

水稻土的水理性质与土壤耕作的关系

赵诚斋 赵渭生*

(中国科学院南京土壤研究所)

最近的研究工作证明^[10,13,18],作物生长与土壤物理环境有密切关系。一般水稻土有水、旱两作过程,土壤随着淹水、排水和落干的变化相应地发生膨胀、分散、凝聚和收缩。水稻土的物理环境不是固定不变的。耕作形成的土壤环境是暂时的,在没有机械扰动的情況下,土壤物理环境也在自然地向着适合或妨碍植物生长的状态发展,而土壤的结构特性左右着土壤环境的变化趋势和强度^[17,24]。因此,确定一种土壤耕作措施,必须要了解土壤环境的变化规律以及这种环境中土壤结构对环境变化趋势的影响。近年来我们的研究发现,苏南地区传统的水田耕作法是导致土壤发生粘闭的主要原因^[6]。免耕种植既不减产,也对土壤结构的发展有利。国外学者对粘质土壤的膨胀和收缩以及它们对土壤环境的影响已做过一些研究^[11,15,17,21,22,24],并确定了某些基本关系。本文是在苏南地区水稻土上进行这方面的试验结果,并联系土壤耕作和结构的指标进行讨论。

一、供试土壤及试验方法

供试土壤是:(1)黄泥土(粘质潜育性水稻土),(2)乌栅土(沼泽起源的粘质潜育性水稻土),(3)白土(壤质潜育性水稻土),(4)栗子土(粘质底潜潜育性水稻土)。试样的一般理化性质列于表1。分析方法采用土壤学会1965年提供的常规分析法。

测定土块膨胀和收缩的方法简述如下:

(1)土块膨胀和收缩过程中体积的变化:取田间原状土密封移至室内,处理成大致10立方厘米的土块,在逐渐变干和湿润过程中用Puri^[20]的水银排代装置测定土块体积。(2)低吸力下的吸水速度:取大约30—50立方厘米的风干土块,悬于600毫升的宽口瓶中,如同Emerson(1955)的装置^[11],用自来水按每小时2—3毫升的加水速度滴于土块上,未被土块吸收的水分沿土块向下流动滴于瓶底,间隔一定时间将土块称重,求出吸水速度。(3)用淹水法测定土块原来的湿度对吸水量的影响:于水稻收割时采取原状湿土,移至室内风干至不同含水量,淹入水中隔一定时间后测定土块增量和体积。(4)土壤还原对土块膨胀的影响:将大土块风干,处理成直径7—10毫米大小的土块,分别装入盛蒸馏水和3%葡萄糖溶液的摇瓶中(250毫升),在25℃的恒温条件下浸泡半个月(瓶口加塞),然后用萨维洛夫法^[22]测定土块大小的组成。

用偏光显微镜观察土壤结构的微形态^[9]。

* 赵渭生同志现在浙江农业大学工作。

二、试验结果

(一) 结构微形态

从照片 1 可看出, 栗子土(照片 A, B) 的颗粒结合得十分致密, 多角的粗矿物成星点状分布, 好似水磨地上嵌镶的石英, 有一部分呈馒头状或带状的也具有消光现象的粗颗粒, 其中心较明亮, 边缘较暗, 且边界不清楚, 可能是由定向排列的粘粒组成的复粒, 即 Emerson (1959)^[12] 和 Qurik (1963)^[21] 所称的粘团, 但这些颗粒如同单粒一样与其它颗粒紧密结合, 不存在海绵土所具有的多级团聚特征^[6]。绿肥茬中只有少量的弯曲孔隙。麦茬土内孔隙多, 孔壁整齐。

土壤的致密度依栗子土、黄泥土(照片 C)和白土(照片 E)的次序降低, 这种情况同质地变轻的顺序相一致。黄泥土内孔隙较多, 且孔隙的形状弯曲, 看来根容易进入这种土壤, 故有根孔。白土中的粗矿物直接相互接触, 粗矿物之间的空腔没有为细颗粒填满, 所以土体显得特别松。这种土壤的粗矿物的排列方式对土壤紧实度很有影响, 但颗粒的排列好像都系偶然的堆置, 没有一定的几何形状。黄泥土和白土也无多级团聚的特征。

乌栅土(照片 D)的质地与黄泥土相似, 但结构的微形态不同。前者有团块结构, 并有大量粗孔隙, 结构体内的土粒结合也较松。这是一种沼泽土型起源的土壤, 其结构形态与其它土壤不同的原因尚待研究。

总的来看, 一般水稻土都有较明显的粘团特征, 土壤颗粒之间的紧实度与土壤所含的粘粒量有关, 土壤结构反映在孔隙特性。土壤孔隙状况决定于颗粒排列的方式、风化和人的机械作用以及根的穿扎。看来粘土与风化的关系较密切, 质地为重壤以下的土壤, 则与根的关系较大。

(二) 土壤收缩

土壤含水量降低过程中, 毛管弯月面的水分张力能把相邻土粒拉紧, 故粘质土壤随含水量的降低发生收缩。由于土壤中的孔隙粗细不等, 所以在土壤变干过程中收缩不断发生变化。

