

# 土壤有机矿质复合体研究

## V. 胶散复合体组成和生成条件的剖析\*

徐建民 袁可能  
(浙江农业大学土化系, 310029)

### 摘 要

本文采用胶体分散法研究我国自北而南的13个地带性土壤中有机矿质复合体的组成、形成因素及其结合特点等。结果表明: 复合体总量( $G_0 + G_1 + G_2$ )与土壤中粘粒含量呈显著正相关。复合体类型中, $G_0$ 组的变化没有明显规律, $G_1$ 组在石灰性土壤和中性土壤中含量较高,自北而南有逐渐减少的趋势, $G_2$ 组则在酸性土壤中含量较高,自北而南呈逐渐增加趋势, $G_1/G_2$ 比值范围为0.25—12.35,自北而南呈渐减趋势。各组复合体含量与成土因素、矿质全量、腐殖质组成及土壤基本性质的相关分析结果一致表明,地带性土壤中 $G_1$ 、 $G_2$ 组复合体含量也呈现有规律的地带性分布。 $G_1/G_2$ 比值与纬度呈极显著正相关,而与年均温和年降雨量呈极显著负相关, $G_1$ 含量与钙镁全量、钙饱和度、pH、CEC呈显著正相关,而 $G_2$ 含量则与铁铝全量、游离态及络合态铁铝呈显著正相关,与钙饱和度、pH等呈显著负相关。 $G_1/G_2$ 之比还与HA/FA之比呈极显著正相关。可见,胶散复合体的组成和成土条件与土壤性质有关。各组复合体组成及 $G_1/G_2$ 比值可以作为土壤分类的参考。

关键词 胶散复合体,  $G_1/G_2$ , 形成因素, 胶结物质, 地带性土壤

土壤有机矿质复合体的生成是土壤发生与肥力形成的重要过程之一。尽管在土壤科学中对有机矿质复合胶体的研究一直给予很大的重视<sup>[10,13,16,17,20,21]</sup>,但由于土壤中有有机、无机组成的多样性以及转化途径的复杂性,迄今还无法直接揭示其形成与土壤发生过程的关系。我们将连续报道各种复合体类型的生成条件及其与土壤发生和肥力有关的系列研究结果。

以A. Ф. 丘林的胶散法为基础的土壤有机矿质复合体分组长期来被认为是复合体的基本类型<sup>[5,6,8,9,12,18]</sup>,并被用作区分土壤发生类型和肥力特征的依据之一<sup>[3-6,8,9,18]</sup>。据A. Ф. 丘林早期的研究认为,以钠中性盐分散的 $G_1$ 组胶体是由钙键结合的复合体,而经过研磨分散的 $G_2$ 组胶体则是由铁、铝键结合的复合体,此外,还有可直接分散于水中的 $G_0$ 组复合体<sup>[5]</sup>,并认为在不同土壤中的各组复合体的分布是有差异的,且有随成土条件变化的趋势<sup>[3-5,18]</sup>。各组复合体的组成、性质及其对肥力的贡献也是不同的<sup>[5,6,8,9]</sup>。但是有些研究者对此持有异议,认为 $G_1$ 和 $G_2$ 并非单纯是胡敏酸钙和胡敏酸铁铝的复合体<sup>[10,12]</sup>,因此有必要对分组胶散法所取得的复合体类型的形成条件及其结合状态进行系统的剖析研究,以进一步了解其实质,为进一步发展复合体的应用提供依据。

\* 国家自然科学基金和中国科学院土壤圈物质循环开放研究实验室基金资助项目。

本研究采用我国自北而南分布的地带性土壤,系统地研究在连续变化的水热条件下,复合体类型演变,以探索胶散复合体的形成过程。

## 一、材料与方 法

### (一) 供试土壤

采用我国东部水热成土因子为主的地带性土壤,包括 9 大土类的 13 个土样,其基本性状分别于表 1 和表 2。

### (二) 测试方法

1. 复合体分组:水分散组( $G_0$ 组)按陈家坊<sup>[5]</sup>(1962)方法分离;酸性、中性土壤的 $G_1$ 和 $G_2$ 组按丘林原法;石灰性土壤 $G_3$ 组(包括 $G_{3-2}$ 组)按傅积平<sup>[12]</sup>(1963)方法分离,再用研磨法分离 $G_2$ 组。经分离所得的各组悬浊液,直接用巴氏滤管抽干,不加任何聚沉剂,湿样经 40℃干燥后称重,并计算各组复合体的含量。

