

土壤中有机矿质胶体融和的研究

II. 有机矿质复合体的物理化学特性*

武玫玲 馬毅杰

(中国科学院土壤研究所)

土肥相融是培育肥沃土壤的重要途径^[1,2]。第一报^[3]的研究结果,认为土肥相融的实质是土壤中有有机矿质胶体的相互作用,有机矿质复合体促进良好结构的形成。

最近熊毅和陈家坊^[4]曾讨论了土壤肥力的特性。他们认为土壤肥力有高低之分,肥力高的土壤可以在作物不同生育期间及时满足作物所需的水分、养分和其他生活条件,并且能很好地协调这些生活条件;土壤的这种协调能力,是土壤物理、化学和生物特性的综合反映,是判别土壤“好、坏”的标准。他们还强调指出,协调能力的大小主要决定于土壤结构状况的好坏。要讨论土壤结构性的改善,必须注意有机矿质复合体,因为有机矿质复合体是组成良好土壤结构的基本单元;土壤中有有机矿质复合体的形成及其特性密切地影响着土壤的肥力状况。所以研究不同肥力水平的土壤中的有机矿质复合体的物理化学特性及其在保肥、保水方面的作用,可以更进一步地了解土壤肥力实质,对有机肥料在培育肥沃土壤中的重要作用也可提供一些指标和数据。

关于有机矿质复合体的研究,前人^[3,5-9]已进行很多工作。但是国外的研究都局限于不同土类的相互比较,很少讨论人为耕作措施对有机矿质复合体的影响。至于土壤有机矿质复合体在肥力上的意义,一般都侧重于养分含量和供应状况的讨论,对保蓄和释放肥水方面还缺少资料。此外,在研究有机矿质复合体的工作中,过去 A. Ф. Тюлин 等人系用 <10 微米的微团聚体作为研究对象;据前文的研究结果^[3], <5 微米的微团聚体较 <10 微米部分更为活跃和疏松多孔,渗透到细小部分的腐殖质也较多^[3,6]。为了便于开展物理化学的研究,本文用 <5 微米的微团聚体作为研究对象。这只是一项尝试的工作,很不成熟,现将初步结果整理出来,供大家讨论,并请指教。

一、供试土壤和试验方法

(一) 供试土壤 供试土壤计有三类:轻壤质草甸褐土,采自河南长葛县(草甸褐土样品系重新采集,不是第 I 报中的土样);中壤质黄褐土,采自本所江宁试验场;红壤采自江西进贤。在这三类土壤中,分别在同一变种和土种内挑选肥力水平不同的 2—3 种表层土壤,其中两个草甸褐土都是耕地,红壤有两个是耕地,一个是荒地,黄褐土中的荒地肥力较高,结构性亦较好,耕地的种植时间不长,施肥也少。各试样的一般理化性质见表 1。

* 本工作是在熊毅教授指导下进行的,并承陈家坊、文启孝先生提供宝贵意见,一并致谢。陈碧云同志参加分析工作。

表 1 供試土壤的理化性質

土 壤		pH	有 机 质 (%)	交 换 量 (毫克当 量/100克)	全氮 (%)	全 磷 (P ₂ O ₅ %)	机 械 组 成* (毫米)%							質地 名称
名称	肥力 水平						1— 0.25	0.25— 0.05	0.05— 0.01	0.01— 0.005	0.005— 0.001	<0.001	<0.01	
草甸 褐土	較高	8.80	1.25	10.10	0.066	0.14	—	16.1	63.2	3.0	5.1	12.6	20.7	輕壤土
	較低	8.95	0.91	6.63	0.063	0.11	—	14.5	63.1	3.4	4.2	14.8	22.4	輕壤土
黃褐土	較高	5.98	2.94	11.60	0.139	0.068	—	5.8	57.2	9.5	11.0	16.5	37.0	中壤土
	較低	6.05	1.45	8.56	0.080	0.050	—	3.8	65.8	8.3	7.8	14.3	30.4	中壤土
紅壤	較高	7.25	1.22	10.30	0.073	0.064	11.4	10.9	46.9	11.6	10.5	8.7	30.8	中壤土
	較低	6.25	1.91	11.22	0.116	0.072	13.9	13.2	48.2	8.6	8.6	7.5	24.7	中壤土
	荒地	5.50	2.99	9.09	0.160	0.048	2.7	3.4	35.2	11.5	14.3	32.8	58.6	重壤土