图 1 的曲线反映土块比容和土壤含水量的比值变化关系, 从此可看出土块的三相变化。其比值为 1 时, 含水量减少过程中无空气进入土内, 这个过程 Haines (1923)^[15] 称为正常收缩, 即曲线成 45° 的直线部份。如比值小于 1, 土中失去水分的容积将有一部份为空气代替。比值与 1 的差额就是土壤中出现的气相容量。对于栗子土和黄泥土的原状土试样, 不论土壤是在高含水量的湿度变化阶段, 还是低含水量的湿度变化阶段, 都可出现比值小于 1 的收缩。Stirk^[24] 称前者为结构收缩, Haines^[15] 称后者为剩余收缩。应该在剩余收缩以下的含水量阶段有一不收缩过程, 由于我们没有测定低含水量的土块容积的变化, 所以在图上没有反映出收缩过程。结构收缩是由大孔隙排水发生的^[17, 22], 剩余收缩是由于颗粒之间产生了相互作用, 包括微结构的影响。

如果按土壤容积改变量与含水量改变量的比值随含水量变化作图, 则每种土壤的曲线变化是一抛物线, 从这曲线可更清楚地看出各类收缩的变化范围, 但这里已将图略去。

表 1 土壤的一般

Table 1 Some chemical and physical

土 壤 Soil	层 次 (cm) Horizon	*机或微 Mech. or micro.	土壤的机械组成或微团聚体组成(%) Soil particle or microaggregate size				
			1—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001
黄 泥 土 Permeable paddy soil	耕 层 0—15 Plowed layer	1 机	0.42	3.89	30.84	16.65	18.70
		2 微	2.78	16.11	48.31	15.75	12.83
	犁底层 15—30 Plow sole	1 机	0.42	2.88	30.30	15.00	19.72
		2 微	1.05	13.25	55.45	14.24	11.97
乌 栅 土 Waterlogged paddy soil	耕 层 0—13 Plowed layer	1 机	0.53	2.44	38.74	13.02	17.50
		2 微	2.58	23.57	49.35	11.53	9.92
	犁底层 13—24 Plow sole	1 机	0.52	1.33	38.44	13.71	14.70
		2 微	1.15	17.05	51.88	14.72	10.46
白 土 Whitish bleached paddy soil	耕 层 0—15 Plowed layer	1 机	1.77	0.54	46.67	14.70	16.14
		2 微	1.55	11.33	62.87	13.39	9.01
	犁底层 15—27 Plow sole	1 机	1.01	3.37	43.12	15.35	16.04
		2 微	1.70	4.42	65.96	14.49	10.04
栗 子 土 Permeable paddy soil	耕 层 0—15 Plowed layer	1 机		6.8	31.2	7.2	12.8
		2 微	12.23	23.34	32.9	11.70	14.17
	犁底层 15—27 Plow sole	1 机		8.7	29.5	9.30	9.5
		2 微	9.06	20.24	37.14	10.62	15.82

* 1 机——机械分析。Mechanical analysis.

2 微——微团聚体分析。Microaggregate analysis.

乌栅土没有正常收缩,白土有正常收缩阶段,但范围不大。如果将比值 0.8 定为正常收缩与结构收缩或剩余收缩的分界点,栗子土、黄泥土和白土的正常收缩跨越的含水量范围分别为 17—20, 8—12 及 2 个水分百分数。剩余收缩的起始含水量有随着土壤粘粒含量的增加而减低的趋势。如栗子土发生在塑限以下,黄泥土接近塑限,白土则在塑限以上。因乌栅土不存在正常收缩,所以这种土壤的任何含水量的降低都会增加土壤中的气相容积。

