

有机无机复合与土壤肥力

熊 毅

(中国科学院南京土壤研究所)

肥力是土壤的本质,没有肥力就没有植物生长。但是什么是肥力,多少年来议论纷纭,各说不一,目前还得不到一个统一的概念。重要原因之一是我们没有用综合观点和系统方法来研究这个复杂的问题。近年来,生态系统科学的进展给我们很多启示,要弄清土壤肥力必须研究各肥力因素及其相互间的关系,并把土壤和作物联系起来研究,而自然条件和人为活动又对肥力产生密切的影响。所以,土壤肥力应当作为一个复杂的系统来研究。

土壤不是一个简单的仓库,贮藏水分养分以供作物利用;它的结构和功能使它具有相互协调和易于人工调节的能力,这是土壤肥力的重要特性。但要弄清这个性质,必须有赖于土壤胶体的研究。

五十年代间,我们总结农民群众“土肥相融”的经验之后,就开始进行土壤有机无机复合体的研究^[1,2],但由于缺乏经验,工作进展甚微。近几年来,我们从有机物质影响土壤性质这一方面着手,获得一些初步结果。现根据这些资料申述自己的一些想法,以求指教。

一、土壤胶体与土壤肥力的关系

1. 土壤肥力的涵义 土壤肥力是土壤从环境条件和营养条件两方面供应和协调作物生长发育的能力,是有关农业生产的土壤理化生物特性的综合反映。“肥力”这两个字是由 Fertility 翻译过来的,原意只局限于营养物质的贮量,后来威廉士把水分也放进肥力中去,五十年代国内把肥力扩展为水、肥、气、热,后来又用“吃饱、喝足,住得舒服”来形容良好的土壤肥力。由此,肥力的涵义逐渐扩大了。

事实上有了充足的养分并不一定是良好的土壤,土壤施加大量化肥,可供作物足够的营养,但不一定是肥沃的土壤;肥沃的土壤除具备足够营养物质外,还要有一系列的良好土壤性质,同时要具有自我协调和易于人工调节的能力。

当然,土壤肥力的因素及其指标是因时、因地、因作物而异的,并且还因所要求的产量水平不同而产生变化。但是,矛盾的普遍性寓于矛盾的特殊性之中。土壤的多孔性和吸收性反映土壤肥力中的协调作用及调节作用,这是土壤肥力中的主要而共同的特性。这两个特性密切受土壤胶体的影响。

2. 土壤胶体在肥力中的重要作用 土壤肥力特性的复杂不仅在于网络式的复杂结构和功能,更重要的是土壤中含有质和量都不相同的土壤胶体。土壤胶体是土壤中最细小而最活泼的部分。假如土壤颗粒都象卵石或砂子那么大,而没有细小的胶体颗粒,土壤肥力性质就不会这样复杂了!所以研究土壤肥力既要研究土壤剖面中各层土壤的组成、功能及其相互关系,又要深入研究其胶体的组成及性质。这样,才能透解土壤肥力的本质。

土壤中有两种不同类型的胶体,一种是无机胶体或矿质胶体,一种是有机胶体或腐殖胶体。土壤无机胶体即土壤粘粒,包涵土壤母质中矿物的残屑和矿物的风化物,主要由粘粒硅酸盐和粘粒氧化物所组成。粘粒硅酸盐有水云母、蒙脱、蛭石、高岭和混层矿物或夹层矿物;粘粒氧

化物有水铝英石、氧化铝、氧化铁、氧化钛、氧化锰和氧化硅等。有机胶体是由新鲜的分解的动植物残体和微生物遗体经过腐殖化过程(酶的聚合和缩合作用)而形成的,主要是腐殖质。腐殖质是一种复杂的高分子化合物,并且是暗色无定形的难于分解的胶体。这些化合物,或者是动植物残体的微生物降解产物,或者是微生物组织的再合成产物。它的组成主要有胡敏酸、富里酸和胡敏素等。