* 草甸褐土及黃褐土由本所分析室王伏雄同志分析。紅壤的機械組成引自文獻[28]。

(二) 試驗方法 按 Качинский 法^[3,10] 提取一定數量的 < 5 微米微團聚體，制成氫、鋁質(脫鈣作用已同時進行)，供研究用。

土壤微團聚體各種特性的測定：碳用常法，陽離子交換量用氯化鋇法，鉍的吸附與解吸採用陳家坊^[11]改進法，其他方法簡介如下：

1. 不同形態腐殖質的測定：根據 И. Н. Антипов-Каратаев 和 В. В. Келлерман 法^[12,13]，用 0.1N NaOH 提取到溶液無色為止，所提取的溶液為游離和松結態腐殖質。樣品繼用水洗至中性，然後用 Тамм 溶液(草酸和草酸鉍的緩沖液，pH3.20—3.27)去除活性二三氧化物至溶液中 Fe^{+++} 微量為止(用 KCNS 檢驗)；用 0.05N H_2SO_4 洗去草酸鹽(以 $KMnO_4$ 檢驗之)，再以 0.1N NaOH 提取至溶液無色為止，所得的是與活性二三氧化物結合的腐殖質。所得的 NaOH 提取液，分別按常法進行胡敏酸的分離和測定，富里酸用差異法求得。最後剩留在土樣內的腐殖質屬與礦物緊結合態的腐殖質(其中還包括粗有機質)。

2. 表面積：用甘油吸附法^[14,15]。一定量的風干樣品，在 110℃ 烘至恆重。然後加入 2% 甘油，使樣品全部濕潤。在 110℃ 烘至恆重(烘箱中保持飽和甘油蒸汽壓)。另取一份樣品，先以 1N 三乙醇胺處理，然後用同法測定甘油吸附量。並按下式計算表面積：

外表面積 = (三乙醇胺處理標本固定甘油%) × 17.65 平方米/克

內表面積 = [(未處理標本固定甘油%) - (處理標本固定甘油%)] × 35.3 平方米/克

總表面積 = (外表面積) + (內表面積)

3. 电泳：电泳速度用蔣劍敏等^[16] 仿制的 Mattson 微电泳儀(電極距離為 9.7 厘米)測定。懸液濃度為萬分之二。直流電壓 80 伏，在顯微鏡下測定其經過 180 微米行程的电泳時間，重複 10 次左右，取平均數，按 Helmholtz-Perrin 公式計算電動電位。

4. 磷的吸收能力及各種形態磷鹽的測定：磷酸吸收能力——樣品 1 克，加入含磷 50 ppm 的 KH_2PO_4 溶液 50 毫升，振蕩 2 小時，放置過夜，過濾，測定濾液中剩餘磷量，加入量減去剩餘量，即為吸收磷量。各種形態磷鹽的測定基本按 S. C. Change 和 M. L. Jackson 法^[17]。將上述吸收磷鹽後的樣品，分別提取各種形態的磷鹽。水溶性、代換性及松結合磷鹽以 1N NH_4Cl 提取。磷酸鋁、磷酸鐵及磷酸鈣則分別以 0.5N NH_4F 、0.1N NaOH 及 0.5N H_2SO_4 提取。磷的測定都用鉬藍法。

5. 吸水曲綫: 取 0.2 克样品, 装入一端包有滤紙的細玻管(刻度为 0.02 毫升)內, 將玻管提高至 1 厘米高度, 註其自由落下, 如此敲击 100 次, 讀出样品所占体积算出容重。將細玻管置于吸水膨胀仪^[18]的砂蕊漏斗上吸收水分, 从微量吸管(刻度为 0.005 毫升)上讀出各个時間的吸水量, 繪成吸水曲綫。

6. 脫水曲綫: 將吸足水分的样品, 置于紅外綫水分測定仪中保持 60℃, 讀出不同時間失水量, 繪成脫水曲綫。

二、結果和討論

(一) 微团聚体的組成

本文所研究的三种类型土壤中粒径 1—0.25 毫米和 < 0.01 毫米的团聚体, 都是肥力較高土壤比肥力較低土壤为多; 相反, 粒径 0.25—0.01 毫米团聚体則以肥力較低土壤含量較多(表 2)。这与以前結果相一致^[3]。紅壤荒地土表的有机質含量較高, 且質地較為粘重, 故其微团聚体的分配情况不能与其他两种紅壤对比。

表 2 土壤微团聚体分析

土 壤		团 聚 体 (毫米)%					< 0.005 毫米 微团聚体腐殖 質含量(%)
名 称	肥力水平	1—0.25	0.25—0.01	0.01—0.005	<0.01	<0.005	
草甸褐土	較 高	1.3	89.3	4.2	9.4	5.2	2.81
	較 低	0.6	91.7	3.6	7.7	4.1	2.24
黃 褐 土	較 高	6.5	76.6	8.5	16.9	8.4	4.72
	較 低	2.0	84.6	6.7	13.4	6.7	3.53
紅 壤	較 高	11.5	62.4	10.7	26.1	15.4	2.12
	較 低	9.9	67.5	10.1	22.6	12.5	2.19
	荒 地	22.3	53.7	8.8	24.0	15.2	2.95

