

# 太湖地区水稻土复合胶体的特性\*

傅积平 张敬森 熊毅

(中国科学院南京土壤研究所)

太湖地区是我国水稻高产地区之一。在长期耕种利用下,土壤肥力发生了很大变化。为了不断提高土壤肥力,水稻土的培肥研究十分重要。近年来,我国开展了太湖地区水稻土的研究,取得了一定的成果。熊毅等<sup>[10]</sup>在总结群众经验的基础上提出,爽水性是肥沃水稻土的标志,而耕层出现鳞血斑和青泥条,可分辨水稻土的肥瘦。陈家坊<sup>[4]</sup>和姚贤良<sup>[7]</sup>等则很强调土壤通气孔隙对水稻高产的重要。此外,也有研究水稻土的质地<sup>[3]</sup>和氮素营养<sup>[3]</sup>等。但以往的研究很少联系复合胶体特性与水稻土肥力的关系。本文着重探讨有机质的复合与团聚作用,及其对水稻土肥力特性的影响,为土壤培肥提供依据。

## 一、样品和方法

供试土壤采自太湖地区几种代表性水稻土,包括不同肥力水平的爽水水稻土(黄泥

表1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical-chemical properties of soil samples

土壤类型 Soil type	采样地点 Sampling locality	肥力水平 Fertility*	pH (H <sub>2</sub> O)	有机质 (%) Organic matter	游离氧化铁 (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %) Free iron oxide	粘粒 (<0.002mm) (%) Clay
爽水水稻土 (黄泥土) Well permeable	吴县 农科所	较高H	5.11	3.13	2.54	35.1
		较低L	5.94	2.75	2.43	30.1
	吴县 里口公社	较高H	5.68	3.29	2.32	32.1
		较低L	6.30	3.00	2.05	34.3
侧渗水稻土 (白土) Side bleached	宜兴县 岳亭公社	较高H	6.29	2.71	1.94	22.9
		较低L	6.73	1.93	1.42	19.1
	武进县 农科所	较高H	5.39	2.79	1.88	28.7
		较低L	5.91	1.85	1.81	25.2
潜育化水稻土 (乌栅土, 竖头乌栅土) Gleyed	昆山县 城北公社	较高H	6.13	3.47	1.68	24.0
		较低L	7.43	2.78	1.64	25.8
	常熟县 辛庄公社	较高H	7.51	3.19	1.98	28.9
		较低L	7.64	3.60	1.55	30.3

\* H-Higher; L-Lower, (下同)

\* 高柳青同志曾参加部分工作。

土)、侧渗水稻土(白土)和潜育化水稻土(乌栅土和竖头乌栅土)的耕层(0—20厘米)土样。土壤的基本理化性质见表1。

有机无机复合度测定: 采用比重分组法<sup>[8]</sup>。将土壤置于比重2.0的重液(杜列液)中, 经超声分散和离心分离, 去除悬浮于重液上部比重 $<2.0$ 的“轻组”部分, 主要是游离态非复合的有机物质; 沉于管底的比重 $>2.0$ 的“重组”部分, 主要是有机-粘粒(粉砂粒)复合体及一些游离的无机物。收集的重组土样置于50—60℃下烘干, 称重, 按丘林法测定有机碳, 并按公式计算复合量和复合度。

结合态腐殖质分组测定: 采用改进法<sup>1)</sup>。称取一定量的土样, 先用比重2.0的重液处理, 在超声分散条件下, 去除比重 $<2.0$ 的“轻组”有机物质。比重 $>2.0$ 的重组土样, 用0.1N NaOH溶液提取松结合态腐殖质(I组); 剩余土样继用0.1N NaOH和0.1M  $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 混合液(pH约13)提取稳结合态腐殖质(II组); 残余土中的有机质即紧结合态腐殖质, 又称胡敏素(III组)。

其它分析方法: 土壤小于2微米的复合胶体用超声波分散, 并用重力沉降法分离<sup>[9]</sup>。胶体的比表面积用乙二醇乙醚法测定<sup>[2]</sup>。相对粘度用乌氏粘度计测定。阳离子交换量用1N醋酸铵法。无定形铁用pH 3.2的0.2M草酸铵的缓冲溶液提取; 游离氧化铁用连二亚硫酸钠-柠檬酸钠提取, 并用邻菲罗啉比色法定铁。

## 二、结果和讨论

### (一) 胶结物质与水稻土的团聚性

1. 水稻土的团聚状况 水稻土是一种有结构的土壤, 但它的结构体相对较小, 主要呈微团聚体状态。湿筛分析结果(表2)表明, 肥力高的水稻土(简称高肥土壤)中1—0.25毫米水稳性团聚体约比肥力低的水稻土(简称低肥土壤)高出2—14%; 而小于0.25毫米的微团聚体则是低肥土壤为多。看来, 在一定的粒级范围内, 水稳性团聚体的粒径有随土壤肥力的提高而增大的趋势。

一般来说, 太湖地区水稻土的结构稳定性较差。土壤在水中浸泡一昼夜, 大约20—

表2 水稳性团聚体数量(%)

Table 2 The content of water-stable aggregates in paddy soil

土壤 Soil type	肥力水平 Fertility	团聚体粒径 (mm) Aggregate		
		1—0.5	0.5—0.25	<0.25
黄泥土 Well permeable	较高H	15.4	8.7	33.6
	较低L	11.2	8.0	33.1
白土 Side bleached	较高H	14.5	9.5	46.4
	较低L	5.7	5.2	78.3
乌栅土 Gleyed	较高H	13.3	9.6	42.2
	较低L	11.4	9.5	64.1
竖头乌栅土 Hard gleyed	较高H	14.6	9.1	40.9
	较低L	11.3	8.7	64.6

1) 傅积平, 1982: 土壤结合态腐殖质的分组测定。(待刊稿)

60% 的土块散成小于 0.25 毫米粒级。浸水后如再振荡五分钟,则大部分分散。但是高肥土壤仍显示较大的稳定性,反映在结构破坏率小,分散度低(图 1, 2)。

从土壤微形态照片(图版 I, 照片 1) 也可看出土壤团聚状况的差异。低肥土壤结构緻密,根孔和锈斑较少,偶见个别铁质凝团;在正交偏光镜下可见较多细纤维状光性定向粘粒。高肥土壤根孔较多,孔隙发达,锈斑也多,沿孔壁可见较多暗红棕色“鱗血”准胶膜,粘