在土壤的实际情况下,无机胶体不是孤立存在的,大部是与有机胶体紧密相缔合的。“洗净”的无机胶体(粘粒)和碱溶的有机胶体(腐殖质)都不代表真实的土壤胶体,所以,只有研究土壤的有机和无机胶体而同时又研究复合胶体,才能了解土壤中的真实情况,阐明土壤中的复杂变化。

3. 有机质在土壤培肥中的作用 土壤组成中,矿物质占固体部分重量的95%以上,毫无疑问,粘粒矿物对土壤肥力特性的影响是很大的,由无机胶体的类型和含量也可以推测一些肥力性质。但土壤中的矿物质是不易改变的,所以,人工培肥土壤就着眼于土壤中有有机质的积累与更新。土壤中有有机质含量虽不多,但在土壤肥力上的作用却很大,土壤有机质含有各种营养元素,特别是氮素,而且还是土壤微生物生活和活动的能源,更重要的是有机质有改良土壤理化性质的作用,对土壤肥力中的协调和调节作用具有重大的影响。

我国农民在长期生产实践中,深刻体会有机肥料在培肥土壤中的作用,所以他们对肥力的看待是综合的。先秦简况曾总结“多粪肥田”的经验(《管子·富田篇》)。东汉时期的王充曾指出:“深耕细锄,厚加粪壤,勉致人工,以助地力”(《论衡·率性》)。宋代(十二世纪)写的《陈旉农书》粪田之宜篇中说:“土壤气脉,其类不一,肥沃饶塿,美恶不同,治之各有其宜也。且黑壤之地信美矣,然肥沃之过,或苗茂而实不坚,当取新生以解利之,即疏爽得宜也。饶塿之土信恶矣,然粪壤滋培,即其苗茂盛而坚实也。虽土壤异宜,顾治之如何耳,治之得宜,皆可成就。”陈旉还提出“地力常新”的论点。他说:“或谓土敝则草木不长,气衰则生物不遂,凡田土种三五年,其力已乏。斯语殆不然也,是未深思也。若能时加新沃之土壤,以粪治之则益精熟肥美,其力当常新壮矣,抑何敝何衰之有。”十四世纪初叶《王桢农书》粪壤篇中也阐述了类似的论点。这些论述,不仅反映我国古代劳动人民的土壤培肥经验,也说明有机物质在土壤肥力中的重要作用。

土壤肥力的重要性和复杂性,不仅在于土壤供给植物以水分和养分的能力,更重要的是土壤中各肥力因素的相互协调和人工调节的难易。要弄清这些复杂的关系,必须把有机粘粒复合体当作一个整体来研究,当然,土壤中的矿质胶体和有机胶体也应分别研究。关于土壤有机无机复合体的研究,国际间现有的资料尚少。为了阐明土壤肥力的本质,制定符合我国国情的土壤培肥措施,我们必须研究有机质对土壤胶体的影响,只有在这方面获得一些规律,并逐步明确复合体与各肥力因素的关系,才能进一步窥测土壤肥力的本质。这些工作难度很大,但属于土壤肥力研究的基本功,不可忽视。

二、有机无机复合与土壤团聚作用

1. 有机无机复合 为了弄清有机质改土培肥作用,首先要了解土壤中腐殖质与粘粒结合的数量以及施用有机肥料后土壤有机无机复合度的增加情况。

土壤有机无机胶体复合主要是粘粒表面或氢氧聚合物表面的多价金属离子与有机聚合物羧基一类的配位体(Ligand)相结合。土壤有机质有多少与矿质胶体相复合,可在土壤中加入一定量比重2.0的重液,并进行超声波分散,重组中的有机质即为与矿质颗粒相结合的有机质,以复合的有机质占土壤总有机质含量的百分率为原土有机无机复合度,即腐殖粘粒复合度(简称复合度)。根据我们初步研究的结果,可以看到两个现象:(1)土壤原土复合度都大于50%,也就是说无论土壤中有机质含量如何,总有一半以上的有机质与土壤矿质部分相复合;(2)高复合度