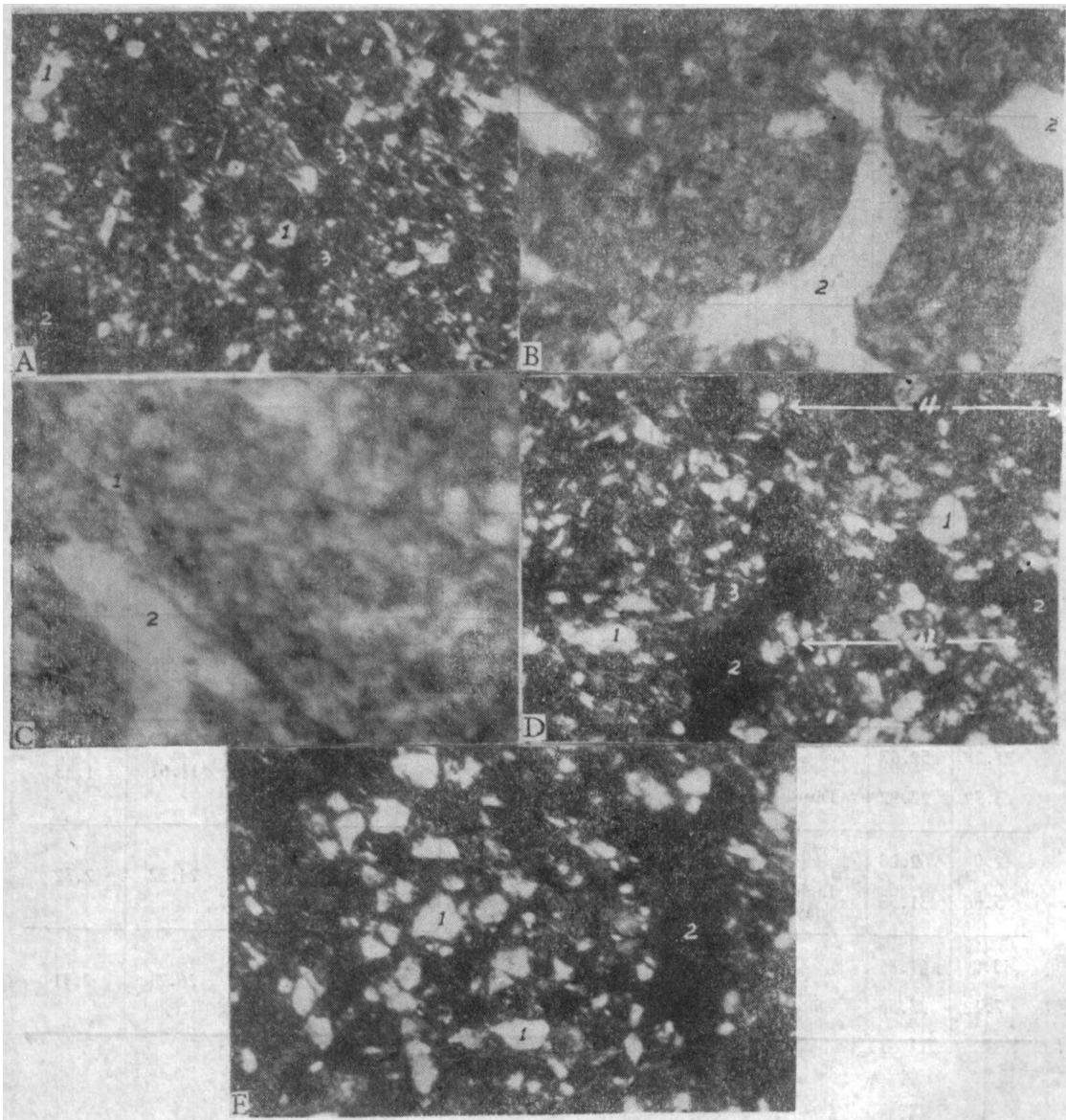
重塑土是把土壤结构破坏了的试样,所有测定结果中结构收缩都已消失了,包括乌栅土。可见结构收缩是由土壤结构的发育产生的。重塑土的剩余收缩的起始含水量也有所降低,大概土壤微结构被破坏之故。

理化性质

properties of soils used for experiment

(粒径: mm)		质地名称 Texture	流 塑 限 (%) Liquid and plastic limit			结构指数 Structural index	有机质 (%) C. M.	代换量 (meq/100 克土) C.E.C.	活性铁 Fe_2O_3 (%) Free iron
			流 限 Liquid limit	塑 限 Plastic limit	塑性指数 Plastic index				
<0.001	<0.01								
30.30	65.56	粉砂质轻粘土 Light clay	46	22	24	86.2	2.22	19.91	2.67
4.21	32.80								
31.68	66.40	同 上	44	21	23	84.0	1.62	20.55	2.72
4.03	30.24	Ditto							
27.75	58.30	粗粉质重壤土 Heavy loam	47	24	23	89.0	2.86	21.50	2.03
3.05	24.50								
31.30	59.71	同 上	43	20	23	85.5	1.70	22.00	1.96
4.55	29.71	Ditto							
20.18	51.02	粗粉质重壤土 Heavy loam	38	22	16	91.0	2.08	12.57	1.49
1.84	24.24								
21.28	52.67	同 上	38	21	17	83.5	1.75	11.61	1.43
3.39	27.92	Ditto							
42.0	62.00	粘 质 轻 粘 土 Light clay	48	26	22	86.5	2.64	24.32	2.72
5.66	31.53								
43.0	61.8	同 上	48	26	22	83.5	1.89	26.21	2.41
7.12	33.56	Ditto							

图 1 还表明,同一种土壤的不同试样中,犁底层的曲线位置最低,这意味着这种试样的紧实度相对较大,这是符合实际情况的。栗子土和黄泥土的收缩曲线的位置从犁底层向绿肥茬、麦茬依次提高,但曲线的坡度基本不变;乌栅土的曲线位置比黄泥土高,曲线的坡度又比黄泥土平缓。我们已在偏光显微镜下观察到,栗子土和黄泥土的麦茬试样比相同土的绿肥茬试样中的粗孔隙多,而结构体内的颗粒排列基本相同。从乌栅土和黄泥土的比较来看,前者不仅孔隙量多,而且结构体内颗粒的结合也较松,所以收缩曲线位置的高低以及坡度大小都是反映结构状况的,而土壤结构在土体随含水量的变化过程中始终影响三相比的关系。



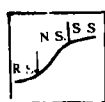
- A. 栗子土,绿肥茬(正交) Permeable paddy soil. Under milk vetch (crossed nicols)
 B. 栗子土,麦茬(单偏光) Permeable paddy soil. Under wheat (plane transmitted light)
 C. 黄泥土,绿肥茬(单偏光) Permeable paddy soil. Under milk vetch (plane transmitted light)
 D. 乌栅土,麦茬(正交) Waterlogged paddy soil Under wheat (crossed nicols)
 E. 白土,麦茬(正交) Whitish bleached paddy soil Under wheat (crossed nicols)