各供試土样 < 5 微米微团聚体的 X 射綫衍射譜示于图 1, 2, 3。黃褐土和草甸褐土中含有伊利石、高岭石和蛭石, 草甸褐土并含有少量蒙脫石; 紅壤則以高岭石和伊利石为主, 含有少量蛭石。不同肥力水平的同种土壤的粘土矿物組成差异不大。但腐殖質含量(表 2)和腐殖質与矿質部分的結合形态和組成(表 3)則有明显差別。由表 3 可見, < 5 微米微团聚体中以游离松結态和与矿物紧結态腐殖質为主, 而与活性 R_2O_3 結合的腐殖質量較少。草甸褐土和黃褐土, 肥力水平較高土壤的 < 5 微米微团聚体中游离松結态碳及与活性 R_2O_3 結合的腐殖質碳占全碳的百分数都比肥力較低土壤为低(紅壤的情况不明显, 肥力水平較高紅壤的游离松結态碳及較肥力較低紅壤为高); 而与矿物紧結合的腐殖質碳則較高, 說明土壤微团聚体中各种形态腐殖質都随着土壤肥力水平的提高而有所增长, 但以紧結合腐殖質增长的幅度較大, 差异也最明显(紧結合腐殖質包括粗有机質, 但在 < 5 微米这样細小的粒級中, 粗有机質的含量不可能很多)。同一类土壤中肥力高低不同的土壤相对比, 肥力較高土壤的 < 5 微米微团聚体中胡敏酸含量較肥力低土壤为高, 富里酸含量則較低。在紅壤的游离松結态腐殖質組成中表現最为明显。

根据上述結果可以看出, 在同一土种或变种下不同肥力水平的土壤中, 机械組成基本

相近，粘土礦物組成也大体一致，但隨着精耕細作、施用有機肥料和採用其他農業技術措施，土壤肥力水平不斷提高，有機物質漸趨複雜，有機與礦質部分結合緊密，不僅形成較多的微團聚體而且形成質量較好的微團聚體^[19]。

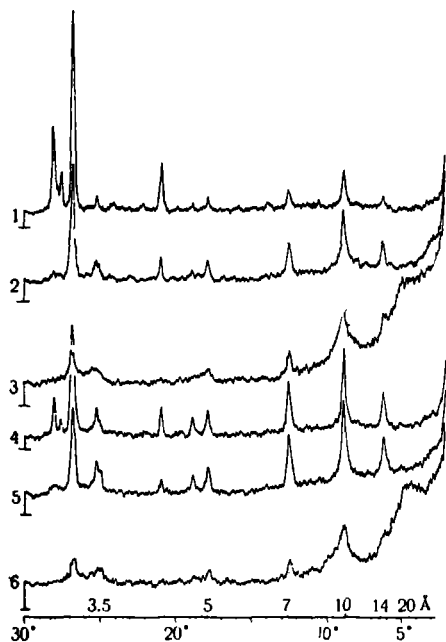


圖 1 草甸褐土膠體的 X 射綫衍射譜

1, 2, 3——肥力較高土壤的 4, 5, 6——肥力較低土壤的
1, 4——5—2 微米 2, 5——2—1 微米 3, 6——<1 微米

(二) 微團聚體的表面性能

1. 吸收性能：土壤陽離子交換量一般與土壤有機質含量密切相關，除紅壤荒地雖含較多腐殖質而交換量不見增高外，其他土壤的陽離子交換量都是隨着腐殖質含量的增加而增高(表 1)。但是 < 5 微米微團聚體的交換量並不隨腐殖質含量的增加而增加，有時含有機質較多的微團聚體，其交換量反而較低(表 4)。這種情況可能是由於複合體中的腐殖質與礦質結合得較為緊密消耗的“交換點”較多。此外，微團聚體中腐殖質多處於結合狀態，很少以游離狀態存在^[6]，也不無關係。從表 4 腐殖質表觀交換量來看，肥力較高土壤的表觀交換量較高，這與其他人^[20, 21]的資料是一致的。但是各種土壤間腐殖質的表觀交換量，差異很大，說明土壤微團聚體中有機質與礦質相結合的複雜性，值得今後繼續深入研究。