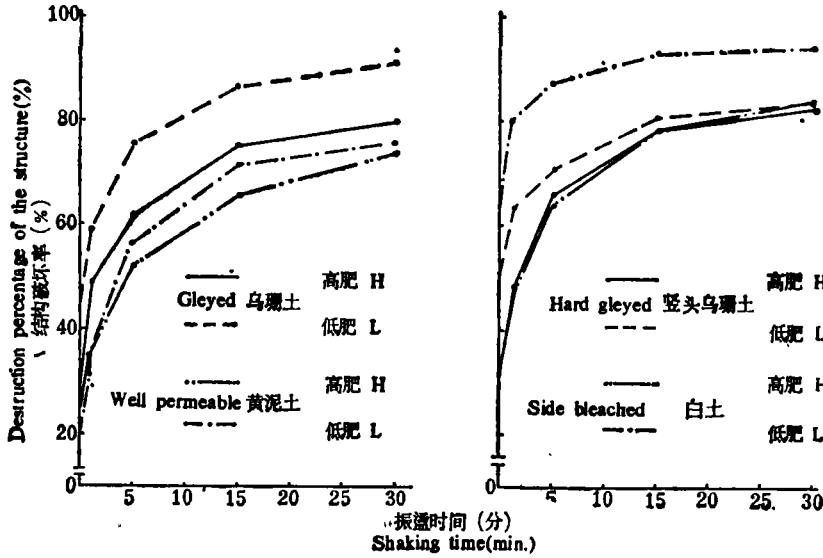


图 1 水稻土的结构破坏率

Fig. 1 Destruction percentage of the structure of paddy soil

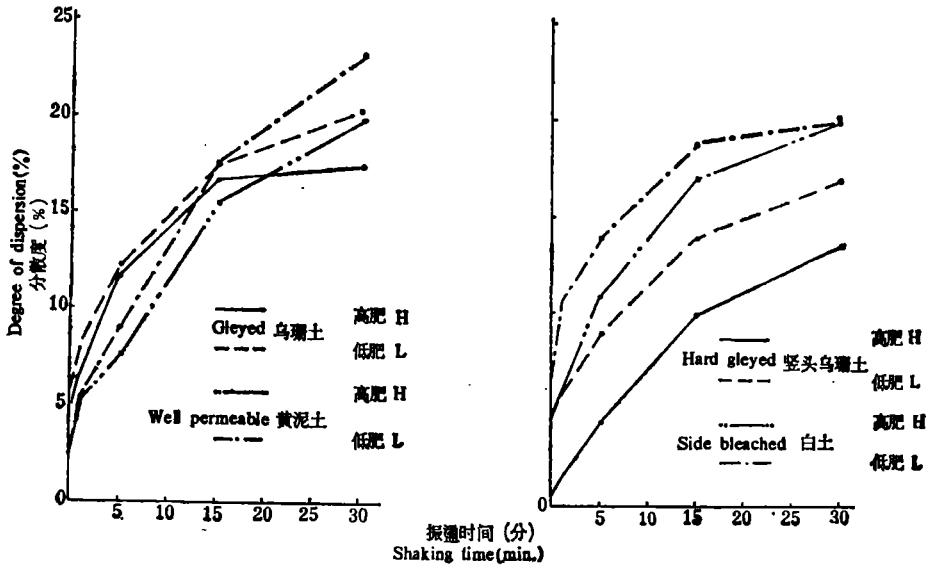


图 2 水稻土的分散度

Fig. 2 The degree of dispersion of paddy soil

粒排列不规则,定向性不显。“鳝血”是肥沃水稻土的一个重要特征。它实际上是有有机物质与氧化铁和粘粒矿物相互作用形成的一种有机无机复合体。而粘粒的定向排列则是土壤结构性变差的表现。为了提高水稻土的肥力,可通过改善土壤内排水条件和增施有机肥料,促使“鳝血”的大量形成,有利于形成良好的土壤结构。

表 3 各级水稳性团聚体中有机碳含量(%)  
Table 3 Organic carbon content of water-stable aggregates

土 壤 Soil type	肥力水平 Fertility	土壤有机碳 Organic carbon of soil	团聚体中有机碳(粒径: mm) Organic carbon of aggregates		
			1—0.5	0.5—0.25	0.25—0.06
黄 泥 土 Well permeable	较高H	1.82	1.97	1.77	1.77
	较低L	1.60	1.76	1.61	1.61
白 土 Side bleached	较高H	1.57	1.94	1.76	1.43
	较低L	1.12	1.84	1.52	0.95
乌 栅 土 Gleyed	较高H	2.01	2.60	2.29	2.00
	较低L	1.61	2.27	1.93	1.56
竖头乌栅土 Hard gleyed	较高H	1.85	2.48	2.25	1.96
	较低L	2.09	3.03	2.76	2.19

2. 胶结物质的团聚作用 腐殖质是团聚土粒的主要有机胶结剂。从表 3 可以看出,在一定的粒径范围内,团聚体越大,有机碳量也相应增加。1—0.5 毫米水稳性团聚体中富含有机质的可能原因,一方面是由于其中包裹有一部分粗有机质;另一方面,粘粒对腐殖质的吸附也是形成较大团聚体的一个重要原因。此外,团聚体中的有机碳量还随土壤肥力的提高而明显增加。说明有机质在形成良好的土壤结构中起重要作用。但是沼泽起源的竖头乌栅土却不然。这类土壤的有机质含量虽高,但肥力很低,反映在土体构造较差,保肥供肥性能较弱。所以,评价竖头乌栅土肥力的高低,不能单凭有机质含量的多少,更应重视其品质。

无机胶结物质也是形成团聚体的重要组成成分。据颗粒大小分析结果表 4 表明,组成水稻土团聚体的原始颗粒是多粒级的混合物。不同大小团聚体中颗粒的分配因各土不同,黄泥土和乌栅土团聚体中颗粒组成的差异不如白土明显。粘粒和粉砂粒在形成较大的团聚体中都起作用,但对肥沃的白土来说,粘粒的胶结作用似比粉砂粒更重要。

水稻土中氧化铁的胶结作用也不可忽视。表 5 表明,各级团聚体中游离态和无定形氧化铁含量有一定差异;而交换性钙、镁含量差异不大。游离态氧化铁似对形成较大的团聚体起一定作用。随着土壤肥力的提高,无定形氧化铁有所增加,氧化铁的活化度有所提高。看来,增加土壤有机质似可提高水稻土中无定形铁和络合态铁的含量<sup>[9]</sup>。并提高土壤中氧化铁的活化度,这对改善水稻土的结构性有利。

应当指出,氧化铁的胶结作用是一个复杂的物理化学过程。带正电荷的氢氧化铁离子有可能首先被强烈地吸附在粘粒表面上,而后通过键力的作用凝缩起来,再经脱水而成氧化物胶膜,紧密地覆盖在粘粒表面上<sup>[22]</sup>。氧化铁和粘粒胶结的团聚体虽然也具有水稳性,但不一定是多孔性,远不如有机胶体胶结的团聚体品质为好。有机无机复合胶体形成

表 4 团聚体中颗粒分配

Table 4 Distribution of particle in aggregates

土 壤 Soil type	肥力水平 Fertility	团聚体粒径 (mm) Aggregate	颗粒大小 ( $\mu\text{m}$ , %) Particle size		
			<2	2-10	>10
黄 泥 土 Well permeable	较高H	1-0.5	32.1	28.1	39.8
		0.25-0.06	33.8	28.8	37.4
	较低L	1-0.5	32.4	31.2	36.4
		0.25-0.06	30.2	33.3	36.5
白 土 Side bleached	较高H	1-0.5	28.3	17.4	54.3
		0.25-0.06	27.7	14.4	57.9
	较低L	1-0.5	23.8	21.0	55.2
		0.25-0.06	18.7	15.8	65.5
乌 栅 土 Gleyed	较高H	1-0.5	25.2	20.8	54.0
		0.25-0.06	24.5	18.6	56.9
	较低L	1-0.5	25.1	20.0	54.9
		0.25-0.06	25.4	16.9	57.7