的土壤,其有机质含量往往较低,而有机质含量较高的土壤,原土复合度不一定高。

土壤施用新鲜有机肥料后,有多少有机质与矿质部分相结合,我们用追加复合度来表示。根据现有的资料来看,有机物质的种类和土壤的类型不同,追加复合度也有差异。一般来说,禾本科植物的追加复合度比豆科绿肥高,黑麦草最高可达80%以上。从土壤类型讲,石灰性土壤与中性土壤的差别不大,酸性红壤的追加复合度较低,稻草还田只43%,而翻压紫云英的不到40%(表1)。这些初步结果只供参考,尚待今后更多资料来修正。

表1 土壤追加复合度(培育试验)

土 壤	采 样 地 点	处 理 (有机肥料)	追加复合度
石灰性粘质潮土*	江苏铜山县	苕 子	59.7
		田 菁	62.9
		怪 麻	72.8
		玉 米 杆	70.9
		大 麦 杆	81.6
粘 质 潮 土**	安徽城西湖 农 场	苕 子	57.3
		黑 麦 草	83.9
黄 棕 壤 **	南京江宁县	紫 云 英	62.4
		稻 草	80.4
红 壤**	江西进贤县	紫 云 英	38.5
		稻 草	43.3

* 傅积平、金维续、王涌清分析。

** 引自[3,4]。

2. 腐殖质结合形态 腐殖质与矿质部分的结合方式各有不同,松紧也不一。我们用氢氧化钠和焦磷酸钠连续分离出土壤中的腐殖质,并分别称为松结腐殖质(或活性腐殖质),联结腐殖质,稳结腐殖质,和紧结腐殖质(包括残余有机质)。风化煤、褐煤和泥炭的分析结果很清楚地看出,风化煤中灰分很少,主要是游离松结态的腐殖质,泥炭含50%的灰分,残余有机质占全部有机质的60%,而褐煤介于两者之间,以稳结态腐殖质为主,约48%(表2)。

在我国西藏高原,草甸土以松结态腐殖质为主,而荒漠土以紧结态腐殖质为主,草原土居其中,松结态腐殖质仍比联结态腐殖质多(表2)。

表2 土壤、风化煤、褐煤和泥炭的腐殖质结合形态*

样 品	采 样 地 点	灰 分 (%)	总 碳 (%)	占 总 碳 %			
				松 结 态	联 结 态	稳 结 态	紧 结 态
风 化 煤	新 疆	11.23	47.6	97.0	0	0	2.9
褐 煤	新 疆	24.54	36.3	9.4	24.8	43.5	17.4
泥 炭	新 疆	55.63	22.3	7.6	16.6	15.2	60.5
高山草甸土	西 藏		3.56	72.5		9.5	18.0
高山草原土	西 藏		1.28	37.5		18.0	44.5
高山荒漠土	西 藏		0.59	18.6		10.2	71.2

* 引自[5,6]。

安徽中性潮土翻压绿肥后都可提高土壤中总碳量。但在所追加的有机碳中,不同绿肥所追加的腐殖质结合形态亦有不同,翻播苕子的潮土主要追加紧结态腐殖质(80.9%),联结态(14.3%)与松结态(4.8%)腐殖质也有所增加。但混播苕子与黑麦草的,紧结态腐殖质增加更多(95.5%),而松结态腐殖质没有增加,联结态腐殖质却有所减少(仅4.5%)(表3)。

用稻草或紫云英培肥的黄棕壤和红壤,用水多次分散提取各级团聚体,结果是0.05—0.002毫米这一级的含量最多。为此,分析这一级的腐殖质结合形态藉以了解团聚体中有机质的复合情况。结果是黄棕壤和红壤经过稻草或紫云英培肥后,0.05—0.002毫米团聚体中有机碳也都有增加,而以稻草培肥的增加更多。腐殖质中以紧结态腐殖质增加最多,松结态次之。两种有机肥料相比,稻草的作用比紫云英要大些(表3)。