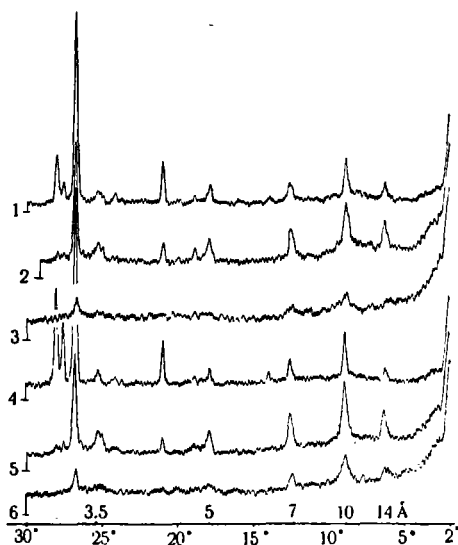


圖 2 黃褐土膠體的 X 射綫衍射譜

1, 2, 3——肥力較高土壤的 4, 5, 6——肥力較低土壤的
1, 4——5—2 微米 2, 5——2—1 微米 3, 6——<1 微米

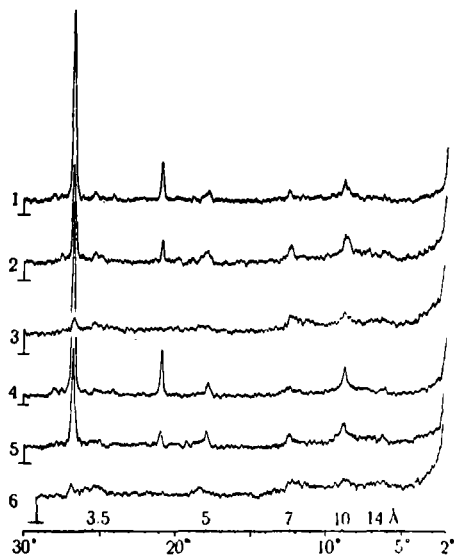


圖 3 紅壤膠體的 X 射綫衍射譜

1, 2, 3——肥力較高土壤的 4, 5, 6——肥力較低土壤的
1, 4——5—2 微米 2, 5——2—1 微米 3, 6——<1 微米

表3 <5微米微团聚体中腐殖质的结合形态及其组成

土 壤		游 离 松 结 态 碳								与活性 R ₂ O ₃ 结合态碳								与矿物紧 结合态碳		全* 碳 (%)
名称	肥力水平	胡敏酸碳		富里酸碳		总 量		胡敏酸碳	胡敏酸碳		富里酸碳		总 量		胡敏酸碳	富里酸碳	含量 (%)	占全 碳%		
		含量 (%)	占全 碳%	含量 (%)	占全 碳%	含量 (%)	占全 碳%		含量 (%)	占全 碳%	含量 (%)	占全 碳%	含量 (%)	占全 碳%						
草甸 褐土	较高	0.38	23.9	0.44	27.7	0.82	51.6	0.9	0.085	5.3	0.075	4.7	0.16	10.1	1.1	0.61	38.4	1.59		
	较低	0.28	19.4	0.49	34.0	0.77	53.5	0.6	0.095	6.6	0.095	6.6	0.19	13.2	1.0	0.48	33.3	1.44**		
黄褐 土	较高	0.48	17.6	1.14	41.8	1.62	59.3	0.4	0.089	3.3	0.12	4.4	0.21	7.7	0.7	0.90	33.0	2.73		
	较低	0.28	13.7	1.14	55.6	1.42	69.3	0.2	0.088	4.3	0.11	5.4	0.20	9.8	0.8	0.43	21.0	2.05		
红壤	较高	0.14	11.4	0.54	44.9	0.68	55.3	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	较低	0.068	5.4	0.56	44.1	0.63	49.6	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	荒地	0.017	1.0	0.76	44.4	0.78	45.6	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

* 三种结合形态的腐殖物质的碳的总和。

** 结果偏高。

表4 土壤和 <5微米微团聚体的交换量(毫克当量/100克)

土 壤		土 壤		<5微米微团聚体				
名 称	肥力水平	交 换 量	腐 殖 质 (%)	交 换 量	腐 殖 质 (%)	H_2O_2 处 理		腐殖质的表 观交换量
						交 换 量	残余腐殖质 (%)	
草甸褐土	较 高	10.10	1.25	24.80	2.81	22.48	0.34	93.9
	较 低	6.63	0.91	26.71	2.24	25.53	0.45	65.9
黄 褐 土	较 高	11.60	2.94	23.50	4.72	23.07	0.40	10.0
	较 低	8.56	1.45	24.84	3.53	25.72	0.39	-27.7
红 壤	较 高	10.30	1.22	15.40	2.12	15.54	0.28	-7.6
	较 低	11.22	1.91	15.07	2.19	15.88	0.54	-49.1
	荒 地	9.09	2.99	14.11	2.95	16.27	0.38	-84.0

何羣等^[21]认为有机质与矿质部分的结合方式不同,其对交换量的影响也不同。如果有机与无机胶体的电荷为其共有的交换性阳离子所补偿,则可形成 A. Ф. Тюлин 所谓的负电性凝胶,去除有机质后,交换量将降低;如有机质与矿质部分的碱基胶体发生等电沉淀或者是通过碱基胶体与矿质的酸基胶体形成等电性凝胶,则去除有机质后,交换量非但不减少,反因解放部分交换点而使交换量增加,因而有机质的表观交换量变为小于零。根据他们的解释,草甸褐土似以负电性凝胶为主,而红壤则以等电沉淀或等电性凝胶为主。在同一类土壤中不同肥力水平的土壤相比较,土壤肥力提高后,等电凝胶或等电沉淀的结合将逐渐减少。

2. 表面积和电泳: 土壤胶体的表面积及其电动电位的大小,对土壤一系列的物理化学性质有着重要的影响。比较肥力水平不同的各种土壤,一般是肥力较高土壤,其微团聚体的总表面积较小,而外表面积所占的比例却较高(表5)。微团聚体去除有机质后,总比表面积都有所降低,说明腐殖质可以增加土壤的比表面积,这与张效年^[22]及 Bower 等^[23]的结果是一致的。Bower 曾指出,土壤中的每1%有机物质平均增加土壤的总比表面积7平方米/克。据本文的研究结果,草甸褐土每1%腐殖质可增加总表面积5.7平方米/克,黄

