

太湖地区黄泥土的粘闭对 作物生长的影响*

张佳宝 赵诚斋

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

本试验是以太湖地区两种不同质地的黄泥土为对象,通过盆栽和田间小区试验,研究了粘闭土壤和团聚土壤对水稻生长的影响,并对粘闭土壤回旱后,如何减轻对旱作物生长的危害做了初步探索。其结果表明:土壤粘闭对水稻生长的影响与水位和渗漏等因素密切相关,在淹水不渗漏的盆钵条件下,粘闭土壤对水稻生长的效果优于团聚土壤,特别是对于粘质黄泥土更是如此。但是这种优势在田间自然条件下,由于渗漏以及其它因素的参与,又可能被模糊。粘闭土壤不利于旱作物生长的主要原因是粘闭土壤回旱后,适于作物生长的土壤湿度、通气以及机械强度难以协调。减轻粘闭土壤对旱作物生长的危害,首先考虑通过耕作来恢复土壤结构,但在较高的含水量(大于塑限)时,应以排水增加通气为主,而不能指望通过机械耕作来调节,因为机具的作用只能导致土壤的进一步粘闭。较为适中的措施是免耕结合排水。

粘闭作用 (Puddling) 是指土壤在渍水的条件下从事机械耕作,土壤结构体受到破坏,土壤质地趋于均一的过程。结构良好的土壤转变成粘闭状态,必须具备两个条件,即增加土壤含水量和对土壤做机械功^[9]。大部分亚洲国家种植水稻都采用粘闭耕层土壤这一措施,只有美国、澳大利亚以及部分欧洲和亚洲国家种植水稻时,先干整地播种,然后淹水。较早报告粘闭过程特点的是 Buehrer 等人 (1943)^[2],以后 Bodman 等 (1948)^[4]对粘闭过程的动力学特性做了较为仔细的研究,认为粘闭过程经受二种变形应力的作用,即与压缩有关的正应力和由剪切引起的切应力。1963年 Koenigs 根据粘土的膨胀理论以及不同含水量时土壤粘结力和粘附力的变化,对粘闭过程发生的机理做了较为详细的阐述,并指出土壤发生最大粘闭的含水量是在田间持水量左右。

粘闭作用对作物生长的影响在晚近报告较多^[7,13]。Lal (1984) 根据 Mabbayad^[10] (1967) 和 De Datta (1979) 等人^[6]的工作做过总结,指出了不同类型的土壤对粘闭的反应与需求。一般地说,若粘闭后使土壤物理性质发生急剧变化,这对水稻生长是有利的,反之则影响不大。例如,对砂质土以及易分散的粘质土,粘闭引起土壤结构状况、漏渗速率等因素的变化不大,因而粘闭的实际意义较小。具有混合矿物型的一些泛滥平原土壤,由于地下水位高,渗漏性差,粘闭不如干整对土物性质的影响强烈,所以粘闭作用不大。但

* 本文系张佳宝同志硕士论文的一部分。

是对于结构较好的壤质、粘质土,情况比较复杂,有报告指出,粘闭破坏了土壤结构,降低了渗透量,有利于水稻生长^[2-10];但也有研究指出,在施用除草剂的情况下,在不粘闭的土壤上生长的水稻产量并不低,且对旱作物产生良好的生长环境。因此明确粘闭作用在这些土壤上的实际效果已经不容忽视,这对于化简耕作过程具有较大意义。本试验是以太湖地区两种不同质地黄泥土为对象,通过盆栽和田间小区试验,研究了粘闭土壤和团聚土壤对水稻生长的影响,并对粘闭土壤回旱后,如何减轻对旱作物生长的危害做了初步探索,其目的是为了评价粘闭作用在耕作中的实际效果。

一、试验材料与方法

供试土壤为太湖地区分布面积较大的两种不同质地(重壤质、轻粘质)的黄泥土,分别采自江苏省无锡市东亭村(以下简称“东亭”)和吴县胥口农科站(以下简称“胥口”)。其基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤的理化性质

Table 1 Some chemical and physical properties of soils used for experiment

采样地点 Locality	土壤 Soil	有机质(%) O. M.	代换量 (meq/100g) C. E. C.	全N含量 (%) Total N	流 塑 限 (%) Liquid and plastic limit		
					流限 Liquid limit	塑限 Plastic limit	塑限指数 Plastic index
无锡东亭	重壤质黄泥土	2.99	17.52	0.186	46.2	24.5	21.7
吴县胥口	轻粘质黄泥土	2.92	22.20	0.172	48.6	26.1	22.5