表 5 团聚体中氧化铁和交换性钙、镁含量

Table 5 The content of iron oxide and exchangeable Ca, Mg in aggregates

土 壤 Soil type	肥力水平 Fertility	团聚体粒径 (mm) Aggregate	氧化铁 (Fe, %) Iron oxide		氧化铁 活化度 (Feo/Fed)	交换性阳离子 (meq/100g) Exchangeable cation	
			游离态 Free (Fed)	无定形 Amorphous (Feo)		Ca	Mg
			黄 泥 土 Well permeable	较高H	1-0.5 0.25-0.06		
2.61	0.29	0.11				20.85	3.54
	较低L	1-0.5 0.25-0.06	2.81	0.28	0.10	22.54	3.64
			2.67	0.26	0.10	22.36	3.78
白 土 Side bleached	较高H	1-0.5 0.25-0.06	2.46	0.19	0.08	20.76	4.07
			1.72	0.17	0.10	21.60	3.72
	较低L	1-0.5 0.25-0.06	3.37	0.10	0.03	20.71	4.25
			0.92	0.07	0.08	16.35	3.13
乌 栅 土 Gleyed	较高H	1-0.5 0.25-0.06	1.66	0.16	0.10	22.27	4.82
			1.66	0.14	0.08	23.12	4.32
	较低L	1-0.5 0.25-0.06	1.68	0.12	0.07	23.12	4.97
			1.61	0.09	0.06	22.14	4.07

的团聚体疏松多孔,稳定性较强,是形成良好土壤结构的基础。

## (二) 胶体复合与水稻土肥力

1. 有机无机复合度的概念 在以前的报告中<sup>[9,13]</sup>我们曾对复合度的概念及其应用

作了初步阐述。所谓有机无机复合度,实际上是指腐殖物质与土壤无机部分相复合的数量和程度。它可用五种涵义不同的方式来表示:“原土复合量”(QC)是指土壤中复合的有机碳占土重的百分数;如是占土壤有机碳总量的百分数,即称为“原土复合度”(DC)。“追加(又叫增值)复合量”(QAC)是指土壤肥力提高过程中(包括施用有机肥)所增加的复合有机碳占土重的百分数;如是占土壤有机碳总量增加值的百分数,即称为“追加(又叫增值)复合度”(DAC)。“复合系数”(CC)是指土壤施加有机物质所增加的复合有机碳量与有机物料本身所含有有机碳量之间的比值。不同复合程度还可用简单计算式表示:

$$\text{原土复合量 (QC)\%} = \text{HC} \cdot \frac{\text{HW}}{\text{SW}}$$

$$\text{原土复合度 (DC)\%} = \frac{\text{HC} \cdot \frac{\text{HW}}{\text{SW}}}{\text{SC}} \cdot 100$$

$$\text{追加复合量 (QAC)\%} = \text{MQ} - \text{SQ}$$

$$\text{追加复合度 (DAC)\%} = \frac{\text{MQ} - \text{SQ}}{\text{MSC} - \text{SC}} \cdot 100$$

$$\text{复合系数 (CC)} = \frac{\text{MQ} - \text{SQ}}{\text{OC}}$$

表 6 水稻土的有机无机复合状况

Table 6 The status of organo-mineral complexes of paddy soil

土 壤 Soil type	采样地点 Sampling locality	肥力水平 Fertility	土壤有机碳 (%) Organic carbon of soil	原 土 复 合 量 (%) (QC)*	原 土 复 合 度 (%) (DC)*	追 加 复 合 量 (%) (QAC)*	追 加 复 合 度 (%) (DAC)*
黄 泥 土 Well permeable	吴 县	较高H	1.91	1.63	85.3	0.13	76.5
		较低L	1.74	1.50	86.2	0	0
		较高H	1.82	1.52	83.5	0.05	20.9
		较低L	1.60	1.47	91.9	0	0
白 土 Side bleached	宜 兴	较高H	1.57	1.32	84.1	0.38	84.4
		较低L	1.12	0.94	83.9	0	0
	武 进	较高H	1.62	1.39	88.9	0.43	78.2
		较低L	1.07	0.96	90.7	0	0
	无 锡	较高H	1.25	1.11	88.8	0.12	100
		较低L	1.13	0.99	87.6	0	0
白土层L	0.27	0.24	88.9	—	—		
乌 栅 土 Gleyed	昆 山	较高H	2.01	1.70	84.6	0.43	92.5
		较低L	1.61	1.33	82.6	0	0
竖头乌栅土 Hard gleyed	常 熟	较高H	1.85	1.55	83.8	0	0
		较低L	2.09	1.63	78.0	0	0

\* QC: Quantity of complexing. DC: Degree of complexing. QAC: Quantity of additional complexing. DAC: Degree of additional complexing.

式中:

H——重组;                                   C——有机碳(%)  
S——土壤(对照或原土);               W——样品重(克)  
M——施肥土壤;                           Q——复合量(%)  
O——有机物料;

这些指标值不仅可用于鉴别土壤的发生性质,对于阐明土壤的肥力特征和有机肥的改土培肥作用有重要意义。

2. 水稻土的复合状况   太湖地区水稻土中的有机物质腐殖化程度很高,大约 80—90%的有机物质是与无机胶体相复合形成有机无机复合体,而非复合的轻组有机物质不到 20%(表 6)。看来,在渍水条件下,有利于土壤有机质的复合积累。

根据追加复合量和追加复合度可反映水稻土肥力的差异。表 6 表明,随着土壤肥力的提高,追加复合量和追加复合度都相应增加。例如太湖地区的低产白土主要是缺乏有机质,如能增施有机肥,使白土的原土复合量和追加复合度分别提高到 1% 和 60% 以上,土壤的肥力状况明显改善。而沼泽起源的竖头乌栅土则不然,低肥土壤的有机碳量和原土复合量反而比高肥土壤大,但不显示追加复合量和追加复合度,这表明未经改良的竖头乌栅土中的有机胶体老化度高,活性低。

腐殖质与矿质部分结合的松紧程度不同对土壤肥力也有影响。土壤中不同结合形态腐殖质含量的测定结果(表 7)表明,随着土壤肥力的提高,复合体中松结态腐殖质增多,紧结态腐殖质减少,松结态/紧结态腐殖质的比值增大。松结态腐殖质主要来自施肥补充的新鲜腐殖物质,它的活性较大,对于形成良好的土壤结构起重要作用。经改良的竖头乌栅土,有机质总量虽有所下降,但结合态腐殖质总量却有所增加,活性有所提高,松结态和稳结态腐殖质分别增加 15.7% 和 12.6%;而活性很低的紧结态腐殖质明显减少。看来,在太湖地区,为提高有机肥的改土培肥效果,首先必须改善水稻土的内排水条件,这不仅有利于土壤有机质的更新,并可能推进和激发原有腐殖质的活化,增加土壤中松结态腐殖质含量,从而改善土壤的结构性,提高土壤肥力。