表3

有机肥料施入土中后腐殖质的结合形态*

土壤及 团聚体	采 样 地 点	处 理 (有 机 肥 料)	总 碳 (%)	追 加 碳 (%)	占追加的碳值%			
					松 结 态	联 结 态	稳 结 态	紧 结 态
潮 土	安 徽 省 城 西 湖 场	对 照 苕 子 苕子、黑麦草混播	0.92	0				
			1.13	0.21	4.8	14.3		80.9
			1.14	0.22	0	4.5		35.5
黄 棕 壤 (0.05—0.002 毫米水稳性团聚体)	南 京 县 江 宁	对 照 紫 云 英 稻 草	0.37					
			0.64	0.27	18.5	14.8	3.7	59.3
			0.73	0.36	19.4	16.7	2.8	58.3
红 壤 (0.05—0.002毫米 水稳性团聚体)	江 西 省 进 贤 县	对 照 紫 云 英 稻 草	0.49					
			0.71	0.22	40.6	4.5	4.5	50.0
			0.93	0.44	36.4	4.5	2.3	56.8

* 引自[3,4]。

看来,土壤中有有机物质与矿物部分的复合是比较复杂的,少数资料还不能说明问题,有待今后进一步研究。

3. 土粒团聚作用 土壤中有有机胶体与粘粒的相复合是复杂的物理化学过程。粘粒表面如强烈吸附活性有机分子,则将在土粒表面形成不溶于水的有机胶膜(包括铁、铝腐殖酸化合物),并通过胶膜,使土粒相互结合而形成团聚体。这样形成的团聚体并不牢固,经过脱水后可逐渐稳定。有机质参与下的土粒团聚,可以形成疏松多孔的水稳性团聚体。土壤中的氧化铁、铝,氧化硅和碳酸钙等也可作为粒间粘结构,但其形成的团聚体不如有机质团聚的好。土壤团聚好,可形成良好的土壤结构,增加土壤协调和调节的作用。

据我们初步分析的结果,水稻土中的微团聚体多集中在0.25—0.01毫米这一级(基本微团聚体),同类土壤的肥沃土壤含这级微团聚体也较多,这级团聚体的有机质含量也较高。红壤和黄棕壤的培肥试验^[4]也指出稻草和紫云英都可以提高黄棕壤0.25—0.05毫米这一级的微团聚体,而红壤则提高0.05—0.01毫米这一级的微团聚体。稻草和紫云英培肥都可增加土壤中毛管孔隙但在黄棕壤中多增加0.2—0.05毫米的传导孔隙,而红壤中则主要增加0.05—0.01毫米的贮藏孔隙(表4)。有机肥料降低土壤容重,稻草的作用大于紫云英。

水分散复合体(<2微米)的含量也可以说明土壤的团聚化程度。安徽中性粘质潮土施用绿肥后,可使分散的粘粒团聚起来,土壤发生明显的聚沉。但是这种团聚体是不稳定的,除非是连年

表4

有机肥料对土壤微团聚体及孔隙容积的影响*

土 壤	采 样 地 点	处 理 (有机肥料)	孔 隙 容 积 (%)		微 团 聚 体 (%)		分 散 系 数
			0.2—0.05 毫 米	0.05—0.01 毫 米	0.25—0.05 毫 米	0.05—0.01 毫 米	
黄 棕 壤	南 京 江 县	对 照	0.8	4.2	6.3	54.4	23.1
		紫 云 英	3.1	4.9	7.1	53.9	22.5
		稻 草	4.5	6.1	9.5	51.5	23.1
红 壤	江 西 进 县	对 照	0.9	1.5	28.8	63.8	3.7
		紫 云 英	0.6	3.3	14.1	77.8	3.6
		稻 草	0.5	3.1	17.3	71.9	4.7