注解: 1——粗矿物; 2——孔隙; 3——粘团; 4——结构体。

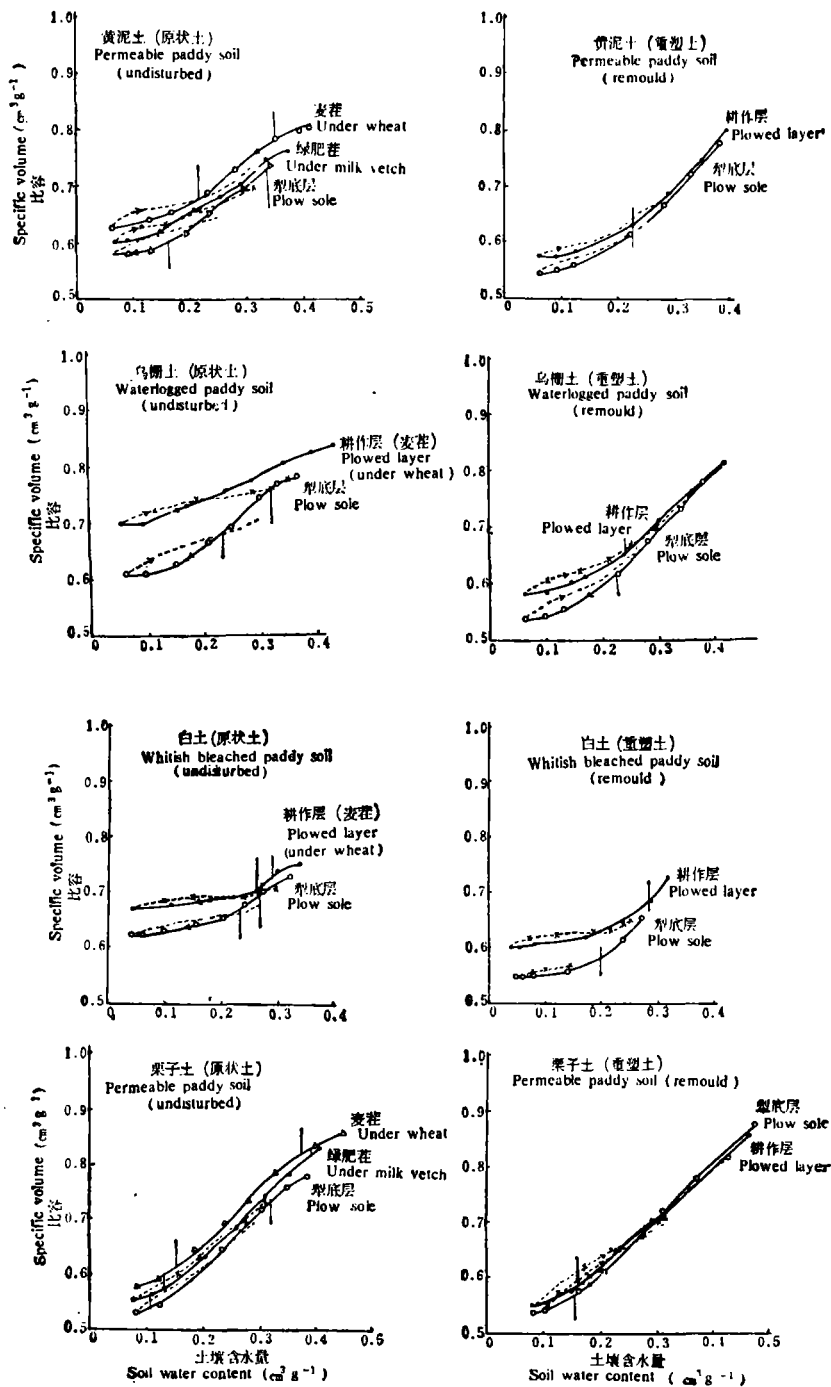
Note: 1——Coarse mineral; 2——Pore space; 3——Clomain; 4——Microaggregate.

照片 1 在偏光显微镜下观察耕层土块的微形态
 (樊润成和朱济成两同志帮助磨片和摄制)

Plate 1 The micromorphology of soil crumblin plowed layer observed under polarizing microscope



结构收缩
S.S. = Shrinkage of structure
正常收缩
N.S. = Normal shrinkage
剩余收缩
R.S. = residual shrinkage



注: —收缩 Shrinkage;膨胀 Swelling

图1 土块比容随含水量的变化

Fig. 1 Relationship between soil apparent specific volume and soil moisture content

表 2 土壤吸收水分后的密度和含水量
Table 2 The bulk density and water content of clod after absorbing water