表 7 土壤复合体中腐殖质结合形态  
Table 7 Combined form humus in soil complexes

土 壤 Soil type	肥力水平 Fertility	有 机 质 (%) Organic matter			占结合态腐殖质总量(%) Combined humus			A/C
		全 土 Whole soil (W)	重 组 Heavy fraction (H)	H/W	松结态 NaOH extra. (A)	稳结态 NaOH + Na <sub>4</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> extra. (B)	紧结态 Residual (C)	
黄 泥 土 Well permeable	较高H	3.13	2.55	81.5	47.0	7.1	45.9	1.02
	较低L	2.75	2.48	90.2	42.3	9.7	48.0	0.88
白 土 Side bleached	较高H	2.79	2.31	82.8	49.3	9.1	41.6	1.19
	较低L	1.85	1.63	88.1	46.0	9.2	44.8	1.03
竖头乌栅土 Hard gleyed	较高H	3.19	2.78	87.2	54.7	26.7	18.6	2.94
	较低L	3.60	3.05	84.7	39.0	14.1	46.9	0.83

表 8 不同大小团聚体的有机无机复合状况

Table 8 The status of organo-mineral complexes of aggregates in different size

土壤 Soil type	肥力水平 Fertility	团聚体粒径 (mm) Aggregate	团聚体中有机碳 (%) Organic carbon of aggregate	原土复合量 (%) (QC)	原土复合度 (%) (DC)
黄泥土 Well permeable	较高H	1—0.5	1.94	1.62	83.5
		0.5—0.25	1.76	1.49	84.7
		0.25—0.06	1.43	1.24	86.7
	较低L	1—0.5	1.84	1.47	79.9
		0.5—0.25	1.52	1.29	84.9
		0.25—0.06	0.95	0.85	89.5
白土 Side bleached	较高H	1—0.5	1.97	1.65	83.8
		0.5—0.25	1.77	1.55	87.6
		0.25—0.06	1.77	1.49	84.2
	较低L	1—0.5	1.76	1.60	90.9
		0.5—0.25	1.61	1.46	90.7
		0.25—0.06	1.61	1.44	89.4
乌栅土 Gleyed	较高H	1—0.5	2.60	2.17	83.5
		0.5—0.25	2.29	1.93	84.3
		0.25—0.06	2.00	1.66	83.0
	较低L	1—0.5	2.27	1.76	77.5
		0.5—0.25	1.93	1.57	81.4
		0.25—0.06	1.56	1.34	85.9

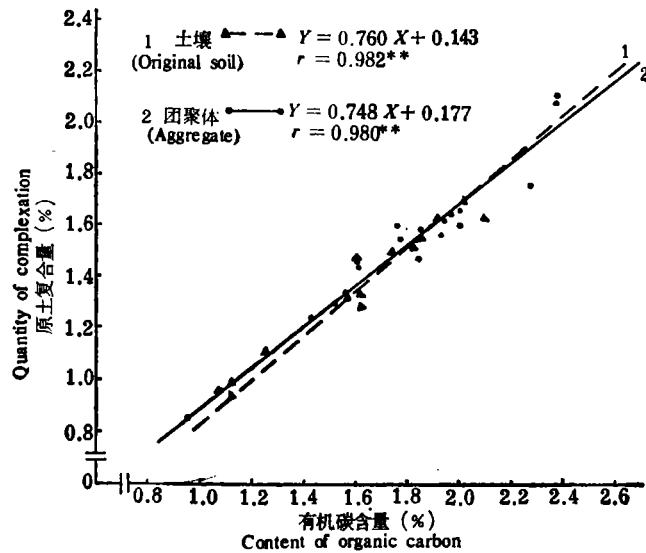


图 3 土壤有机碳量与原土复合量关系

Fig. 3 Correlation between the quantity of complexing and the Soil organic carbon



不同大小水稳性团聚体中有机和无机胶体的复合状况也有差异。从表 8 可见,在一定的粒级范围内,随着团聚体粒径的增大,有机碳量和原土复合量也相应增加。说明有机无机复合体确有利于形成较大的团聚体。同种土壤不同肥力水平相比,高肥土壤的团聚体富含有机质,复合量也大。在 1—0.5 毫米的团聚体中显示稍低的复合度,这进一步证实较大的团聚体中确实包裹有一部分粗有机质。

根据 14 个水稻土样品的统计分析,无论是土壤或团聚体中的有机碳量都与原土复合量呈显著正相关(图 3),而与原土复合度无直接相关。复合量是容量因素,复合度是强度因素。应用复合度的概念来评价水稻土的肥力,必须同时考虑容量因素和强度因素。由于土壤类型不同,肥力指标也不一样,原土复合度只反映胶体复合的程度,它与土壤肥力无直接关系;而原土复合量可反映胶体复合的数量,并可用来评价一般土壤的肥力状况。但对某些特殊的土壤类型(如竖头乌栅土等),或为检验有机肥的改土效果,单凭土壤有机质含量或原土复合量还不够,必须用追加复合量和追加复合度才能说明问题。

3. 有机质的复合作用 有机质是影响胶体复合的重要因素,这不仅取决于它的含量,还与其品质有关。为了进一步探索不同有机物质复合作用的差异,我们选用砂滤管法测定植物残体分解速率的样品<sup>1)</sup>,供研究用。供试土壤为下蜀黄土母质,含碳量为 0.09%。

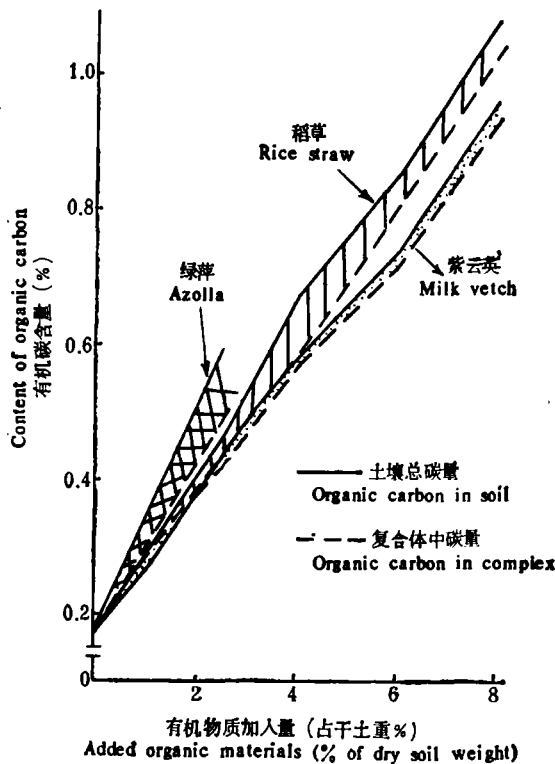


图 4 有机物料加入量对土壤和复合体中有机碳量的影响

Fig. 4 Effect of added organic materials on the organic carbon in soil and complexes

1) 样品由我所生化室林心雄同志提供。

各种有机物料的含碳量分别为：稻草 42.7%，紫云英 48.7%，绿萍 42.4%<sup>[6]</sup>。植物物质稻草和紫云英的施加量分别占干土重的 1, 2.5, 4, 6, 8%，绿萍的施加量为 2.5%。于水田条件下培育一年。试验在无锡县东亭大队进行。研究结果（图 4）表明，随着有机物料施加量的增加，土壤和复合体中的有机碳量都有明显提高，即使按土重加入 8% 的有机物质，复合量仍继续上升。看来，太湖地区水稻土的无机胶体对有机胶体的吸附潜力很大。