* 引自[4]。

绿肥压青才能保持相对稳定。但是石灰性土壤经过有机肥料培肥后,水分散复合体反而增加;红壤施入稻草后反而增加其分散系数。看来,石灰性土壤和红壤经过培肥过程,将有一个破坏碳酸钙和氧化铁、铝胶结土粒的作用,然后有机质才参与团聚过程。是否如此,有待今后的继续研究。

三、有机无机复合体的性质

1. 电荷及表面积 土壤胶体去除有机质后的负电荷量、比表面积和电荷密度一般是与粘粒矿物组成相适应的(表5)。但未去除有机质的土壤复合体的性质不仅受粘粒矿物的影响,还反映出有机质的复合作用。一般来说,土壤胶体(< 2 微米)去除有机质后,负电荷量往往下降(有些黄棕壤上升),而下降的程度各土不同。如果根据双氧水处理前后有机质减少的数量与相应的负电荷变化的数量计算成有机质表观负电荷(毫克当量/100克),则土壤自北向南大致有愈向南表观负电荷愈大的趋势,也就是说一定单位的有机质对土壤负电荷所作的贡献,愈向南愈大。砖红壤的表观负电荷每百克约351毫克当量,而黑土只83毫克当量(表5)。绿肥培育的潮土^[3],翻压苕子的表观负电荷为148毫克当量,而翻压黑麦草的只85毫克当量。这或可说明土壤粘粒吸附黑麦草的腐殖物质比苕子较多,消耗的交换量亦多,所以表观负电荷减少。

复合胶体腐殖质的表观负电荷也可以反映土壤有机无机复合情况。腐殖质的表观负电荷大,有机无机胶体复合时所消耗的交换点少,则复合较差;反之表观负电荷小,说明复合较多,消耗的交换点亦多。

复合体的极限pH也可以反映负电荷的大小及有机质对负电荷的影响(表5)。黑土复合体的极限pH最低(4.27),砖红壤复合体最高(5.10),黄棕壤居其间。复合体去除有机质后,极限pH都增高,说明有机质可以增加复合胶体的负电荷。

土壤复合胶体去除有机质后,表面积反而有所增加,说明有机质在复合体中起连接作用,使被连接的无机胶体部分的表面积减少,去除有机质后,无机胶体上原来被有机质占据的面积解放出来,因而使表面增加,从而减少电荷密度。所以,复合体(未去有机质)的表面积比粘粒(去有机质的)低,而电荷密度比粘粒高(表5)。

黄棕壤施用紫云英后,表面积减少,施用稻草的黄棕壤,表面积稍有增加。红壤施用紫云英或稻草后,表面积都减少(表6)。看来,不同有机肥料对各种土壤复合体的表面积的影响是比较复杂的。

2. 粘度及电泳速度 土壤有机复合体用双氧水去除有机质后,一般粘度都有不同程度的降低,特别是含有有机质较高的黑土,下降最明显。如将黑土复合胶体用不同浓度双氧水以去除有机质,则其粘度将随复合体中有机质含量减少而逐渐降低。有机质含量与粘度之间呈正相关($r = 0.962^{***}$)。看来,复合体中的有机质可能有增加胶体活性容积,拴住水分的作用,从而增加胶体

表5 五种土壤胶体的负电荷、比表面及电荷密度*

土 壤	负 电 荷 量 (毫克当量/100克)	有 机 质 表 观 负 电 荷 量 (毫克当量/100克)	比表面(米 ² /克)		电 荷 密 度 (毫克当量/100克)		极 限 pH	
			原 胶 体	H ₂ O ₂ 处 理	原 胶 体	H ₂ O ₂ 处 理	原 胶 体	H ₂ O ₂ 处 理
黑 土	59.4	83	420	506	1.41	1.00	4.27	5.56
黄 棕 壤	38.7	142	343	423	1.13	0.99	4.55	5.82
红 壤	18.5	264	202	200	0.92	0.86	—	—
砖 红 壤	13.3	351	158	156	0.84	0.60	5.10	5.92