褐土為 6.7 平方米/克。有一個現象應當提出的, 草甸褐土中的有機質主要增加外表面積, 而不增加內外表面積; 但是, 黃褐土中的有機質, 不僅增加外表面積, 而且對內外表面積的增加更為明顯。這是什麼原因? 從腐殖質表觀交換量 (表 4) 的差異看來, 可能是由於微團聚體中有機質與礦質結合的方式不同所致。

表 5 < 5 微米微團聚體的比表面積和電動電位

土 壤		处 理	pH	腐 殖 質 (%)	比 表 面 积					电动电位* (毫伏)
					外 比 表 面 积		內 比 表 面 积		总比表面积 平方米/克	
					平方米/克	占总表面积 %	平方米/克	占总表面积 %		
草甸褐 土	較 高	未	5.45	2.81	44	35.5	80	64.5	124	-25.0
		H ₂ O ₂	—	0.34	30	27.3	80	72.7	110	—
	較 低	未	5.50	2.24	42	27.4	111	72.6	153	-35.4
黄褐土	較 高	未	6.10	4.72	52	47.7	57	52.3	109	-25.0
		H ₂ O ₂	—	0.40	50	62.5	30	37.5	80	—
	較 低	未	6.20	3.53	47	41.2	67	58.8	114	-32.5
紅 壤	較 高	未	6.50	2.12	—	—	—	—	—	-31.3
	較 低	未	5.60	2.19	—	—	—	—	—	-34.2

* 包梅芬同志分析。

电泳的測定結果說明, 各種土壤微團聚體都帶負電荷, 肥力較高土壤中微團聚體的電動電位也較低 (表 5)。這與比表面積和交換量的結果甚相一致。膠體的電動電位愈大, 分散狀態愈趨穩定, 愈不可能形成良好的結構, 土壤肥力水平也將較低^[24]。土壤膠體電動電位的大小決定於酸、鹼膠體的組成和數量。土壤經過施用有機肥料和精耕細作, 可以引起土壤中酸性膠體和鹼性膠體的變化^[16], 因而影響土壤的電化學特性。

(三) 微團聚體吸收磷酸和銨的情況

為了探討微團聚體在肥力上的意義, 研究了幾種土壤微團聚體的磷酸吸收能力、吸收磷酸後各種形態磷鹽的分配以及對銨的吸附和解吸作用。

根據表 6, 土壤肥力越高, < 5 微米微團聚體吸收磷量越少, 其中尤以草甸褐土的差異最為顯著。眾所周知, 有機質能降低土壤對磷酸的固定能力, 肥力較高的土壤含有機質較多, 因而吸收磷酸的性能減低。此外, 游離 R₂O₃ 的含量也是影響磷酸吸收的一個因素^[25]。肥力較高的土壤中, NH₄Cl 和 H₂SO₄ 溶性磷所占的比例較大, NaOH 溶性磷較小, NH₄F 溶性磷在不同肥力水平的土壤中是相接近的。NH₄Cl 和 H₂SO₄ 溶性磷主要代表水溶性、代換性及松結合的磷鹽 (這裡主要是後兩者) 和磷酸鈣鹽^[17]。這些形態的磷鹽可供植物利用, 特別是 NH₄Cl 提取部分有效性更大。至於鐵和鋁的磷酸鹽, 植物可利用的程度較小。上述結果說明, 肥力較高土壤的微團聚體所吸收的磷有效性較大。

根據銨的吸附與解吸結果 (表 7), 肥力較高土壤中微團聚體的易解吸性銨較多, 如以占吸收性銨總量的百分數計, 肥力較高土壤中微團聚體的易解吸性銨比肥力較低的土壤高 2—3 倍, 而非解吸性銨的含量恰相反。不同肥力水平的土壤相對比, 肥力較低土壤的微團聚體所含的吸收性銨的總量反而較大, 特別是紅壤尤為顯著。陳家坊^[11]曾認為易解

吸性铵主要是在胶体表面上结合得极松的物理性吸附,比较容易释放,对植物有效性也大。易解吸性铵在吸收性铵的总量中所占的百分数,有随着土壤肥力水平增高而增多的趋势。陈家坊^[20]等也曾指出,土壤中的有机部分对易解吸性铵的吸附起着较大的作用。肥力较高的土壤,腐殖质多与矿物紧密结合,部分腐殖质还可伸入粘土矿物的晶层间,減低了土壤吸收铵的数量,因而非解吸性铵的含量反而较少。

表 6 < 5 微米微团聚体对磷酸吸收能力及吸收磷酸后各种形态磷盐的分配(毫克 P/100 克)