根据土壤和复合体中有机碳量的差值，还可大致判断非复合的轻组有机物质在水稻土中的残留情况。从图 4 可以看出，有机物料的种类不同，复合量不一，粗有机质的残留量也有差异。绿萍分解较慢，增加土壤有机质较显著，不仅复合量大，粗有机质残留也多；紫云英分解较快，土壤有机碳量增加不多，不仅复合量小，粗有机质残留更少；稻草则居中。造成这种差异的原因，在很大程度上是与植物物质的化学组成不同有关。水溶性物质、苯醇溶性物和蛋白质等分解较快，半纤维素和纤维素分解较慢，木质素最难分解<sup>[14]</sup>。紫云英含易分解组分较高，C/N 比值较小，分解较快；绿萍的 C/N 比值虽小，但木质素含量较高，分解较慢。从各种有机物料的腐殖化系数也可看出变化次序大致是：绿萍 > 稻草 > 紫云英<sup>[6]</sup>。

根据追加复合量和追加复合度，可反映施用有机肥料后新形成的腐殖物质复合的数量和程度。图 5 表明，稻草的追加复合量高于紫云英，并都与有机物料的施加量呈显著正相关。而追加复合度则是紫云英高于稻草（图 6）。稻草的腐殖物质较紫云英复合容量大，

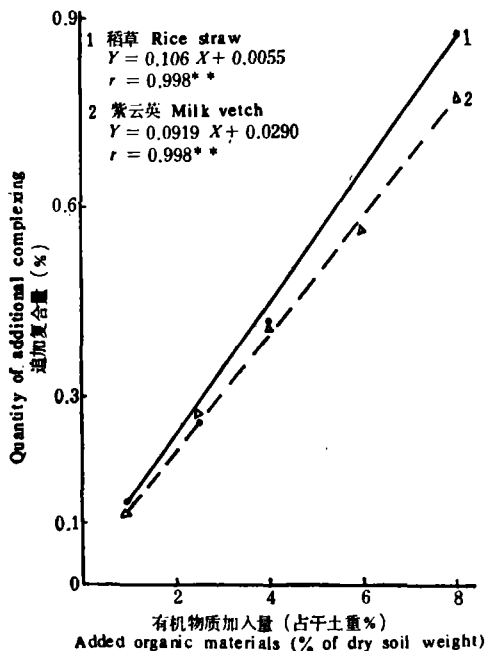


图 5 有机物料加入量与追加复合量的关系  
Fig. 5 Correlation between the quantity of additional complexing and the added organic materials

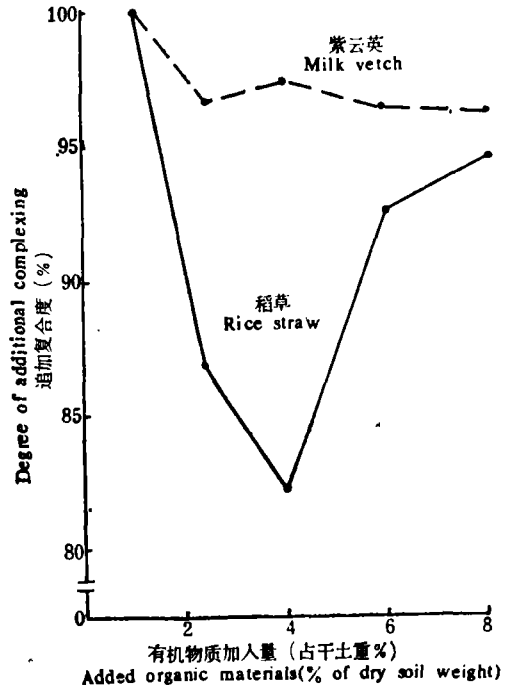


图 6 有机物料加入量对追加复合度的影响  
Fig. 6 Effect of added organic materials on the degree of additional complexing

复合强度小。这与室内培育试验的结果<sup>[11]</sup>略有差异,这可能是由于田间试验条件不同于室内的培育试验有关,尚待进一步验证。但是不同有机物质改土作用的差异确是肯定无疑的。

采用复合系数有可能大致估计有机肥改土的适宜用量和效益。图 7 表明,按土重加入 1% 的稻草或 1—2.5% 的紫云英,都达到最大的复合系数。随着有机物料施加量的增加,复合系数急剧下降,并逐趋平稳。如以 2.5% 的施加量为例,绿萍、稻草和紫云英的复合系数分别为 0.31, 0.24, 0.22。因此,从改良土壤结构性出发,不同有机物料的改土效果大致是:绿萍 > 稻草 > 紫云英。为了做到经济合理和高效施用有机肥料,测定有机质的复合系数可能是一个有用的指标。根据我们的初步研究,太湖地区的水稻土如按土重加入不超过 1% 的有机物质,可望得到最大的复合系数。当然,这些指标还很不成熟,有待于在运用中继续验证。