土 壤 Soil	土 层 Horizon	土块重 (g) (风干) Weight of clod (air dry)	吸水前容重 (g/cm ³) Weight before absorbing water	吸水后容重 (g/cm ³) Weight after absorbing water	吸入水总量 (ml/100g) Total water absorbed	二天的吸水量 Water absorbed after two days		剩余吸水量* Residual water absorbed		土块持水量 (%) Water holding capacity of clod
						水量 (ml/100g) Water absorbed	占总量 (%) In total water absorbed	水量 (ml/100g) Water absorbed	占总量 (%) In total water absorbed	
黄泥土 Pernicable paddy soil	耕层(绿肥茬) Plowed layer (under milk vetch)	62.2	1.68	1.28	33.6	26.8	79.8	6.8	20.2	41.2
	犁底层 Plow sole	65.3	1.82	1.44	25.6	21.4	83.5	4.2	16.5	32.4
乌棚土 Waterlogged paddy soil	耕层(麦茬) Plowed layer (under wheat)	60.5	1.44	1.20	37.9	30.6	80.8	7.3	19.2	46.5
	犁底层 Plow sole	64.2	1.67	1.27	34.2	28.1	82.2	6.1	17.8	41.3
白 土 Whitish bleached paddy soil	耕层(麦茬) Plowed layer (under wheat)	67.0	1.63	1.44	30.4	23.2	88.0	3.2	12.0	32.2
	犁底层 Plow sole	66.7	1.67	1.45	27.1	23.9	88.2	3.2	11.8	32.1
栗子土 Pernicable paddy soil	耕层(绿肥茬) Plowed layer (under milk vetch)	69.8	1.78	1.22	35.3	25.2	71.5	10.1	28.5	44.7
	耕层(麦茬) Plowed layer (under wheat)	65.7	1.52	1.12	42.5	30.5	71.8	12.0	28.2	49.5
	犁底层 Plow sole	66.3	1.90	1.34	26.7	22.4	83.0	4.3	17.0	37.8

* 二天后的吸水量。 Water absorbed after two days.

(三) 土壤膨胀

土壤膨胀由下列两种原因产生: 一是粘粒表面和表面吸附的阳离子的水化能; 二是粘土片之间的离子浓度和土壤溶液中的离子浓度这两者的差产生的渗透压 (因胶体表面的电荷影响离子扩散, 好像存在一种半渗透性膜)。当膨胀压与土粒之间的结合力达到平衡时则膨胀中止, 所以土壤膨胀与土壤的胶结性有关。

从图 1 可看出, 干土块膨胀的比容比相同含水量收缩曲线上的比容高, 这表明水稻土的膨胀可改变土粒的排列。Haines^[13] 将此现象看成是粘土块的结构发育。在含水量较高的部位, 重塑土的膨胀曲线和收缩曲线相重合, 此与 Haines 的研究结果一致, 而对原状土膨胀曲线在收缩曲线的下方, 说明土块内结构体中的颗粒排列比收缩前紧了, 收缩增加了结构体的内聚力。

从图 2 可看出, 土块的膨胀时间持续较长, 可达 3 个月以上, 不同土壤的耕层和犁底层的吸水速度 (吸水速度用吸水总量的百分数表示) 是不同的, 耕层土壤吸水的持续时间较长, 吸入的水量也较多; 而犁底层土较早终止吸水, 吸入的水量也较少。按照 Emerson (1955)^[11] 的意见, 低吸力下的土壤持续膨胀是由于粘粒的水化和粘粒不断发生重新排列所致。从图 2 的统计结果制成的表 2 可看出, 最后土块稳定的容重以耕层土样较小, 这说

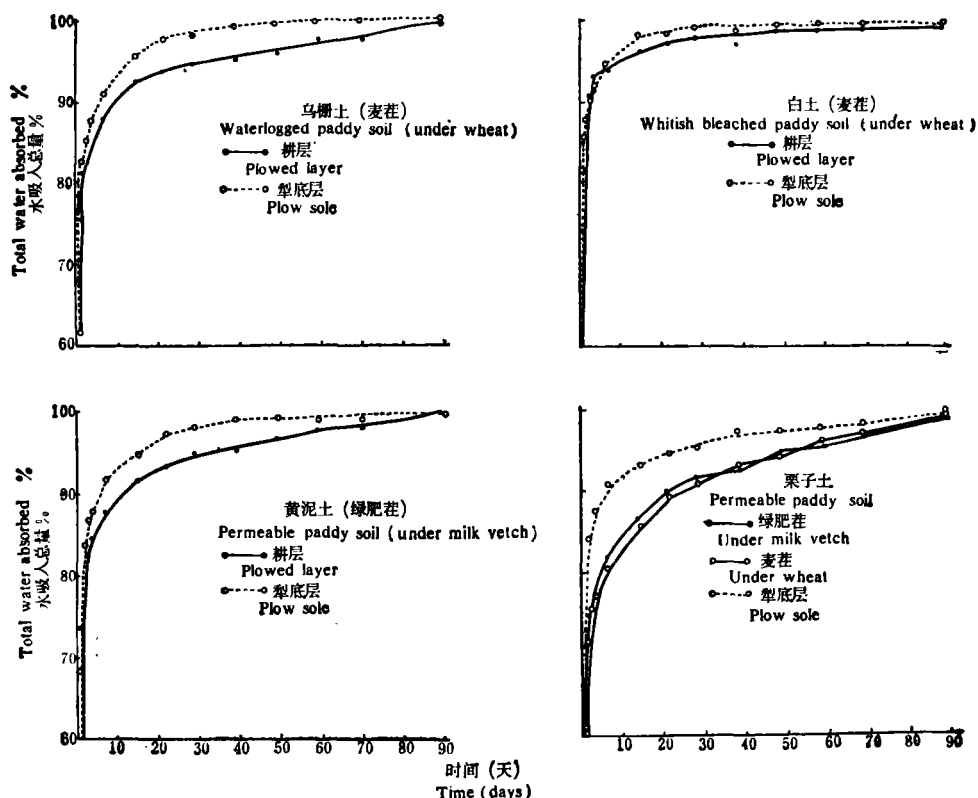


图 2 土块在低吸力下的吸水速度

Fig. 2 The absorbing rate of clod under low suction

明耕层土有较高的膨胀性。但白土的耕层和犁底层土的水化性没有什么差别,而且两者都小。

栗子土的绿肥茬和麦茬(后者是经过风化的表土)、以及黄泥土(麦茬)和乌栅土(麦茬),这两对土的质地基本相同而容重不同,土壤的吸水曲线几乎重合,水分吸入的绝对量以容重小的较多,土块膨胀后原来是容重小的也仍小;我们从吸水两天后的剩余吸水量可看出,容重小的较高(表2)。这些结果说明,颗粒结合疏松的土壤,一方面可容纳较多的水分,同时也是粘粒发生水化和重新排列所必须的条件。