2. 腐殖质组成:用 0.1mol/L NaOH 和 0.1mol/L  $Na_4P_2O_7$  混合液提取,按丘林法测定其胡敏酸(HA)和富里酸(FA)组成。

3. 铁铝钙形态分析:铁铝钙全量用碳酸钠熔融;游离态铁铝氧化物采用 DCB 法;无定形铁铝氧化物用 Tamm 试剂法;络合态铁铝钙用 pH 9.8 0.1mol/L  $Na_4P_2O_7$  法。各种提取液中铁铝钙含量均系直流等离子光谱仪测定。交换性钙用 1 mol/L 中性醋酸铵法,碳酸钙用扩散吸收法。

4. 土壤 pH、有机质、CEC、粘粒含量等基本性质均按常规分析方法测定。

表 1 供试土壤基本状况

Table 1 Description of the soil samples

土样号 Sample No.	土壤类型 Soil type	采样地点 Locality	采样深度 (cm) Depth	母 质 Parent material	植被及利用状况 Vegetation and utilization	纬度 Latitude	年平均温℃ Annual temperature	年降雨量 (mm) Annual rainfall
1	石灰性黑钙土	黑龙江依安	0—20	黄 土	草 地	47.9	~2	500
2	黑钙土	黑龙江依安	0—20	黄 土	耕 地	47.9	~2	500
3	黑 土	黑龙江依安	0—15	黄 土	荒 地	47.9	~2	500
4	褐 土	北京马莲洼	0—30	冲积物	菜 地	39.9	11.8	683
5	塿 土	陕西武功	0—20	黄 土	荒 地	34.2	12.9	667
6	棕 壤	山东泰安	0—20	变质岩	山 地	36.2	~11.7	700
7	黄棕壤	江苏南京	0—15	下蜀黄土	果园地	32.0	~15	1026.1
8	红 壤	浙江杭州	0—15	第四纪红土	山 地	30.2	16.3	~1400
9	红 壤	江西鹰潭	0—20	第四纪红土	耕 地	28.2	18	1800
10	红 壤	江西鹰潭	0—25	第四纪红土	荒 地	28.2	18	1800
11	赤红壤	广东广州	0—30	花岗岩	山 地	23.1	21.6	2165.8
12	砖红壤	广东徐闻	0—25	玄武岩	荒 地	20.3	23.3	1389
13	砖红壤	海南琼山	0—20	海积物	荒 地	19.9	23.8	1724.5

## 二、结果与讨论

### (一) 各组复合体的分布

根据胶散法分组,可将土壤有机矿质复合体依次分为水分散组( $G_0$ )、钠分散组( $G_1$ )

表 2 供试土壤的基本性质  
Table 2 Some basic properties of the soils tested

土样号 Sample No.	pH	有机质 O. M. (g/kg)	CaCO <sub>3</sub> (g/kg)	交换性钙 Exch.-Ca cmol(+)/kg	CEC cmol (+)/kg	钙饱和度 (%) Degree of Ca saturation	全量 Total (g/kg)			腐殖质组成(占总碳%) Humus composition (% in total C)				粘粒 含量(%) ( $<0.001\mu\text{m}$ ) Clay content
							CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	HA	FA	HA + FA	HA/FA	
1	8.14	43.3	25.4	(107.52) <sup>1)</sup>	33.73	100	25.2	51.0	150.3	18.75	23.27	42.02	0.81	25.04
2	6.98	34.3	5.8	31.24	37.15	84.09	10.1	56.7	154.2	20.90	22.51	43.41	0.93	39.76
3	6.62	48.0	5.2	28.88	35.35	81.70	8.9	53.3	158.7	23.88	23.81	47.69	1.00	36.24
4	8.24	30.0	14.4	(54.66)	14.04	100	18.6	41.3	133.1	13.22	12.58	25.80	1.05	12.40
5	8.30	11.3	27.3	(101.48)	13.64	100	35.5	50.3	146.2	28.18	13.79	41.97	2.04	18.80
6	7.20	30.4	1.9	11.87	10.83	100	17.2	47.0	167.2	11.38	24.39	35.77	0.47	7.76
7	6.55	16.7	1.1	16.79	20.05	83.74	5.8	55.5	157.1	10.51	24.54	35.05	0.43	31.12
8	5.51	8.5	—	6.06	12.42	48.79	1.0	52.1	142.4	6.74	24.98	31.75	0.27	33.04
9	5.16	27.2	—	3.52	9.80	35.92	0.9	41.5	122.2	9.43	23.11	32.54	0.41	31.76
10	4.63	9.3	—	0.13	10.76	1.21	1.1	56.8	150.2	6.48	30.00	36.48	0.22	41.92
11	4.01	37.6	—	0.08	13.21	0.06	0.1	164.1	291.8	19.45	33.11	52.56	0.59	31.12
12	5.68	28.7	—	7.48	14.75	50.71	1.5	174.2	312.7	14.58	28.31	42.89	0.52	48.32
13	4.82	36.9	—	0.67	8.48	7.90	0.2	96.2	218.3	15.18	28.83	44.01	0.53	30.96