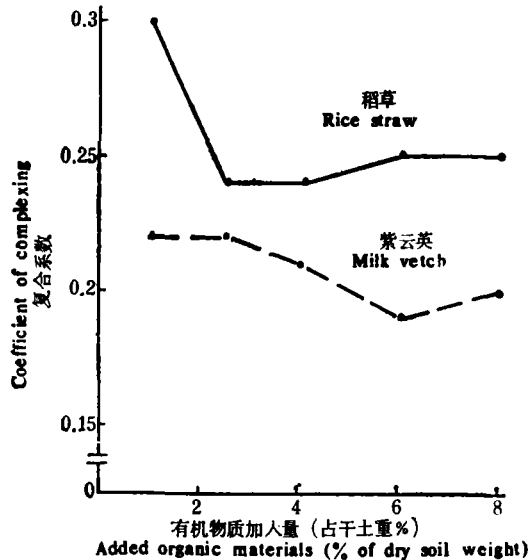


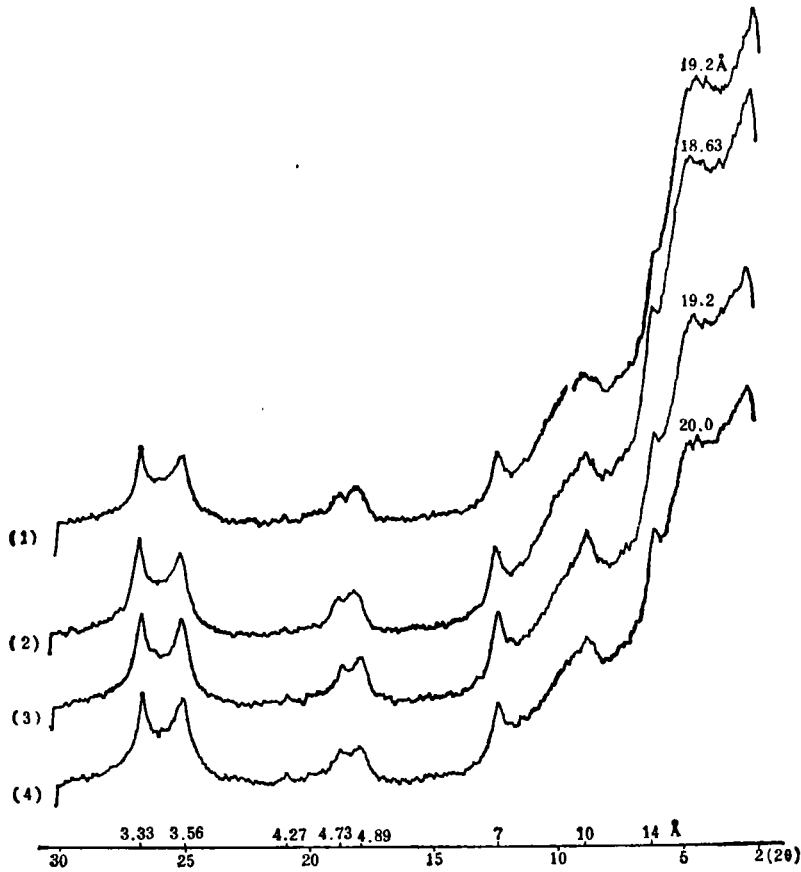
图 7 有机物料加入量对复合系数的影响

Fig. 7 Effect of added organic materials on the coefficient of complexing

### (三) 复合胶体的物理化学特性

1. 粘粒矿物组成 粘粒矿物是组成土壤有机无机复合体的重要部分,并对其它的物理化学性质有一定影响。从小于 2 微米复合胶体的 X-射线图谱(图 8)可以看出,太湖地区不同水稻土的粘粒矿物组成大体相似,主要是水云母和蒙脱石,也有高岭石,并可能伴有少量蛭石或过渡性矿物。水稻栽培过程中并未引起粘土矿物发生明显的变化<sup>[12]</sup>。

为了进一步区别是绿泥石还是蛭石,曾选用白土的复合胶体样品,经不同高温处理(300℃ 和 550℃ 灼烧 2 小时),观察衍射峰的变化(图 9)。从处理前后的 X-射线图谱可以看出,样品经高温处理,14 Å 峰随即消失。这表明太湖地区水稻土中伴有的粘粒矿物不是绿泥石,而是蛭石。不同土壤衍射峰高低之差,可能是与粘粒矿物含量和结晶状况不一有关。



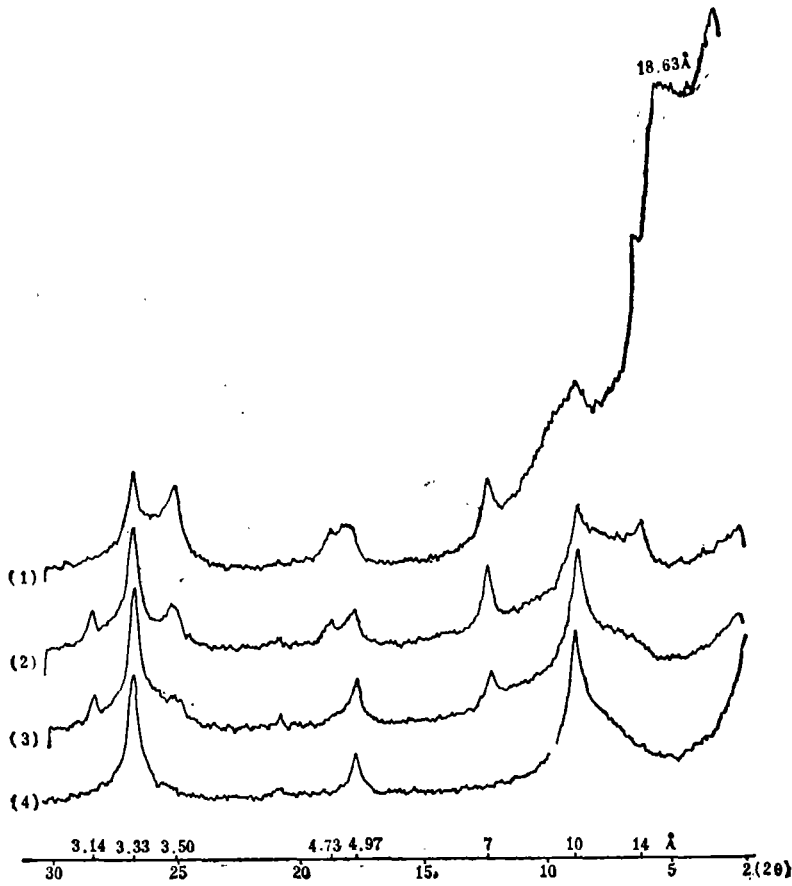
- (1) 白土低肥 (L) Infertile side bleached paddy soil  
 (2) 白土高肥 (H) Fertile side bleached paddy soil  
 (3) 黄泥土高肥 (H) Fertile well permeable paddy soil  
 (4) 黄泥土低肥 (L) Infertile well permeable paddy soil

图 8 水稻土 X-射线衍射图谱 ( $2\mu\text{m}$ ,  $\text{CuK}\alpha$ )

Fig. 8 X-ray diffraction patterns of paddy soil.

2. 电荷和表面积 水稻土复合胶体的性质不仅受粘粒矿物组成的影响,更受有机质的制约。有机质的表观负电荷量(即腐殖质表观交换量)是衡量土壤有机胶体与无机胶体复合作用的一个重要性质。表 9 表明,土壤复合胶体用  $\text{H}_2\text{O}_2$  去除有机质后,负电荷量普遍下降,说明有机质对负电荷有一定贡献。由于水稻土中的有机物质大多以复合状态存在,我们可以根据  $\text{H}_2\text{O}_2$  处理前后腐殖质减少的数量与相应的负电荷变化数量,求得有机质表观负电荷量,用以判断胶体复合程度的差异。据初步研究结果,随着土壤复合量的增加,有机质表观负电荷量相应减小。这是因为有机质的表观负电荷量越大,说明有机和无机胶体复合时消耗的交换点越少,复合程度低;反之,表观负电荷量小,说明消耗的交换点多,复合程度高。同类土壤不同肥力水平相比,低肥土壤有机和无机胶体复合的程度不如高肥土壤,从而显示较大的表观负电荷量。

有机质对复合胶体比表面的影响,似因土壤不同而有一定差异。测定结果(表 10)表



(1) 对照 Check (3) 氯化钾 (300°C) KCl + 300°C  
 (2) 氯化钾 KCl (4) 氯化钾 (550°C) KCl + 550°C

图 9 不同处理条件下白土的 X-射线衍射图谱 (2μm) (CuKα)

Fig. 9 X-ray diffraction patterns of side bleached paddy soil under different treatment (2μm, CuKα)

表 9 复合胶体的表现负电荷

Table 9 Apparent negative charge of colloidal complex

土壤 Soil type	肥力水平 Fertility	腐殖质 (%) Humus		负电荷 (meq/100g) Negative charge		腐殖质表现负电荷 (meq/100g) Apparent negative charge of humus
		未处理 Untreated	处理 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -treated	未处理 Untreated	处理 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -treated	
黄泥土 Well permeable	较高H	3.68	0.81	41.5	39.3	76.7
	较低L	3.36	0.73	45.6	41.6	152.1
白土 Side bleached	较高H	3.93	0.65	53.9	47.7	189.0
	较低L	3.53	0.64	57.5	49.3	283.7