土 壤 机 械 组 成 (%) (粒 径: mm) Soil particle					
1—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	<0.001
1.44	12.55	36.51	14.17	24.03	24.03
1.63	7.47	34.47	12.40	13.57	30.42

(一) 实验室测试 (1) 全N用克氏法; (2) 有机质用湿烧法; (3) 交换量用 EDTA-铵盐法; (4) 机械分析用吸管法; (5) 塑限用搓条法; (6) 流限用瓦氏锥式法; (7) 容重用环刀法; (8) 土壤收缩用 Puri^[11] 的水银排代装置测定。

(二) 盆栽试验 土样通过 1cm 筛孔的筛子,试验处理如下:

(1) 不同水位条件下粘闭对水稻生长的影响试验设计为 2×2 的随机排列,即粘闭与不粘闭(团聚的),每种处理分别控制两种水位,试验方案如下:

编 号	处 理
东亭 DAP 胥口 XAP	水位 + 3cm ¹⁾ , 粘闭(带水搅拌)
DAG XAG	水位 + 3cm, 团聚(过 1cm 筛,未搅拌)

1) 土表为零,土表以下为负,土表以上为正。

DBP	XBP	水位-10cm, 粘闭
DBG	XBG	水位-10cm, 团聚

每种处理重复3次,试验盆钵规格为 20×20 cm,每盆装土样4.5公斤,加硫酸铵1.5克。水稻整个生长期无渗漏过程。1984年5月7日插秧,每盆3穴,每穴4株,水稻品种为原丰早,秧龄25天,1984年8月11日成熟期收获。

(2) 不同土壤水吸力条件下粘闭对小麦生长的影响: 试验设计为 2×2 的随机排列,即粘闭与不粘闭(团聚),每种处理分别控制两种水分吸力,为了模拟田间烂耕烂耙的情况,又将粘闭处理分成整体粘闭、粘闭后切成5cm大土块和切成2.5cm小土块三种情况,整个试验方案如下:

- LG 团聚态,吸力: 50—100cm 水柱
- LP 整体粘闭(最大毛管持水量时搅拌)吸力同上
- LP5 粘闭后切成5cm大土块,吸力同上
- LP2.5 粘闭后切成2.5cm小土块,吸力同上
- HG 团聚态,吸力: 400—450cm 水柱
- HP 整体粘闭,吸力: 400—450 cm水柱
- HP5 粘闭后切成5cm大土块,吸力同上
- HP2.5 粘闭后切成2.5cm小土块,吸力同上

每种处理重复3次,试验盆钵采用特制的双层盆,内盆壁砂性透水,规格为 20×20 cm,每盆用土样4公斤,加硫酸铵2克和土混合,用张力计控制吸力。1983年11月14日播种,每盆栽小麦12株,1984年4月2日成熟期收获,品种为宁8017。

(三) 田间试验 (1) 微区试验: 为了在田间条件下研究粘闭对水稻生长的影响,在胥口黄泥土上,将直径50cm高20cm的无底塑料筒埋入0—15cm耕层,在试验地内随机采取经晒3天的耕层干土壤若干,用手掰成3—5cm土块,称取相当于32公斤烘干重的土量装入塑料筒内,加5克硫酸铵并与土混匀,泡水后又分两种处理,粘闭和团聚的,每种处理重复4次,整个水稻生长期存在自然渗漏,这可与不渗漏的水稻盆钵试验形成对照。1984年6月22日与大田一起插秧,每筒10穴,每穴4株,水稻品种为早单八,1984年10月15日收获。

(2) 小区试验: 为观察大田粘闭对水稻生长的影响,在胥口(1984年6月)黄泥土上分别布置了采用粘闭与不采用粘闭措施的小区试验,粘闭处理是干耕晒垡3天,灌水后旋耕3次;不粘闭(团聚土壤)处理是干耕晒垡3天,灌水后人工推平。每个处理重复4次,小区面积为 20×30 m²,各小区施有机肥(猪灰)5担,过磷酸钙1.5斤,氯化钾0.7公斤。1984年6月22日插秧,1984年7月3日和17日分别做过1斤/每区尿素追肥,10月15日收获。