1) 石灰性土壤没有去钙时直接用 1 mol/L 中性醋酸提取的钙。

及钠质研磨分散组 ( $G_2$ ), 它们在土壤和总复合体中的含量如表 3 所示。从表中可知, 有机矿质复合体含量在不同土壤有很大差异, 6 号棕壤最低, 仅 17.0%, 12 号砖红壤最高, 可达 83.0%。将复合体含量与粘粒含量作相关分析, 两者呈极显著正相关 ( $r = 0.803^{**}$ ,  $n = 11$ ), 这说明土壤复合体含量与土壤发育程度密切相关。

水分散  $G_0$  组复合体, 是游离的矿质颗粒和小于  $10\mu\text{m}$  的微团聚体的混和物, 除 7 号黄棕壤以外,  $G_0$  组都不是复合体的主要组成, 其含量只占 2.9—21.7%。一般认为,  $G_0$  组的消长受水旱条件和氧化还原状况影响极大<sup>[3-5]</sup>, 从我们的分析数据来看, 10—13 号土样的  $G_0$  组含量 (占总复合体%) 最低, 这可能与其 pH 值较低及铁铝氧化物含量较高有关 (表 2, 表 3)。

表 3 土壤中有有机矿质复合体的组成

Table 3 Composition of organo-mineral complex in the soils

土样号 Sample No.	各组含量(%) Content of each group in soil				各组含量占复合体% % of content of each group in total complex			$G_1/G_2$
	$G_0$	$G_1$	$G_2$	$G_0 + G_1 + G_2$	$G_0$	$G_1$	$G_2$	
	1	5.32	43.89	5.45	54.66	9.73	80.30	
2	7.92	51.86	4.20	63.98	12.38	81.06	6.56	12.35
3	8.38	43.60	11.05	63.03	13.30	69.17	17.63	3.95
4	2.16	17.00	4.17	23.33	9.26	72.87	17.87	4.08
5	9.73	31.89	3.26	44.88	21.68	71.06	7.26	9.78
6	2.70	8.48	5.84	16.97	15.91	49.68	34.41	1.44
7	19.86	22.09	7.96	49.91	39.79	44.26	15.95	2.77
8	6.10	19.01	29.71	54.82	11.13	34.68	54.19	0.64
9	6.17	20.85	12.27	39.39	15.70	53.07	31.23	1.70
10	1.24	17.00	25.04	43.28	2.87	39.28	57.85	0.68
11	2.75	7.78	30.52	41.05	6.70	18.96	74.35	0.25
12	3.08	37.34	42.56	32.98	3.71	45.00	51.29	0.88
13	1.63	7.72	24.93	34.28	4.74	22.52	72.73	0.31

从表 3 还可知道, 1—7 号中性和石灰性土壤都是  $G_1$  组含量高于  $G_2$  组, 而除 9 号以外的酸性红壤都是  $G_2$  组高于  $G_1$  组, 一些散见的报道<sup>[1,3,7]</sup> 也与该结论相符, 但从另一些资料<sup>[2,6]</sup> 来看, 经过人为耕作过的土壤或同一土壤不同层次的复合体组成会发生变化, 9 号红壤可能属于这种情况。

纵观表 3 结果, 一般  $G_1$  组复合体是石灰性土壤 > 中性土壤 > 酸性土壤,  $G_2$  组复合体则相反。  $G_1/G_2$  比也有明显的差异, 其平均值依次为 7.3, 5.1 和 0.7, 这反映了 pH 值对复合胶体组成有较大的影响。

## (二) 各组复合体形成因素分析

从表 3 结果总体上来看, 各组复合体的分布有一定的趋势,  $G_1$  组复合体含量自北而南有渐减趋势,  $G_2$  组含量自北而南则有渐增趋势,  $G_1/G_2$  比值变化范围为 0.25—12.35, 自北而南有渐减趋势。根据各组复合体含量与主要成土因素的相关分析结果 (表 4) 可知,  $G_1$  组含量与年均温和年降雨量呈显著或极显著负相关, 与纬度呈正相关, 而  $G_2$  组相反, 与年均温和年降雨量都呈极显著正相关, 与纬度呈极显著负相关,  $G_0$  组含量与成土

