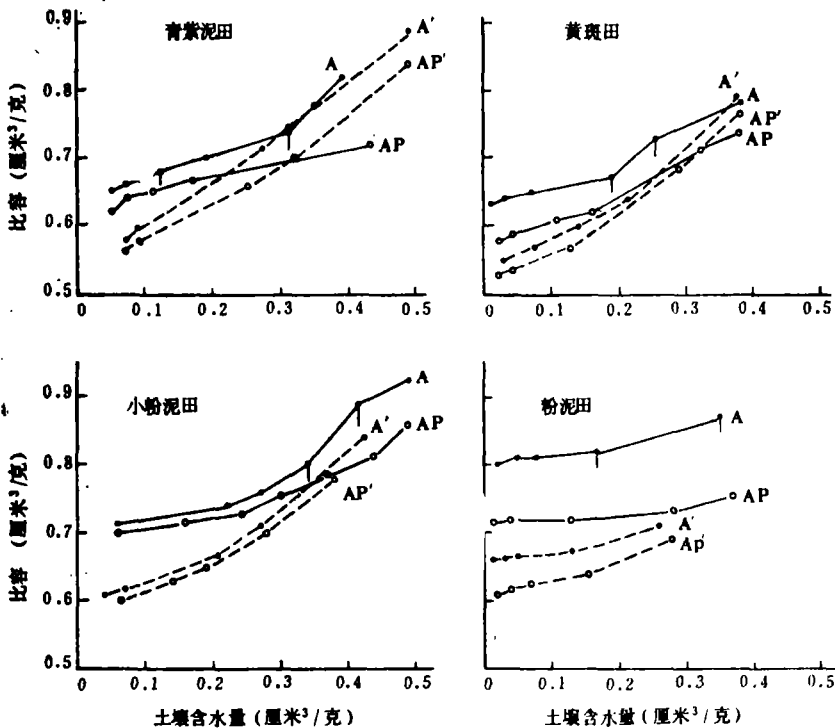


图2 土块比重随含水量变化

(A、AP分别为原状土的耕层、犁底层；A'、AP'分别为重塑土的耕层犁底层)

地及其孔隙粗细有别，所以土壤在脱水变干过程中，其土体收缩也不断发生变化。

土壤收缩过程体积的变化受土壤粘粒含量和通气孔隙所制约。不同土壤的土体收缩率的顺序：青紫泥田(30.8%)>黄斑田(21.8%)>小粉泥田(19.3%)>粉泥田(8%)。Hainse (1923), Stirk (1954)和赵诚斋等研究表明，自然土块的收缩过程一般有结构收缩、常态收缩和剩余收缩三个阶段^[7,8]。结构收缩是通气孔隙排水产生，其间失去水分的容积部分被空气所占据；剩余收缩是由于颗粒间引力引起颗粒的键合(Seed, Mitchell和Chan1960)，从而产生高度粘结；常态收缩是土块在含水量减少过程中，并无空气进入土体内的过程^[9]。

图2的曲线反映了土壤比容和含水量变化的关系。粘粒含量高的青紫泥田含水量减少，一开始就是常态收缩，黄斑田略有结构收缩，常态收缩也明显。故黄斑田的爽水性稍好于青紫泥田。小粉泥田有结构收缩过程。粉泥田不存在常态收缩，所以后两种土壤从高含水量减少时都会增加土壤中气相容积。图2还表明，同一土壤犁底层(AP)的曲线位置低于耕层(A)，这意味着犁底层干后的紧实度相对较大。这与实际情况相符合的。

重塑土是模拟田间多耕多耙把土壤结构破坏了的试样。在所有测定结果中，它们的结构收缩都消失了。看来，水稻土如实行多耕多耙，必然会破坏土壤结构体而发生通气不足的问题，这包括粉泥田和小粉泥田。由此可见，土壤的结构收缩是衡量土壤结构发育的一个尺度。

土壤粘闭是高含水量时在剪力和压力的作用下，土壤的通气孔隙破坏，引起土壤颗粒定向排列，致使原来结构单位不复识别，变为颇为一致的土体，其导水性强烈减低或乃至消失。所以，土壤粘闭是平原地区水稻土(特别是粘质水稻土)物理性恶化的表现。

长期以来，杭嘉湖平原水稻土都实行麦(油、肥)稻、稻熟制，土壤浸水时间延长，手扶拖拉机直接带水旋耕，土粒分散，通气孔隙遭致破坏，故有强烈粘闭的特性。根据青紫泥田间的测定资料(表5)，粘闭土壤的持水性较高，根系的氧化力较低，土壤生产力下降。