* 马敬杰、袁朝良:有机质对土壤胶体物理化学性质的影响(未刊稿)。

表 6 有机肥料对土壤复合体负电荷及比表面的影响

土 壤	采 样 地 点	处 理 (有机肥料)	负 电 荷 量 (毫克当量/100克)	比表面 (米 ² /克)
黄棕壤	南 京 江 宁 县	对 照	26.9	480
		紫 云 英	28.2	462
		稻 草	27.4	492
红 壤	江 西 进 贤 县	对 照	9.4	213
		紫 云 英	12.3	193
		稻 草	10.7	203

* 引自〔4〕

表 7 土壤胶体的粘度和电泳速度*

土 壤	采 样 地 点	粘 度 (厘泊)		电 泳 速 度 (微米/秒)	
		原胶体	H ₂ O ₂ 处 理	原胶体	H ₂ O ₂ 处 理
黑 土	黑龙江省虎林县	0.974	0.837	-55.4	-59.1
黄棕壤	南京江宁县	0.910	0.821	-49.3	-54.1
砖红壤	广东省徐开县	—	—	-12.4	-4.4

* 引自〔7〕。

表 8 有机肥料对复合胶体的粘度和电泳速度的影响

土 壤	采 样 地 点	处 理 (有机肥料)	粘 度 (厘泊)	电 泳 速 度 (微米/秒)
潮 土*	安 徽 省 城 西 湖	对 照	0.941	
		苕 子	0.943	
		苕子和黑麦草	0.957	
黄棕壤**	南京江宁县	对 照	0.820	-31
		紫 云 英	0.826	-31
		稻 草	0.833	-30
红 壤**	江 西 省 进 贤 县	对 照	1.086	-22
		紫 云 英	0.815	-29
		稻 草	0.826	-28

* 引自〔3,4〕。

** 马毅杰分析。

的粘度。粘度可看作分散相水化和吸留水增加活性容积的函数,在某种程度上说明有机胶体在体系分散度上的影响。粘度的增加说明胶体絮凝增加,反之则说明胶体分散。所以粘度增大也可说明团聚化的增加。

有机肥料对土壤复合体粘度的影响因土壤类型而有不同。安徽潮土翻压绿肥后,复合体的粘度都有所增加,而黑麦草的作用比苕子大些。黄棕壤的培肥试验也有类似情况,稻草提高黄棕壤复合体粘度的作用比紫云英大。相反,红壤经过紫云英和稻草培肥后,复合体粘度反而减少,可能是为因红壤本身处于絮凝状态,有机肥料产生分散作用。

土壤胶体的电泳速度似与粘度呈相反的趋势。黑土的复合体(未去除有机质的胶体)和粘粒(去除有机质)的粘度都比黄棕壤高。黑土的复合体和粘粒的电泳速度较大;砖红壤的电泳速度较低;黄棕壤居其间(表7)。黑土及黄棕壤胶体去除有机质后,粘度降低,电泳速度增加;而砖红壤胶体的电泳速度则降低很多(表7)。

有机肥料引起土壤胶体性质的变化也有类似的效果。黄棕壤施用稻草或紫云英后,土壤复合体的粘度似稍增加,但不甚明显,而电泳速度有不明显的降低趋势。红壤施用稻草或紫云英后,土壤复合体的粘度较低,而电泳速度增加。紫云英的作用比稻草大(表8)。