土 壤		1N NH ₄ Cl		0.5 N NH ₄ F		0.1N NaOH		0.5 N H ₂ SO ₄		四种形态 磷盐总和 (毫克/100克)	吸 收 量	
名 称	肥力 水平	含量	占吸收量 %	含量	占吸收量 %	含量	占吸收量 %	含量	占吸收量 %		吸磷量	相对值
草甸褐 土	較高	21.8	30.1	35.7	49.2	12.6	17.4	2.0	2.8	72.1	72.5	100
	較低	26.3	27.7	46.3	48.7	21.2	22.3	0.7	0.7	94.5	95.0	131
黃褐土	較高	25.0	23.5	57.8	54.3	17.1	16.0	2.7	2.5	102.6	106.5	100
	較低	23.3	20.9	60.5	54.3	21.8	19.6	2.5	2.2	108.1	111.5	105
紅 壤	較高	27.4	33.8	39.9	49.3	10.1	12.5	3.3	4.1	80.7	81.0	100
	較低	26.9	28.3	43.6	45.9	20.2	21.3	4.1	4.3	94.8	95.0	117

表 7 < 5 微米微团聚体对铵的吸附与解吸

土 壤		易 解 吸 性 铵		非 解 吸 性 铵		吸 收 性 铵 总 量	
名 称	肥力水平	含 量 (毫克/100克)	占 总 量 %	含 量 (毫克/100克)	占 总 量 %	含 量 (毫克/100克)	相 对 值
草甸褐土	較 高	38	10.3	331	89.7	369	100
	較 低	22	5.4	386	94.6	408	111
紅 壤	較 高	46	16.4	222	82.7	268	100
	較 低	23	5.6	389	94.4	412	154

(四) 微团聚体吸持水分的性能

有机矿质复合体可改善土壤结构,使土壤有良好的孔隙性,既有毛管孔隙,又有相当数量的非毛管孔隙,从而促使土壤具有良好的吸持水分的能力。< 5 微米微团聚体是土壤结构的基本单元,它可以相互胶结或与 > 5 微米颗粒胶结成结构体。所以 < 5 微米微团聚体的孔隙性状,对整个土壤的结构性有一定的影响。

在吸水测定中,各个样品达完全湿润、开始膨胀和明显膨胀的时间不一(表 8),但一般

表 8 < 5 微米微团聚体吸水过程中的一些水分物理特性

土 壤		处 理	容 重		全部湿 潤時間 (分)	开始膨 脹時間 (分)	明显膨 脹時間 (分)	膨脹增 加体积 (毫升/克)	全部湿润 时吸水量 (%)	吸足 水量 (%)	飽和含水量 (%) (按容重、比重計算)	总孔隙度 (%)
名 称	肥力 水平		膨脹前	膨脹后								
黃褐土	較高	未	0.90	0.87	9	13	16	0.04	54.0	77.0	77.9	67.0
		H ₂ O ₂	1.08	1.00	9.5	13	22.5	0.08	44.3	62.3	63.4	63.1
	較低	未	1.03	0.98	11.5	13	20	0.05	49.0	65.7	65.0	63.7
草甸褐 土	較高	未	1.02	0.99	5	9	13	0.035	47.5	65.8	64.0	63.3
	較低	未	1.09	1.01	7	11	15	0.07	45.5	63.8	61.9	62.6

在 7 小時後都不再繼續吸水，所吸足的水量可認為是飽和含水量。我們曾按比重 (2.70)，容重 (膨脹後) 計算飽和含水量，其計算數值與吸足水量很接近 (表 8)。

黃褐土和草甸褐土的飽和含水量 (吸足水量，表 8)，都是以肥力水平較高的土壤較高，黃褐土去除有機質後的含水量顯著降低，說明有機質在持蓄水分中的作用。此外，從土壤容重也可看出結構性與持蓄水分的關係，黃褐土在膨脹前的容重，以去除有機質後的土壤最高，肥力較低土壤次之，肥力較高土壤最小，這也是一個明顯的說明。

Роде^[26] 認為，球形顆粒呈立方體排列的情況下，孔隙的最寬和最狹半徑分別為 $0.73R$ 和 $0.41R$ (R 為顆粒半徑)，據此計算， < 5 微米微團聚體中有一定數量的孔隙直徑大於 1 微米。Качинский^[27] 認為，毛管性能在直徑 0.1 到 0.001 毫米的小孔中表現得特別強。在微團聚體吸水試驗的過程中，水分濕潤界綫逐漸上移，幾分鐘內即可將土壤完全濕潤，這時的水分運行主要是毛管水。由微團聚體吸水曲綫 (圖 4) 可以看到，從開始到完全濕潤階段，吸水曲綫的斜率較大，說明水分運行最快；以後吸水曲綫開始轉折，土壤出現膨脹；再後，土壤膨脹明顯，吸水曲綫平緩。圖 4 中每個曲綫呈現三段或四段直綫，完全濕潤、開始膨脹、膨脹明顯 (或完全濕潤、膨脹明顯) 都表現在轉折點上。土壤完全濕潤時的吸水量 (表 8) 應屬於毛管水，肥力水平較高的黃褐土比肥力水平較低的黃褐土吸水較多，去除有機質的土壤吸水更少；草甸褐土也有類似情況 (表 8)，這說明肥力水平較高的土壤含有效水分也較多。