(3) 大田试验: 1983年6月在东亭黄泥土上布置了采用与不采用粘闭措施的大田对照试验,粘闭处理是耕翻后晒垡,浸水耙耖;不粘闭处理是耕翻后晒垡,耙细土壤,人工推平后灌水。施肥根据当地水平,草塘泥80担,碳铵40斤/亩。每块地面积为0.67亩。6月6日插秧,10月20日收获。

二、结果与讨论

(一) 粘闭对水稻生长的影响

从表2可以看出,粘闭的效果与土壤质地以及水位的控制有密切关系。

东亭重壤质黄泥土,籽实产量以DAP(水位+3cm,粘闭)为最高,DBP(水位-10cm,粘闭)为最低。由此可知这种土壤粘闭后,水位降低到-10cm时,对水稻生长不利。但是在DAG(水位+3cm,团聚)和DBG(水位-10cm,团聚)的团聚土壤上,水位并不

表 2 粘闭对水稻生长的影响 (盆钵试验)

Table 2 Effect of puddling on rice yield (pot experiment)

土 壤 Soil	处 理 Treatment	干物质重 (g/pot) Dry matter weight	SSR* (p = 0.05)	籽 粒 重 (g/pot) Grain yield
东亭重壤质黄泥土	DAP	71.93	a	38.80
	DAG	69.53	ab	32.26
	DBP	56.37	d	26.26
	DBG	67.53	abc	33.59
胥口轻粘质黄泥土	XAP	72.17	a	36.70
	XAG	64.97	b	30.61
	XBP	59.90	b	29.05
	XBG	61.06	b	26.62
SSR* (p = 0.05)	千粒重 (g) Weight of 1000 grains	SSR* (p = 0.05)	结实率 (%) Setting percentage	SSR* (p = 0.05)
a	18.73	a	80.52	ab
bc	18.78	ab	64.49	d
d	17.60	d	71.07	c
b	18.40	abc	82.56	a
a	18.68	abc	77.83	a
b	19.13	a	72.47	a
b	18.00	d	76.24	a
b	19.02	ab	79.07	a

* 新复极差多重复合比较。

影响水稻的生长。从总干物重来看,除 DBP 外, DAP、DAG 和 DBG 之间都没有明显差异。不难看出, DAP 是通过提高籽/草比率增加籽粒产量的。水稻生长期的长势和长相观察也表明,在 DAP 上生长的水稻,茎秆的高度比较一致,而在 DAG 和 DBG 上生长的水稻,茎秆高度有参差不齐现象。在 DBP 上,水稻长势较差,且土壤有较多的裂缝,看来是由于土壤收缩和水分张力的提高阻碍了水稻根系的生长。

胥口轻粘质黄泥土,无论是籽实产量还是干物质重都是以生长在 XAP (水位 +3cm, 粘闭)上的水稻为最高。由此可见,这种土壤对粘闭的需求较为强烈。

通过进一步分析籽实产量差异的来源(表 3),就可以看出,东亭重壤质黄泥土,水位对水稻产量的作用是相当显著的,粘闭的效果并不明显,而水位与粘闭间的交互作用相当显著。这表明土壤粘闭后必须加强水分管理,即需要经常维持水位。胥口轻粘质黄泥土不仅水位作用明显,而且粘闭的作用以及它与水位间的交互作用也非常显著。因此,即使在水分欠缺的情况下,也能显示出粘闭作用的效果。

表 3 籽实产量的方差分析(盆栽试验)

Table 3 Analysis of variance on rice grain yield (two factors pot experiment)

土 壤 Soil	变异来源、 Source of variation	自由 度 Degree of freedom	平方和 Sum of squares	均 方 差 Mean square	计算的 F 值 Computed F	查表 F 值 Tabular F	
						5%	1%
东亭壤质黄泥土	水位间	1	63.48	63.48	31.90**	5.99	13.74
	粘闭、团聚间	1	5.88	5.88	2.95		
	互交	1	105.77	105.77	53.15**		
	误差	6	11.96	1.99			
晋口粘质黄泥土	水位间	1	63.76	63.76	212.53**		
	粘闭、团聚间	1	22.35	22.35	76.17**		
	互交	1	25.50	25.50	85.00**		
	误差	6	1.77	0.30			