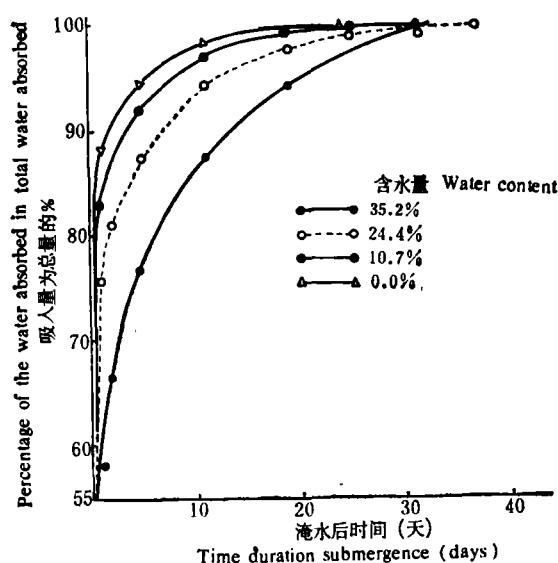


图3 不同含水量的土块浸入水后水分吸入量随时间的变化(栗子土)

Fig. 3 The content of the adsorbed water by soil clod submerged in water in relation to time duration of submergence

图3是用栗子土为试样,处理成不同含水量后测定吸水速度的结果。把试验开始和试验末的土壤含水量和容重列成表3,可以看出,土壤含水量在24.4%(接近塑限)以上时,起始含水量的高低不影响土壤的膨胀。但在这个数值以下的含水量影响很显著,含水量愈低,土壤的膨胀性能愈小(即容重最大)。从图3的持续吸水性来看,土壤起始含水量愈高,持续时间愈长,含水量愈低,愈早终止吸水,可见土壤干燥程度有抑制粘粒水化和重新排列的作用。

环境还原可使土壤膨胀进一步发展。从表4可看出,用葡萄糖溶液还原土壤后,>3毫米的土块量比水处理的低,而<0.25毫米的细土较高,未分散土(土块)的持水量提高10个百分点。还原对结构好的土壤比对结构差的土壤分散作用大。但两种处理中分散量大的也不超过1/5左右,随着土壤中粘粒含量的增加还原的分散作用有减低趋势,所以粘质水稻土在一般渍水条件下如无机机械扰动,它可以在较长时间内以一种亚稳结构状态存在。

三、讨 论

苏南地区秋季整地时的土壤含水量经常在塑限以上,有时甚至接近流限,因此,耕作制备的种床是由大量的土块堆积而成的。一般重壤质以上的水稻土都有强烈粘闭的特性,这是由传统的渍水耙耖耕作法形成的^[6]。土壤的粘闭性质基本上不受耕作直接影响,因为耕作不能直接改变结构。我们从黄泥土和栗子土的收缩测定结果已看到,这些土壤的结构收缩的范围很小,正常收缩的范围可达塑限。因为在结构收缩过程中失去水分的部份体积被空气代替,而在正常收缩过程中空气不能进入。所以只有在土壤排水过程的开始阶段,土壤的通气性才能得到改善。当土壤进一步变干时,通气性的改善实际上是非常有限的,这可能就是水稻土的蓝灰色在秋耕后很久不能消失的原因。如果土壤结构破坏成像重塑土那样,则结构收缩将完全消失,即使土壤含水量充分降低也不能改变土块的嫌气状况。根据 Russell^[23] (1973) 从洛桑试验场的土壤条件推算出,夏季使一种渍水的土块能通气透心,其半径必须小于 0.4—1.0 厘米,而至冬季,可超过 2.0 厘米,所以现有的机具即使实现强度碎土亦难解决土块的嫌气问题,特别是当温暖季节来临的时候。因此,耕作碎土的作用远不如维护或发展土壤结构孔隙的重要,这或者是当前免耕种麦不减产的原因之一,因为免耕栽培不仅可利用稻板田适合三麦三早(早出苗、早齐苗及早分蘖)的水分特性,而且也可避免土壤结构孔隙的破坏。

在土壤含水量降低过程中进入正常收缩阶段以后,土壤机械强度也将随含水量的降低不断增加^[3,4],而氧的供应并不能进一步改善。根据 Gill 等^[44] (1956) 研究,在土壤对根系生长的阻力增大的情况下,如要维持根系原来的生长速度,必须同时增加氧的供给,所以三麦期间粘质水稻土似以维持高水平的土壤含水量为宜。在苗期这一点除秋旱年份外是容易满足的,但在返青以后,常常会发生干旱,每为田间管理所忽视。遭到秋旱年份,也不能忽视水分灌溉。所以在某些排水好的地区,秋季不宜待土壤含水量充分降低后才实现耕翻,当然烂耕烂耙是要防止的,因为耕作时含水量过高容易导致土壤发生粘闭。