表 10 钙质复合胶体的比表面

Table 10 Specific surface of Ca-saturated colloidal complex (25°C)

土 壤 Soil type	肥力水平 Fertility	比 表 面 积 (米 <sup>2</sup> /克) Specific surface area (m <sup>2</sup> /g)	
		未 处 理 Untreated	处 理 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -treated
黄 泥 土 Well permeable	较 高 H	354.72	337.81
	较 低 L	352.04	334.82
白 土 Side bleached	较 高 H	387.90	412.72
	较 低 L	409.34	427.72

明,白土的比表面比黄泥土大,这可能是与白土的团聚体分散度大有关。施用有机肥改良的低产白土,因增强了土壤的团聚性,使复合胶体的比表面明显减小;当用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理后,比表面又增大,说明有机质可降低白土的比表面。而自然肥力较高的黄泥土的比表面变化不大,用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 处理后比表面反而略有下降,看来,有机质对粘质的黄泥土似能增加比表面。有机质是否对不同土壤可能同时显示“团聚作用”或“分散作用”,尚待继续验证。

3. 粘度 复合胶体的粘度变化,可间接反映水稻土的亲水性和团聚性。一般来说,复合胶体的腐殖质含量越多,相对粘度越大。表 11 表明,用 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 去除有机质后,复合胶体的相对粘度普遍减小,看来,复合体中的有机质有可能增加胶体的活性容积和吸持水分的作用,从而增加复合胶体的粘度。这与以往的研究结果颇相符<sup>[9]</sup>。粘度增大,说明胶体絮凝增加;反之,说明胶体分散。所以,粘度增大也可间接反映土壤团聚化的增加。

表 11 复合胶体的相对粘度 (30°C)

Table 11 Relative viscosity of colloidal complex

土 壤 Soil type	肥力水平 Fertility	相 对 粘 度 (厘泊) Relative viscosity (CP)	
		未 处 理 Untreated	处 理 H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -treated
黄 泥 土 Well permeable	较 高 H	0.951	0.870
	较 低 L	0.874	0.838
白 土 Side bleached	较 高 H	0.935	0.852
	较 低 L	0.906	0.834

应当指出,复合胶体中的腐殖质是以不同方式与无机胶体相结合。这种复合体用不同阳离子 (Na<sup>+</sup> 或 Ca<sup>2+</sup>) 饱和时的粘度变化,可反映复合胶体水合度的差异。有机胶体与无机胶体复合越多,复合体的活性亲水基团越少,水合度降低,亲水性减弱。图 10 表明,黄泥土与白土粘度曲线的差异,可能是与腐殖质组成和复合状况不同有关。

4. 养分的吸放 土壤及复合体对养分的吸放因肥力不同而有差异。表 12 表明,高肥土壤的吸铵量比低肥土壤多,粘质土又高于壤质土。但复合胶体吸铵量与原土不同,土

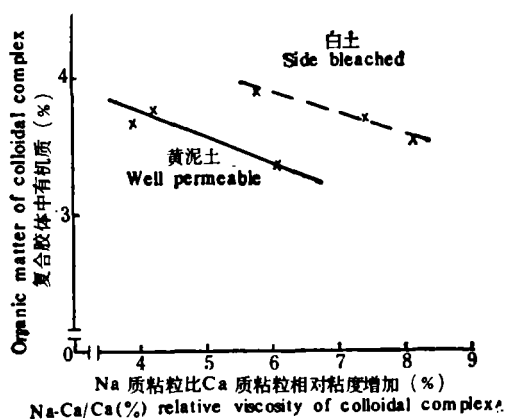


图 10 复合胶体中有机质与相对粘度的关系

Fig. 10 Organic matter of colloidal complex in relation with the relative viscosity

壤越肥,复合胶体吸铵量相应减少,吸磷量则增多。用  $H_2O_2$  去除有机质后,吸铵量明显降低,吸磷量略有增高。这可能是与胶体复合状况不同有关。高肥土壤复合量大,消耗交换点多,残余负电荷减少,复合胶体对阳离子吸收减弱,吸铵量降低。用  $H_2O_2$  去除有机质后,充分显示有机质可增加吸铵量,减少吸磷量,从而增强土壤的保肥性,降低对磷酸的固定,这对提高水稻土的肥力极为有利。

表 12 土壤和复合胶体对铵和磷的吸附

Table 12 Ammonium and phosphorus adsorbing capacity of soil colloidal complex

土 壤 Soil type	肥力水平 Fertility	吸铵量 ( $NH_4$ , mg/100g) Ammonium adsorbing capacity			吸磷量 ( $P_2O_5$ , mg/100g) Phosphorus adsorbing capacity	
		原 土 Original soil	复 合 胶 体 Colloidal complex		复 合 胶 体 colloidal complex	
			未 处 理 Untreated	处 理 $H_2O_2$ -treated	未 处 理 Untreated	处 理 $H_2O_2$ -treated
黄 泥 土 Well permeable	较高H	230.0	398.7	355.9	46.2	53.8
	较低L	186.3	471.7	425.7	44.1	52.5
白 土 Side bleached	较高H	211.6	554.4	518.0	54.5	58.4
	较低L	186.3	657.5	602.9	52.2	56.9

### 三、小 结

1. 肥力高的水稻土结构破坏率小,分散度低,团聚性强。1—0.25 毫米水稳性团聚体约增加 2—14%。土壤腐殖质及其与粘粒和氧化铁的胶结作用,有利于形成良好的水稻土结构。

2. 太湖地区水稻土中的有机物质大约 80—90% 是与无机胶体相复合。根据追加复合量和复合系数,可大致判断不同有机物改良水稻土结构性的效果是:绿萍>稻草>紫云英。据初步研究结果,太湖地区水稻土如按土重加入不超过 1% 的有机物质,可望得到最大的复合系数。

3. 施用有机肥,把白土的原土复合量和追加复合度分别提高到 1% 和 60% 以上,土壤的肥力状况明显改善。未经改良的竖头乌栅土,由于有机胶体的老化度高,活性低,不显示追加复合量和追加复合度。在排水的基础上,通过增施有机肥,能显著提高土壤中疏松态腐殖质含量,从而改善土壤的结构性。