表5 不同耕作方式对土壤生产力的影响

处 理	容 重 (克/厘米 ³)	土 壤 含 水 量 (%)	抗 压 强 度 (公斤/厘米 ²)	根 系 氧 化 率 (微克/克鲜根/小时)	产 量 (斤/亩)	
					稻 谷	稻 草
手扶拖拉机直接带水旋耕	1.09	62.0	22.7	39	603	608
手扶拖拉机直接干土旋耕	1.10	58.6	18.1	52	747	653

注：根系氧化率用 α -萘胺法测定

四、结 束 语

(一)杭嘉湖平原水稻土物理性质的恶化主要出现在粘粒(<0.001毫米)含量高的青紫泥田、黄斑田等土壤。尽管这些土壤含有较多的有机质,但由于地下水位高,渍害严重和不合理的耕作、轮作方式,造成土壤结构破坏,通气孔隙减少,细孔隙增多,土壤粘闭,干时僵硬。土壤有机质的易矿化率低,潜在养分未能充分发挥,致使这些土壤每亩年产粮食平均产量在1400斤左右徘徊。而粉泥田,小粉泥田的土壤物理条件好于前者,故土壤生产力每亩产粮食均稳定在1800—2000斤左右。虽土壤有机质较低,而产量较高,可见土壤有机质要在肥力上发挥作用,土壤必须有良好的通气条件。

(二)土壤中无定形氧化铁含量高是土壤结构(或孔隙性)变坏的一个间接因素而土壤铁的晶胶率高恰是衡量土壤结构性或孔隙性良好的间接尺度。当然,土壤长期渍水、粘闭,不仅会使土壤中无定形氧化铁含量增高,而且还会使土壤有机质在肥力上的作用消失。由此看来,

凡能增强土壤中氧化铁的晶胶度的措施, 诸如改“两水一早”为“两早一水”, 改频繁的手扶拖拉机带水旋耕为干耕或干浅耕, 和适当的少耕或免耕等等都有利于提高和改善土壤的结构、通气性。

(三) 杭嘉湖平原粘质水稻土结构性恶化, 表面上与土壤有机质, 无定形氧化铁含量增加有关, 实际上是土壤渍害引起的结果。因此, 土壤排水不良是导致土壤结构恶化的主导因素。对占有水田面积50—60%左右的青紫泥田、黄斑田, 降低地下水位, 排除地表水和减少土体潜层水等“三水”, 使麦季地下水位保持在60厘米以下, 植稻期间在30厘米左右, 这些是改善土壤物理性质, 提高和发挥土壤生产潜力的重要措施。

参 考 文 献

- [1] 徐富安, 介绍一种测定孔隙的新装置。土壤通报, 第5期, 17—20页, 1980。
- [2] Baver, L.D, Soil physics, Third Edition, 217—230, Printed in America, 1956.
- [3] 赵诚高, 土壤结构和它的简易测定法。土壤, 第2期, 51页, 1978。
- [4] 何群等, 土壤中氧化铁的转化及其土壤结构的影响。土壤学报, 第18卷, 4期, 326—334页, 1981。
- [5] 姚贤良等, 关于集约农作制下的土壤结构问题。土壤学报, 第22卷, 3期, 1985。
- [6] 程云生, 水稻土的排水及其意义。土壤学报, 第20卷, 3期, 215—222页, 1983。
- [7] 赵诚高等, 水稻土的水理性质与土壤耕作关系。土壤学报, 第20卷, 2期, 141—151页, 1983。
- [8] Haines, W.B., J Agri. Sci., 13:296—310, 1923.
- [9] 贝佛尔, L.D.等(1972), 土壤物理学(中译本), 76—86页, 科学出版社, 1983。

《新疆农业科学》1988年征订启事

本刊是新疆农学会、新疆农科院、新疆八一农学院主办的综合性农业科技刊物, 主要报道新疆农林牧副渔科研新成果和生产技术新经验, 介绍国内外先进农业技术和科技新知识, 适合广大农业科技人员、农林牧院校师生, 农村工作干部和有一定文化知识的农牧民、农牧场职工阅读。本刊为双月刊, 汉文版每本定价0.35元, 维文版每本定价0.30元, 欢迎读者到当地邮局办理订阅手续。汉文版代号为58—18, 维文版为58—19。