土壤干缩后再度膨胀,土壤的结构孔隙发展了,而结构体的紧实度也将增加,从而发展了结构的稳定性,因干燥可强化颗粒间的粘结键,这是水稻土结构发展的主要条件。粒间粘结键的建立有待于土粒外的水膜消失,这样便于土粒发生直接接触。这大概就是为什么粘质水稻土的土块其含水量必须降低到塑性限 (pF 2.8—3.3) 以下才能有比较稳固的原因。土壤含水量降低到塑限对作物生长可发生严重伤害^[1]。所以在作物生长期间土壤含水量是不允许降到这一较低水平的。三熟制实现后,茬口之间的时间很短促,一般难以安排晒垡,这大概就是农民普遍反映土壤发僵的原因。因为亚耕层的土壤含水量不能降至很低,而结构不稳固的当再度淹水时,即膨胀到原来的状况,故土壤的粘闭特性得不到改善,但是,由于蒸发的关系,耕层的表土则不然,有时土壤含水量可降至很低,并可发生反覆的干、湿变化,所以旱作期间土壤结构的发展限于表土,而底土不存在结构改变的条件。如何创造底土的干燥机会,这是耕作的重要任务。从此看来,长期免耕是一个还待研究的问题。

粘质土壤虽在低吸力下可持续膨胀,但在较长时间内仍保持着原来的结构。在我们

的试验中,一般渍水分散率仅 20% 左右,而这些小于 0.25 毫米的土粒亦非呈单粒状态,但结构的强度很低,容易为机械扰动所破坏。土壤还原可增加分散率,特别是对有松软结构的土壤影响更大。还原条件也使土块的持水量提高,即减少了妨碍土块膨胀的能障。这些结果说明,水稻土的部份水稳性是由某些氧化物的胶结作用产生的。故如降低水稻田的还原性和避免渍水耙耖必然有助于土壤结构的维护,但是,传统的土壤耕作制却在水田中大量施用有机肥,并且进行渍水耙耖,这两项措施正违背了保护结构的原则。当前有不少关于免耕种植可发展土壤结构的报道^[6,7],认为土壤免受机械扰动,可使土壤结构得到累积发展。

各种土壤的耕层和犁底层之间的膨胀性能的差异较大,而土壤的基本理化性质差异不大,只有干土块的容重不同,看来土壤结构对膨胀也有影响。因为犁底层土在长期的耕作活动影响下,土壤变板了,土壤干缩过程中所发生的强大的毛管张力将促进粘粒的定向排列。从耕层土块的显微观察已表明,粘质土块的结构是粘闭的,可见,干缩亦可促进粘粒的定向排列。粘闭土壤的粒间(脱水后)有很大的内聚力,亦有某些物质起胶结作用,使土块既有较大的机械强度,也缺乏亲水性,土块因此发僵。改善这种粘闭土壤结构的首要条件是,消失土粒表面的水膜,以便土粒重新接触^[46],然后待土块膨胀时再形成结构孔隙。显然,渍水条件下土粒是不能重新接触的,所以没有改善结构的可能。改变粘闭土壤的结构只能靠旱作过程中的土壤受到干湿交替的作用,所以耕作改良土壤,必须与排水相结合,低温粘地区的土壤往往结构不好,原因就在于此。

白土和乌栅土都无正常收缩,所以这两种土壤当具有适当排水条件时就不会出现嫌气问题,但当土壤结构破坏,如同重塑土那样,则亦将会出现不同程度的正常收缩。苏南地区中壤质以上的土壤占据了极大的面积,所以维护土壤结构是土壤耕作中的一个重要问题。传统耕作制中的秋耕强调全层精细碎土,这是一个不利于维护土壤结构的措施。因为,耕作工具把土块切小时必然施入大量能量,犁在剪毁土垡前必须有压缩^[49],由于土壤渡过了长期的渍水还原环境,它的结构强度已很低,所以耕作形成的土块往往是粘闭的。