表 4 田间条件下粘闭对水稻产量的影响

Table 4 Effect of puddling on rice yield in field

土壤 Soil	作物 Crop	处 理 Treatment		干 物 重 Dry matter weight	LSD* (0.05)	颗 粒 重 Grain yield	LSD* (0.05)
		微区	团聚 粘闭				
晋口轻粘质 黄泥土	单季水稻	微区	团聚	292.6 克/区	3.25*	144.8 克/区	1.41
			粘闭	341.0 克/区		157.9 克/区	
晋口轻粘质 黄泥土	单季水稻	小区	团聚	2195.6 斤/亩	2.07	1083.3 斤/亩	1.78
			粘闭	2290.0 斤/亩		1118.5 斤/亩	
东亭重壤质 黄泥土	单季水稻	大田	团聚	—	—	925.4 斤/亩	—
			粘闭	—		921.5 斤/亩	

* LSD 显著性检验。

由上分析所知,在不存在渗漏的条件下,粘闭对黄泥土上的水稻生长是有效的,特别是对粘质黄泥土更是如此,而这种效益的发挥又与水份管理有着密切的关系。如果将水位较长期地降到-10cm,就会阻碍水稻的生长。粘闭导致水稻有较高的籽实产量,可能与促进N素矿化有关^[2], Grant (1965)^[3]认为粘闭分散的土粒被水膜包围,吸附态的矿物养分更易被交换。

在田间条件下,粘闭的效果又是如何?从田间微区试验的结果(表4)可以看出,粘闭土壤上的水稻干物质平均重量高于团聚土壤上的水稻干物质重,但是籽实的产量没有显著性差异。这表明粘闭的效果可能被较低的田间渗漏以及其他因素的作用所模糊。从落干的速度来看,粘闭土壤低于团聚土壤,所以它们之间的渗漏速率可能存在差异,渗漏水可使溶解氧带入土壤并能排除一部分有毒物质^[3],同时还能提高土壤的温度^[4]。虽然这

里缺乏渗漏速度与养分变化关系的研究，但是早有人报道只要渗漏不造成养分的大量淋失，提高渗漏速率对水稻生长是有一定作用的^[3]。观察两种处理上的水稻根系生长状况，也可发现生长在团聚土壤上的水稻根系活力较强(表 5)。

田间小区试验与微区试验的结果基本相同(表 4)。从水稻长势来看，秧苗活棵以粘闭区较快，到了分蘖期，团聚区有不同程度的缺 N 现象，这可能与土壤中 N 素损失有关，亦可能由于大土块妨碍 N 素释放。但是这种现象立即被分蘖后期以及拔节孕穗期的两次追肥所改变，团聚区中后期的水稻长势逐渐赶上粘闭区。

表 5 粘闭对水稻根系活性的影响 (根数/每株)

Table 5 Effect of puddling on rice root activity (root number/individual plant)

处 理 Treatment	棕 根 Brown root	白 根 White root	黑 根 Black root
粘 闭	149.2	14.0	5.1
团 聚	153.3	16.8	1.7
LSD (0.05)	0.56	3.1*	3.2*

移栽 50 天后测定(微区), n = 15。

综上所述,粘闭作用的发挥与某些特定的物理因素有着密切的联系,如水位、渗漏等。对于黄泥土,盆钵试验已经证实,在淹水的条件下,粘闭对水稻的生长是有利的,特别是对于粘质黄泥土,但是在田间条件下,渗漏作用的参与,水位的不断变化,大量施用肥料都将会掩盖粘闭效果。

(二) 粘闭土壤对小麦生长的影响

粘闭土壤对旱作物的生长影响较大,这早为研究者们报告,但是对于已经粘闭的土壤,怎样才能减轻它的危害仍是需要探索的问题。

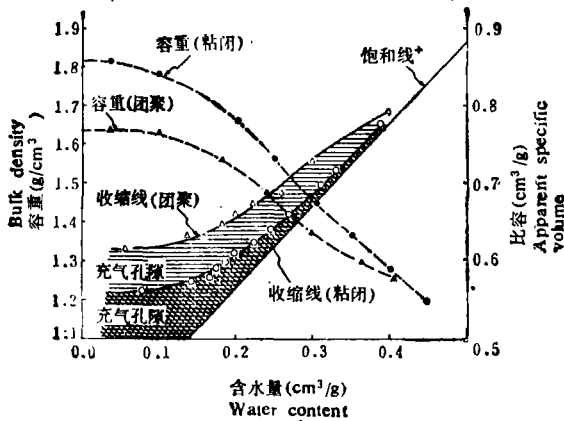


图 1 含水量与充气孔隙、容重的关系
Fig. 1 Relationship between soil moisture content and soil apparent specific volume or bulk density