因素都没有显著的关系。这说明这些土壤中  $G_1$  和  $G_2$  组复合体数量也随水热条件变化而呈有规律的分布。温度较高, 降雨量较大有利于  $G_2$  组的形成, 而低温干旱则有利于  $G_1$  组的形成。

表 4 有机矿质复合体(占全土%)与气候因素之间的相关系数

Table 4 Correlation coefficients between organo-mineral complexes (% in soil) and climatic factors

复合体 Complex	纬度 Latitude	年平均温 Annual temperature	年降雨量 Annual rainfall
$G_0$	0.258	-0.280	0.336
$G_1$	0.652*	-0.700**	-0.630*
$G_2$	-0.760**	0.728**	0.732**
$G_1/G_2$	0.726**	-0.742**	-0.728**
$G_0 + G_1 + G_2$	0.067	-0.137	-0.090

注:  $n = 11$ ,  $r(0.05) = 0.553^*$ ,  $r(0.01) = 0.684^{**}$ 。

然而, 水热条件变化主要影响土壤物质的淋溶与淀积, 对土壤腐殖质性状也有重大影响<sup>[11]</sup>, 从而表现出不同的土壤属性。将各组复合体含量与矿质全量, 腐殖质组成及土壤一些基本性质作相关分析, 所得结果分别列于表 5, 表 6 和表 7。

表 5 有机矿质复合体与矿质全量之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between organo-mineral complexes and mineral elements

矿质元素 Mineral element	$G_0$	$G_1$	$G_2$	$G_1/G_2$
Si	0.333	0.222	-0.320	0.109
Al	-0.386	-0.539	0.610*	-0.384
Fe	-0.406	-0.546	0.624*	-0.380
Ca	0.266	0.714**	-0.711**	0.695**
Mg	0.466	0.753**	-0.824**	0.645*

注:  $n = 11$ ,  $r(0.05) = 0.553^*$ ,  $r(0.01) = 0.684^{**}$ 。

表 6 有机矿质复合体与腐殖质组成之间的相关系数

Table 6 Correlation coefficients between organo-mineral complexes and humus composition

复合体 Complex	腐殖质 Humus	胡敏酸 HA	富里酸 FA	HA/FA
$G_0$	-0.224	0.049	-0.305	0.175
$G_1$	-0.159	0.464	-0.827**	0.648*
$G_2$	0.223	-0.414	0.823**	-0.619*
$G_1/G_2$	0.132	0.656*	-0.669*	0.744**

注:  $n = 11$ ,  $r(0.05) = 0.553^*$ ,  $r(0.01) = 0.684^{**}$ 。

表 7 有机矿质复合体与土壤基本性质之间的相关系数

Table 7 Correlation coefficients between organo-mineral complexes and some basic properties of the soils

基本性质 Basic property	$G_0$	$G_1$	$G_2$	$G_1/G_2$
pH	0.360	0.849**	-0.863**	0.708**
CEC	0.127	0.683*	-0.630*	0.684**
交换性钙	0.179	0.749**	-0.707**	0.744**
钙饱和度	0.492	0.810**	-0.882**	0.640*
碳酸钙	0.127	0.707**	-0.651*	0.714**
粘 粒	-0.269	-0.236	0.307	-0.125

注:  $n = 11$ ,  $r(0.05) = 0.553^*$ ,  $r(0.01) = 0.684^{**}$ .

从表 5 可知,  $G_1$  组与钙镁含量呈极显著正相关, 与铁铝含量则没有显著关系,  $G_2$  组与铁铝含量都呈显著正相关, 与钙镁含量都呈极显著负相关。因此石灰性土壤、黑钙土等钙含量较高的土壤中  $G_1$  组是主要的复合体组成, 而铁铝含量高的土壤则以  $G_2$  组复合体为主, 处于它们之间的土壤都含有相当数量的  $G_1$  和  $G_2$  组复合体。

从表 6 可知,  $G_2$  组与富里酸 (FA) 之间存在极显著正相关, 这也符合土壤实际情况, 通常南方红壤腐殖质活性较大, FA 占的比例较高,  $G_2$  组也较多, 而北方土壤活性较小的胡敏酸 (HA) 所占的比例较高,  $G_1$  组为主要的复合体组成, 尽管  $G_1$  与 HA 之间没有直接显著的关系, 但  $G_1$  与 HA/FA 比值以及  $G_1/G_2$  比值与 HA 都呈显著正相关, 这也表明, 随着腐殖质中 HA 比例增加,  $G_1$  组复合体有增加的趋势, 反之, 随着 FA 比例的增加,  $G_2$  组则呈增加趋势。