最后,我们再讨论一下水稻土的结构问题。试验结果已表明:水稻土的结构状况不能用团絮体的数量或结构系数来表示,土壤结构的差别明显地反映在结构收缩和正常收缩的含水量的范围以及剩余收缩的起始含水量,即土壤比容的变化与含水量的关系。曲线的坡度和转折反映土壤内在的粗细孔隙的状况。根据土壤容重来判断土壤结构,这是一个常用的方法。但是,粘质水稻土的容重值是含水量的函数,田间条件下的土壤含水量是不断变化的,显然把容重作为结构指标是不恰当的。用负压法研究土壤有效孔隙^[2],只能适用于具有低吸力的水分范围,因为该时结构收缩对土壤容积的影响不大,如果使用高吸力,因在正常收缩范围内算出的某一级孔隙大小的值将是虚数,所以,此方法亦不适合。烘干的自然土块的比容包含了结构发育所产生的孔隙因子,而烘干的重塑土块是不含这一因子的。因此这两者之差该是土壤结构发育的量。Russell^[23] (1973) 把结构孔隙定义为大得足以可容纳土粒而空着的孔隙,因它们是结构发育产生的,故可作为一种表示土壤结构的量度。作者曾根据这原理创拟了一个测定土壤结构的方法^[5],尚能反映水稻土结构的发育状况。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所水分组, 1976: 土壤湿度计的原理与应用。土壤, 第4期, 228—230页。
- [2] 瓦久尼娜, A. Ф. 等, 1965: 土壤及土质物理性质测定法。科学出版社。
- [3] 赵诚斋, 1963: 水稻土的物理机械性质与机械化耕作的关系。土壤学报, 第11卷第1期, 53—62页。
- [4] 赵诚斋、吕秉光, 1964: 水稻土的力学性质与水分含量的关系。土壤学报, 第12卷第2期, 132—142页。
- [5] 赵诚斋, 1978: 土壤结构和它的简易测定法。土壤, 第2期, 51页。
- [6] 赵诚斋、周正度、董百舒, 1981年: 苏南地区水稻土的合理耕作的研究。土壤学报, 第18卷第3期, 223—233页。
- [7] 徐学前等, 1982: 稻麦轮作制中免耕效果的研究。江苏农业科学第4期。
- [8] 唐克丽, 1978: 大寨海绵土微形态特征。土壤学报, 第15卷第2期, 165—173页。
- [9] 樊润威、朱济成, 1963: 红壤结构性的腐片观察。土壤学报, 第11卷第4期, 426—432页。
- [10] Cannell, R. Q., 1975: Current research on soil environment and root growth at A. R. C. Letcombe Laboratory. Proceedings of a conference organized by the soil scientists of the A. D. A. S., 439—448.
- [11] Emerson, W. W., 1955: The rate water uptake of soil crumbs at low suction. J. Soil Sci., 6: 148—159.
- [12] Emerson, W. W., 1959: The structure of soil crumbs. J. Soil Sci., 10(2): 235—244.
- [13] Ghildyal, B. P., 1978: Physical properties and rice growth. Soil and Rice, 317—336.
- [14] Gill, W. R. and R. D. Miller, 1956: A method for studies of the influence of mechanical impedance and aeration on the growth of seedling roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 20(2): 154—157.
- [15] Haines, W. B., 1923: The Volume-Changes associated with variation of water content in soil. J. Agri. Sci., 13: 296—310.
- [16] Koeniges, F. F. R., 1963: The puddling of clay soils. Neth. J. Agric. Sci., 11 (2): 145—155.
- [17] Lauritzen, C. W., 1948: Apparent specific volume and shrinkage characteristics of soil materials. Soil Sci., 65: 155—179.
- [18] Low, A. J., 1975: A review of recent and current European work on soil physical condition and crop production, Proceedings of a conference organized by the soil scientists of the A. D. A. S., 483—505.
- [19] Nichols, M. L., I.F. Reed and C. A. Reaves 1958: Soil reaction: To plowshare design. Agr. Eng., 39: 336—339.
- [20] Puri, A. N., 1948: Soil their Physics and Chemistry, 502—504.
- [21] Qurik, J. P. and Aylmore, L. A. G., 1963: Swelling and Shrinkage of clay-water systems 7th Cong Int. Soc. Soil Sci., 11: 49.
- [22] Reeve, M. J. and D. G. M. Hall, 1978: Shrinkage in clayey subsoil contrasting structure. J. Soil Sci., 29(3): 315—323.
- [23] Russell, E. W., 1973: Soil condition and plant growth, 10th Edition: 410—416, 479—482.
- [24] Strik, G. B., 1954: Some aspects of soil Shrinkage and the effect of cracking upon water entry into the soil. Aust. J. Agri. Res., 5: 279—290.

THE PHYSICAL BEHAVIORS OF SOIL-WATER SYSTEM OF PADDY SOIL IN RELATION TO TILLAGE

Zhao Chengzhai and Zhao Weisheng

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing*)

Summary

The present paper deals with the morphological characteristics of soil structure and their relations to shrinkage and swelling. Four paddy soils used in the study were collected from Taihu lake region. The content of clay in the soils ranged from 20—40%. Plough layer and plowpan of clayey paddy soil are characterized by puddling and compactness. Weathering may advance the formation of structural pores of the soil. There are internal relations between behaviors of soil shrinkage and swelling and regime of soil structure. There are three shrinkage stages of a clayey soil clod in the drying process, i. e., structural shrinkage, normal shrinkage and residual shrinkage. The ratios of the change of soil volume to volume of water lost from soil in the three stages are < 1 , 1 and < 1 respectively. When structure of clod is destroyed, the structural shrinkage disappears and normal shrinkage develops. Therefore the characteristics of soil shrinkage can reflect the regime of soil structure.

The process of alternate wetting and drying may develop pore of structure. Only the water content is lowered below the plastic limit can the cohesion of clay particles become stable. Development of structure can contribute to hydration and swelling of soil colloidal material, and hence may improve the compactness and rigidity of soil clod. The poor structure of soil clod is characterized not only by small swelling, but also by shorter time duration of swelling. Soil under reduction condition can weaken the cohesion of particles, but the structure is more stable and can persist in long time, if it is not disturbed.

Based on the data of our experiment, discussion on the problem of conventional tillage is made, the necessary conditions and the principle of tillage for structure development are suggested. It is also suggested that though no-tillage is favourable for the development of soil structure, it has its disadvantages.