4. 随着土壤肥力的提高,复合胶体的表观负电荷量相应减少,粘度略有增大。有机胶体可增加吸铵量,降低吸磷量,有利于增强土壤的团聚性和保肥性。

### 参 考 文 献

- [1] 邓时琴、徐梦熊, 1979: 太湖地区水稻土的质地及其调节。土壤,第 5 期,175—178 页。
- [2] 马毅杰, 1981: 测定土壤比表面的乙二醇醚吸附法。土壤,第 13 卷 3 期,105—107 页。
- [3] 朱兆良、廖先苓、蔡贵信、俞金洲, 1978: 苏州地区双三制下土壤养分状况和水稻对肥料的反映。土壤学报,第 15 卷 2 期,126—137 页。
- [4] 陈家坊、赵诚斋、周正度, 1978: 苏州地区水稻土发僵田块耕层的土壤孔隙特性。土壤,第 3 期,81—85 页。
- [5] 陈家坊、何群、许祖胎, 1980: 土壤透水性能对土壤化学性质影响的初步研究。土壤,第 5 期,169—174 页。
- [6] 林心雄、程励励、施书莲、文启孝, 1980: 绿肥和茎秆等在苏南地区土壤中的分解特征。土壤学报,第 17 卷 4 期,319—327 页。
- [7] 姚贤良、于德芬, 1980: 太湖地区水稻土的物理条件及其调节。土壤,第 4 期,121—125 页。
- [8] 傅积平、张绍德、褚金海, 1978: 土壤有机无机复合度测定法。土壤肥料,第 4 期,40—42 页。
- [9] 傅积平、张敬森, 1978: 绿肥对粘质淤土及其复合胶体性质的影响。土壤学报,第 15 卷 1 期,83—92 页。
- [10] 熊毅、徐琪、姚贤良、朱兆良, 1980: 耕作制对土壤肥力的影响。土壤学报,第 17 卷 2 期,101—119。
- [11] 熊毅, 1982: 有机无机复合与土壤肥力。土壤,第 14 卷 5 期,161—167。
- [12] Blackmore, A. V., 1973: Aggregation of clay by the products of iron (III) hydrolysis. *Aust. J. Soil Res.* 11: 75—82.
- [13] Fu Ji-ping and Zhang Jing-shen., 1981: A preliminary study on properties of organo-mineral complex of paddy soils. *Trans. Proc. Symposium on Paddy Soil.* p. 262—268. Science Press, Beijing. Springer-verlag., Berlin Heidelberg New York.
- [14] Russell, E. W., 1973: Soil conditions and plant growth, 10th ed., p. 261—281. Longman. London and New York.
- [15] Xu Ji-quan, Yang De-yong and Jiang Mei-yin., 1981: Clay minerals of paddy soils in Taihu Lake Region. *Trans. Proc. Symposium on paddy soil.* p. 480—485. Science Press, Beijing. Springer-verlag, Berlin Heidelberg New York.



## THE PROPERTIES OF COLLOIDAL COMPLEXES OF PADDY SOILS IN TAIHU LAKE REGION

Fu Jiping, Zhang Jingsen and Hseung Yi

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

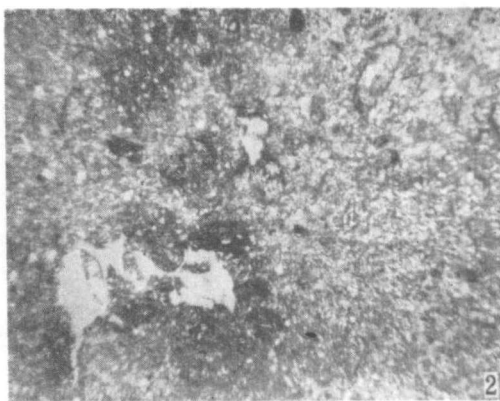
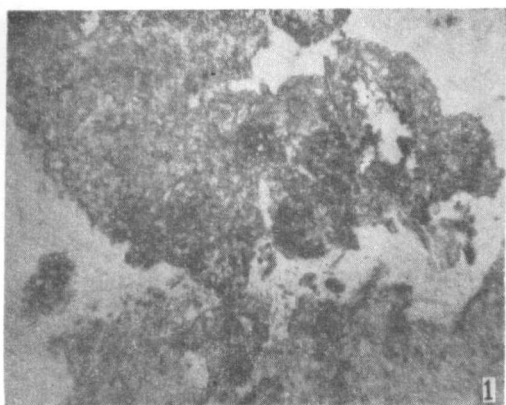
### Summary

Three representative types of paddy soil (well permeable, side bleached and gleyed) and three kinds of plant material (azolla, rice straw and milk vetch) were used in the experiment. The results obtained are summarized as follows:

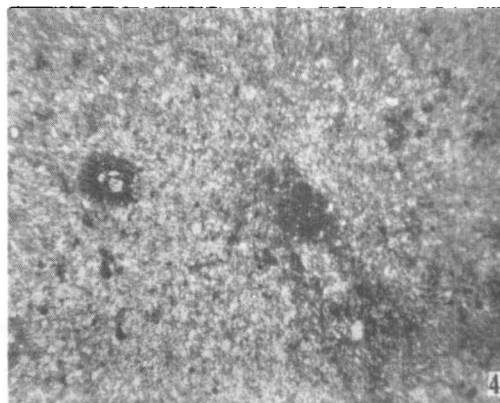
The content of 1.0—0.25 mm water-stable aggregates in the paddy soil of high-fertility ranged from 2—14% greater than that in the paddy soil of low-fertility. The destruction percentage of structure and the degree of dispersion were higher for the infertile paddy soils.

Soil organo-mineral complex is an important factor in determining soil fertility and it is closely related to the structure of paddy soils. It was found that about 80—90% of organic matter in paddy soils were associated with clay fraction, forming organo-mineral complexes. The quantity of complexed organic carbon was significantly correlated with the total content of organic carbon of the soil and aggregates (Fig. 3). the quantity and degree of additional complexing of organic matter (QAC and DAC) increased with the raising of fertility of the soil (Table 6). If the amount of organic material added to the soil less than 1% of the dry soil weight, the largest coefficient of complexing (CC) might be obtained (Fig. 7). According to the preliminary investigation of 'QAC', 'DAC' and 'CC', the effect of the organic materials on the soil structure improvement is in the following order: Azolla > Rice straw > Milk vetch (Fig. 4—6).

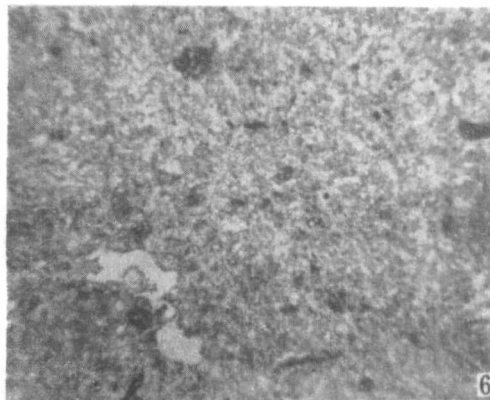
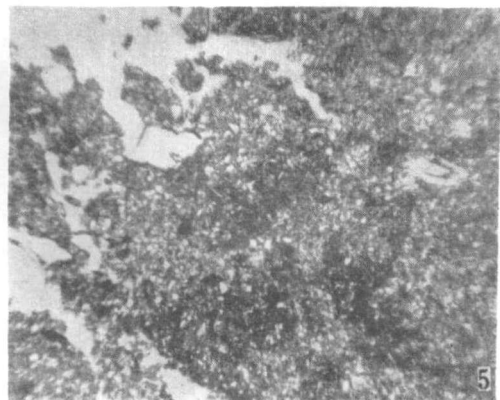
The higher relative viscosity and lower apparent negative charge of the colloidal complex were found in the fertile paddy soils with a better aggregation (Table 9, 11).



黄泥土  
Well permeable



白土  
Side bleached



竖头乌栅土  
Hard gleyed

1,3,5 —— 高肥土壤;  
Fertile soil

2,4,6 —— 低肥土壤  
Infertile soil

照片 1 水稻土显微照片(×25)(曹升庚同志鉴定)

Fig. 1 Microphotographs of paddy soils  
(Identified by Cao Sheng-geng)