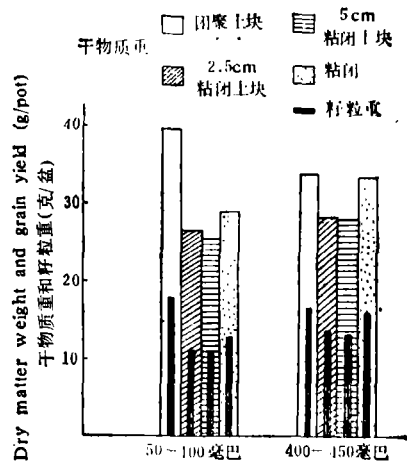


图 2 在不同的水吸力条件下各种模拟耕作措施对小麦产量的影响
Fig. 2 Effect of tillage methods on wheat yield in different water potentials

一般认为,适宜农作物生长的容重在 1.0—1.2 克/cm³, 通气孔隙应大于 15%^[1]。图 1 展示了东亨黄泥土田间粘闭和团聚的土壤脱水后, 充气孔隙以及容重的变化情况。随着水分含量的降低, 粘闭土壤的容重增加速率高于对照的团聚土壤, 当土壤含水量在 30% 时, 粘闭土壤容重为 1.44 克/厘米³。通气的改善更差于团聚土壤, 粘闭土壤和团聚土壤的充气孔隙度分别为 2.6% 和 10%。由此可见, 粘闭土壤影响小麦生长的主要原因是适宜作物生长的土壤湿度、通气以及容重这三者之间的关系难以协调。

图 2 是三种模拟耕作措施的盆栽试验结果, 从结果中可以看出一些减轻粘闭土壤对小麦生长危害的可能途径。土壤水吸力的变化对小麦干物质质量影响较大, 但对有不同结构的土壤其效果各异。团聚土壤, 当土壤水吸力由 50—100 毫巴增加到 400—450 毫巴时, 小麦干物质质量明显下降; 整体粘闭土壤, 当土壤水吸力由 50—100 毫巴增加到 400—500 毫巴时, 小麦干物质质量明显上升; 而粘闭后切块的土壤在土壤水吸力改变后, 干物质质量变化较小。观察容重和通气孔隙变化状况可知(表 6), 400—450 毫巴时, 团聚土壤小麦干物质质量的降低与水分张力的提高有直接的关系, 因为两种土壤水吸力条件下, 土壤容重没有发生差异, 在低吸力时的通气孔隙已经满足了小麦生长的要求, 这就说明降低含水量会影响小麦的丰产。但是对于粘闭土壤, 它并不是限制因子, 在这土壤水吸力的变化范围内, 通气因素比水分应力更显得重要, 尽管容重由吸力 50—100 毫巴时的 1.33 克/cm³ 上升到 400—450 毫巴时的 1.44 克/厘米³, 可是小麦的产量不仅没有降低, 反而有所增加。显然, 增加通气孔隙所获得的效益比防止张力和容重增加所获得的效益高得多。因此, 粘闭土壤加强土壤通气是非常重要的。上图还表明, 在高含水量(土壤水吸力为 50—100 毫巴)情况下, 试图通过切块来改善通气状况, 其效果是很差的, 甚至连在粘闭土壤上所具有的排水增气效果也随之消失。这证明切块只能增加土块之间的孔隙, 并不能改变内部的通气。从试验末小麦根系的分布状况观察发现, 团聚土壤上, 根系发达, 上下层分布均匀; 粘闭土壤上, 根粗但量少, 并都集中在上层, 当水分吸力增加后, 根系分布下移, 但量仍然不多; 粘闭切块的土壤上, 根细长, 主要分布在土块间的隙缝内, 很少穿插到土块的内部。根系分布的不同, 必然会引起小麦对土壤养分吸收的差异, 从而导致产量的变化。

上述可知, 对已经粘闭的土壤, 如果直接从整地细度着眼, 效果是有限的, 若通过适宜

表 6 各种模拟耕作措施的土壤在两种土壤水吸力下的容重和充气孔隙度

Table 6 Bulk density and air-filled porosity in every treatment under two water suctions

土壤物理性质 Soil physical properties	水吸力(巴) Water suction (mbar)	团聚土壤 Granulated clods	粘闭土壤 Puddled clods	粘闭后切成 2.5cm 土块 2.5 cm puddled clods	粘闭后切成 5cm 土块 5 cm puddled clods
容 重 (g/cm ³)	50—100	1.21	1.33	1.29	1.37
	400—450	1.20	1.44	1.28	1.39
充气孔隙度* (%)	50—100	14.6	4.5	8.4	4.4
	400—450	23.5	8.7	18.9	13.3