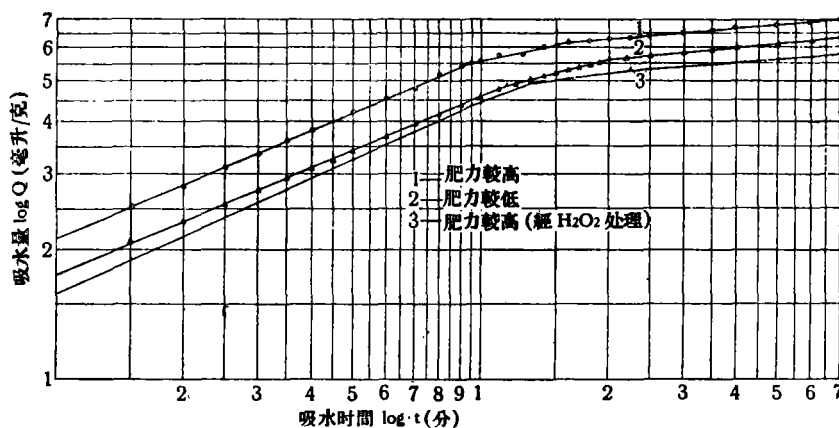


圖 4 黃褐土 < 5 微米微團聚體吸水曲綫

膨脹系數的情況 (表 8) 和毛管水恰相反，黃褐土和草甸褐土都是肥力水平較高的比肥力較低的為低，去除有機質的黃褐土最高。表 9 吸濕水的測定結果可以說明肥力水平較高土壤所吸附的束縛水較少。土壤吸濕水的含量與土壤總表面積的結果是一致的。表面積愈大，吸濕水愈多，反之，愈小。吸濕水按表面積計算，吸濕水膜厚度 ($4.88-6.30 \times 10^{-8}$ 厘米) 約相當於水分子直徑 (2.76×10^{-8} 厘米) 的兩倍。換言之， < 5 微米微團聚體可吸附二層水分子厚度的水分。

從脫水曲綫 (圖 5) 可以看出黃褐土為水飽和後，受熱蒸發耗損水分的情況是在開始 1—1.5 小時內幾乎呈直綫下降，稍後曲綫較平緩在 3—3.5 小時曲綫更平緩，耗水速度較慢。肥力水平較高的黃褐土，飽和含水量約 77%，經 3.5 小時照射蒸發後，含水量降至

35% 左右;肥力水平較低的黃褐土,相应为 65.7% 和 26% 左右。如以蒸发后最后保持的水量,除原来的蓄水量作为保水系数,則以肥力水平較高的黃褐土較大,約 45.5%,肥力較低的只 39.6%。这結果說明,在同样蒸发条件下,肥力水平較高土壤的不仅保水能力,而且供水能力也較肥力水平較低者为高。

表 9 < 5 微米微团聚体吸湿水(相对湿度 74.3%)

土 壤		吸湿水	总表面积	吸附水膜厚度
名 称	肥力水平	(%)	(平方米/克)	(厘米)
黃褐土	較 高	6.19	109	5.68×10^{-8}
	較 低	7.18	114	6.30×10^{-8}
草甸褐土	較 高	6.60	124	5.32×10^{-8}
	較 低	7.47	153	4.88×10^{-8}

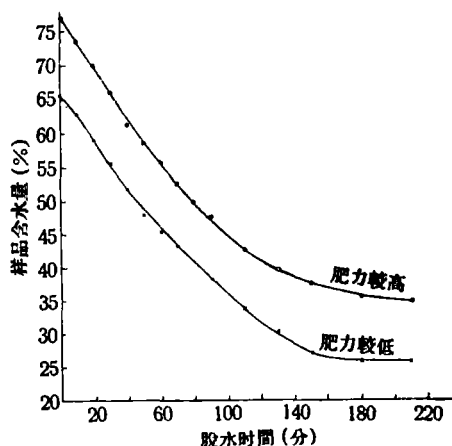


图 5 黃褐土脫水曲綫

三、結 語

綜合上述,土壤經過施用有机肥料后,肥力水平逐漸提高,土壤中有机与矿質胶体不仅結合越趋紧密,而且腐殖质趋向复杂化,所形成的微团聚体質量也較好。肥沃土壤的微团聚体有較大的外表面积,电动电位較低,磷酸固定量較低,易解吸性銨較多,有效水分的吸持量較大而吸湿水和膨胀系数都較低。这些性質有力地說明有机矿質复合体在土壤肥力中的重要意义。