3. 养分的吸放和土壤缓冲性能 有机肥料中含有较高的氮素可以提高土壤中的氮素含量。翻压紫云英的土壤及其复合体的含氮量都比稻草还田处理大得多。有机肥料不同,土壤及其复合体的C/N也不同,黄棕壤翻压紫云英后,N素增加而C/N降低,复合体更为明显,稻草也可以增加土壤中的氮素,但不如紫云英多,C/N比也不如紫云英降低得多。

一般来说,有机物质施入土后都会提高土壤的吸铵量和释铵量,同时可以减低磷酸吸收量和增加磷酸的释放量。

有机质还有增加土壤缓冲性能的作用。土壤缓冲性能似可反映土壤的协调作用和人工调节的难易。缓冲曲线图(图1)中黑土复合胶体

的缓冲性能较大, 砖红壤较低, 复合体去除有机质后, 缓冲性能都相应降低, 其降低的程度视有机质的质和量而定。

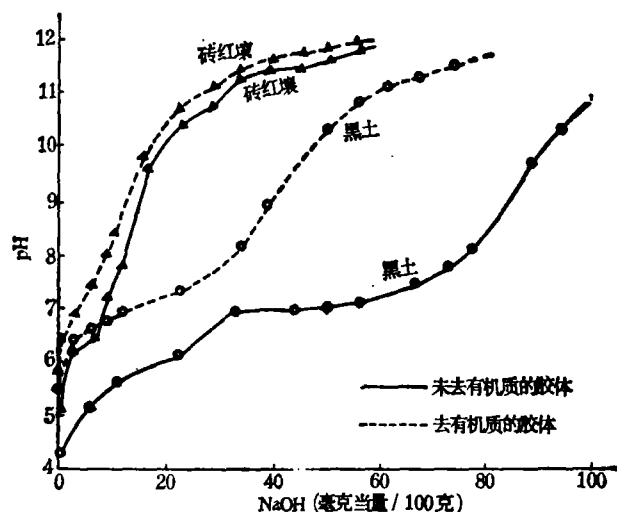


图1 土壤胶体的缓冲曲线*

* 马毅杰、袁朝良: 有机质对土壤胶体物理化学性质的影响(未刊稿)。

参 考 文 献

- [1] 熊毅: 土肥相融是培育肥沃土壤的基础。科学通报, 第17期, 522-525页, 1960。
- [2] 熊毅、陈家坊: 提高土壤肥力在农业生产中的重要意义。土壤通报, 第4期, 1-5页, 1963。
- [3] 傅积平, 张敬森: 绿肥对于淤土及其复合胶体性质的影响。土壤学报, 15卷1期, 83-92页, 1978。
- [4] 刘忠翰: 稻草、紫云英等有机物质对黄棕壤、红壤有机无机复合体性质的影响。研究生毕业论文, 1981。
- [5] 马毅杰、李述刚、王周琼: 风化煤对土壤胶体特性的影响。土壤学报, 16卷1期, 22-28页, 1979。
- [6] 傅积平、褚金海、高以信: 西藏高山土壤复合胶体特性的初步研究。土壤, 第1期, 7-11页, 1981。
- [7] 马毅杰、李欣、蒋剑敏: 钙钠质土壤胶体的电泳和粘度的初步研究。科学通报, 第16期, 756-758页, 1980。

新 书 消 息

《华中亚热带土壤》一书是在李庆远教授领导下, 由中国科学院南京土壤研究所和长沙农业现代化研究所, 根据多年的调查研究、田间试验和实验室研究的结果, 从地球化学观点编著的。内容包括土壤形成、类型和分布, 土壤某些元素循环和养分平衡, 及土壤利用改良和分区三部分共18章。并集有彩色图片46幅。目录、前言和图表的文字均用汉英对照。书后附有华中地区土壤、水和植物分析结果和有关参考文献690条。

该书为16开本约35万字, 价3.5元, 由湖南科技出版社出版, 1983年1月发行。可供土壤和农、林、牧工作者, 生态环境和地理工作者, 以及大专院校有关专业师生参考。欢迎去函至湖南科技出版社预订。