* pF2 时的充气孔隙度。

耕作,使土壤产生团聚状结构,则土壤的生产潜力就会得到较大发挥,但是根据 Koenigs (1963) 的研究结果,在含水量未降到塑限时,借助任何机械操作是很难达到此目的的,因为粘闭土壤的特点是土壤颗粒被水膜包围,要使它们重新恢复结构,就必须降低颗粒间所保持的水分,使其形成较稳固的接触,以抵御耕作过程中外力的作用所造成的粘闭土块的进一步粘闭。本试验的结果也指出,在较高的含水量情况下,即使将粘闭土壤切成 2.5cm 大小的土块,也未能获得较好的效果,而事实上,机具碎土已很难达到这种程度。因此,在高含水量时,就不能指望通过机械碎土来改善土壤结构,一个较为适中的措施是免耕结合排水,因为免耕避免了土块在高含水量下机械扰动的进一步粘闭,使旱作物有一部分根系在土壤中分布。这也是近年来太湖地区旱作免耕获得较好结果的原因之一。

参 考 文 献

- [1] 姚贤良, 1981: 土壤物理条件对植物生长的影响及其调节。土壤学进展,第 6 期,1—15 页。
- [2] 蔡贵信、朱兆良, 1983: 水稻生长对土壤氮素矿化的影响。土壤学报,第 20 卷 3 期,272—278 页。
- [3] 高井康雄(叶维青译), 1982: 水田土壤动态的微生物学研究。土壤学进展,第 1 期,23—34 页。
- [4] Bodman, G. B., and Rubin, J. 1948: Soil puddling: Soil Sci. Soc. Am. Proc., 13: 27—36.
- [5] Buehrer, T. F., and Rose, M. S. 1943: Studies in soil structure V. Bound water in normal and puddled soils. Arizona Agric. Exp. Sta. Tech. Bull. 100.
- [6] De Datta, S. K., Bolton F. R., and Lin, W. L. 1979: Prospects for using minimum and zero tillage in tropical lowland rice. Weed Res., 19: 9—15.
- [7] Ghildial, B. P., 1978: Effects of compaction and puddling on soil physical properties and rice growth. in "Soil and Rice". IRRI, Los Banos, Philippines.
- [8] Grant, C. J., 1965: Soil characteristics associated with the wet cultivation of rice. Pages 15—28 in The Mineral Nutrition of the Rice Plant. IRRI, Johns Hopkins Press, Baltimore.
- [9] Koenigs, F. F. R., 1963: The puddling of clay soils. Neth. J. Agr. Sci., 11: 145—156.
- [10] Mabbayad, B. B. and Buencasa, I. A., 1967: Tests on minimum tillage of transplanted rice. Phil. Agr., 5: 541—551.
- [11] Puri, A. N., 1948: Soil their Physics and Chemistry, 502—504.
- [12] Lal, R., 1985: Tillage in lowland rice based cropping systems. Pages 283—309 in "Soil Physics and Rice". IRRI, Los Banos, Philippines.
- [13] Sanchez, P. A., 1973: Puddling tropical rice soils. I. Growth and nutritional aspects. Soil Sci. 115: 149—158. II Effects of water losses. Soil Sci., 115: 303—308.
- [14] Sharma, P. K. and S. K. De Datta, 1985: Effect of puddling on soil physical properties and processes. Pages 217—234 in "Soil Physics and Rice". IRRI, Los Banos, Philippines.

EFFECT OF PUDDLING OF PADDY SOIL ON CROP GROWTH IN TAIHU LAKE REGION

Zhang Jiabao and Zhao Chengzhai

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

For evaluating the effect of puddling on crop growth, comparative experiments have been carried out. Soils used in experiments were two paddy soils in Taihu Lake Region. Results obtained showed that puddling of clayey paddy soil, especially, of the soil with poor structure was beneficial to rice growth under pot experimental condition of no leaching; but the advantage of puddling disappeared under field condition. This may be due to that the effect of puddling is concealed by leaching, fertilization, etc. of the soil under field condition. It was also found that the main reason affecting the growth of upland crop was the unharmonic regime among moisture, air and mechanical strength of puddled soil, which could not be improved by mechanical approach when the soil water content was above plastic limits. It is suggested that drainage of the soil should be the only way to accelerate the aeration of the soil under this condition.