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, 17 期, 522—525 頁, 1960。
- [2] 中国科学院土壤及水土保持研究所土壤培肥研究組: 土肥相融是瘦土变肥土的关键。土壤, 8 期, 1—8 頁, 1960。
- [3] 武玫玲、馬毅杰: 土壤中有机矿質胶体融和的研究: 1. 土肥相融实质的探討。土壤学报, 9 卷 1—2 期, 9—21 頁, 1961。
- [4] 熊毅、陈家坊: 提高土壤肥力在发展农业生产中的重要意义。土壤通报, 4 期, 1—5 頁, 1963。
- [5] Тюлин, А. Ф.: Органо-минеральные коллоиды в Почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений. Изд. АН СССР, 1958。
- [6] Хан, Д. В.: Состав перегнойных веществ и их связь с минеральной частью почв. Почвоведение, 1, 10—18, 1959。
- [7] Atkinson, H. J. et al: Soil colloids. I—V. Sci. Agr., 23(1943), 273—286; Soil Sci. 57(1944), 233—240; 243—266; Ibid. 58(1944), 73—84; Sci. Agr., 28(1948), 577—583。
- [8] Hashimoto, H. et al: Studies on the organo-mineral colloidal complexes of paddy soil. I—V. Soil & Plant food, 1(1955), 105—108; Ibid. 4(1958) 110—116; Ibid. 5(1959), 28—35, 49—53, 114—119。
- [9] Brydon, J. E. et al: A study of the clay-humus complexes of a chernozemic and a podzol soil. Canadian Jour. of Soil Sci., 39, 136—143, 1959。
- [10] Л. Н. 阿列克桑德洛娃等(王书清譯): 土壤学实验室作业。98—100 頁, 高等教育出版社, 1960。
- [11] 陈家坊: 中国某些紅黃壤中吸收性銨的解吸作用。土壤学报, 5 卷 4 期, 331—345 頁, 1957。
- [12] Антипов-Каратаев, И. Н., Каллерман, В. В. и Хан, Д. В.: О почвенном агрегате и методах его исследование. Изд. АН СССР, Москва, 1948。
- [13] Келлерман, В. В.: Физико-химические свойства водоустойчивых агрегатов в различных типах почв СССР. сб. вопросы физико-химии почв и методы исследования. 15—19, Изд. АН СССР, Москва, 1959。

- [14] Kinter, E. B. et al.: Gravimetric determination of monolayer glycerol complexes of clay minerals. *Clay and Clay Minerals*, Nat. Aca. Sci. Nat. Res. Coun. Pub., 566, 318—333, 1956.
- [15] Diamond, S. et al.: Surface areas of clay minerals as derived from measurements of glycerol retention. *Ibid.* 334—347, 1956.
- [16] 蔣劍敏、沈壬水：有機質與鉄對紅壤膠體等電性質的影響。土壤學報，10卷4期，355—360頁，1962。
- [17] Chang, S. C. et al.: Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.*, 84, 133—144, 1957.
- [18] 蔣劍敏、熊毅：土壤膠體膨脹的初步研究。土壤學報，4卷2期，129—142頁，1956。
- [19] M. M. 科諾諾娃(陳恩健等譯)：土壤有機質。1—46頁，科學出版社，1959。
- [20] 中國科學院農業豐產研究叢書編輯委員會：水稻豐產的土壤環境。130—144頁，科學出版社，1961。
- [21] 何羣、陳家坊：第四紀紅土發育的水稻土微團聚體特性的初步研究。土壤學報，12卷1期，55—62頁，1964。
- [22] 張效年等：土壤膠體電荷的初步研究。科學通報，9期，52頁，1962。
- [23] Bower, C. A. et al.: Ethylene glycol retention by soils as a measure of surface area and interlayer swelling. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 16, 342—345, 1952.
- [24] 朱祖祥等：土壤學。173頁，高等教育出版社，1956。
- [25] Toth, S. J.: Anion adsorption by soil colloids in relation to changes in free iron oxides. *Soil Sci.*, 44, 299—314, 1937.
- [26] Роде, А. А.: Почвенная влага. 18—19, Изд. АН СССР, Москва, 1952.
- [27] Качинский, Н. А.: Физика и механика почвы 40 лет на службе социалистического строительства. *Почвоведение*, 12, 20—34, 1957.
- [28] 姚賢良、于德芬：贛中丘陵地區紅壤性水稻土的結構狀況及其肥力意義。土壤學報，10卷3期，267—288頁，1962。

STUDIES ON THE FORMATION OF ORGANIC AND MINERAL COLLOIDAL COMPLEX IN SOILS

II. THE PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ORGANO-MINERAL COLLOIDAL COMPLEXES

WU MEI-LING AND MA YI-CHE

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica*)

(SUMMARY)

A study was made on the physico-chemical properties of micro-aggregates in meadow drab soils, yellowish drab soils and red earths of different levels of fertility. The results show that with the use of organic fertilizers the soil fertility is raised gradually, the organic and mineral colloids become combined more tightly, the ratio of humic and fulvic acids appears to be greater; all these making the micro-aggregates of the soils with high fertility to possess the following properties: a greater external-surface area, a lower electrophoretic velocity, a lower phosphorus fixing power, a larger amount of easily releasable ammonium, a greater available water holding capacity, and a lower hygroscopic water and swelling coefficient. From the results mentioned above, it is evident that the organo-mineral colloidal complexes are of great significance in soil fertility.