表 7 结果表明,  $G_1$  组与 pH、CEC、交换性钙、钙饱和度、碳酸钙等都有显著和极显著正相关,  $G_2$  组则与它们都呈显著和极显著负相关,  $G_1/G_2$  比值与这些性质也都呈显著和极显著正相关, 这与上述结果是完全一致的。

### (三) 各组复合体与胶结物质的关系

$Ca^{2+}$ 、碳酸钙、铁铝氧化物等胶结物质在有机矿质复合体形成过程中起着重要作用<sup>[14-16, 19, 20]</sup>。从复合体分组过程可知,  $G_1$  组是继  $G_0$  组提取后, 用 1mol/L 中性氯化钠淋洗土壤至无钙离子后提取的小于  $10\mu m$  的微团聚体, 即  $G_1$  组与以  $Ca^{2+}$  为主的盐基离子有关, 分析淋洗液中  $Ca^{2+}$  的含量发现, 随着淋洗液中  $Ca^{2+}$  浓度的增加,  $G_1$  组含量也有增加趋势(图 1), 由此可见, 交换性钙含量高低在一定程度上决定了  $G_1$  组复合体的形成和数量, 在石灰性土壤中则还包括活性碳酸钙的作用。

$G_2$  组是继  $G_1$  组提取后经钠质研磨分散的小于  $10\mu m$  的复合体, 通过钠质研磨能分散由铁铝氧化物胶结起来的复合体。表 8 统计结果表明,  $G_2$  组与游离态铁铝氧化物, 络合态铁铝都呈极显著正相关, 而  $G_1$  组则与它们都呈极显著负相关, 但  $G_1$  和  $G_2$  与无定形铁铝氧化物都没有显著关系。图 2 的结果进一步说明, 随着土壤游离态铁铝总量的增加,  $G_2$  组也呈直线增加, 而  $G_1$  组则呈直线降低, 只有 12 号砖红壤属例外。从而可知, 游离态铁铝氧化物在  $G_2$  组复合体的形成过程中起着重要作用, 这与各组复合体形成因素分析的结果是一致的。

再从表 3 的结果来看, 12 号砖红壤较特殊, 有过高的  $G_1$  组复合体, 这主要是由于玄武岩发育的土壤中交换性钙和全钙含量较高(表 2)。9 号、10 号土壤是从同一地点、同一母质上采集的熟化程度不同的两种红壤, 相比较, 9 号土比 10 号土有更多的  $G_1$  组复合体和更少的  $G_2$  组复合体, 这与 9 号土壤在耕作熟化过程中因施肥等措施带入的盐基离子有关。兰士珍等(1962)研究结果表明, 淋溶黑土和棕色森林土的下层都是  $G_1$  组的含量大于  $G_2$  组, 其上层则是  $G_2$  组较  $G_1$  组多<sup>[2]</sup>。根据我们的结果, 这与剖面发育过程中盐基离子的淋溶及铁铝氧化物的相对积累有直接关系。红壤中施石灰,  $G_1$  组复合体有增加的趋势<sup>[13]</sup>, 这与钙的积累有关。

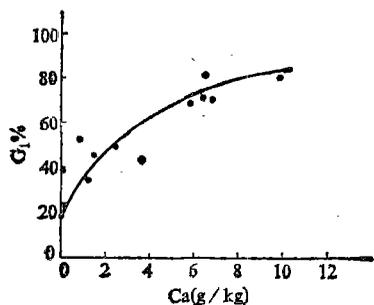


图 1  $G_1$  组复合体与氯化钠交换性钙之间的关系

Fig. 1 Amount of  $G_1$  organo-mineral complex in relation to NaCl-extractable  $Ca_2$  in soils

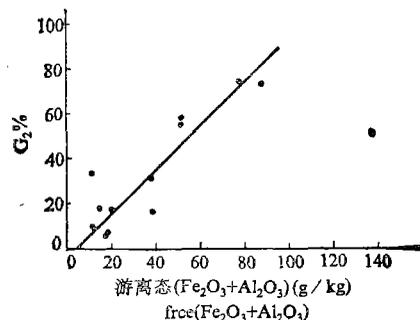
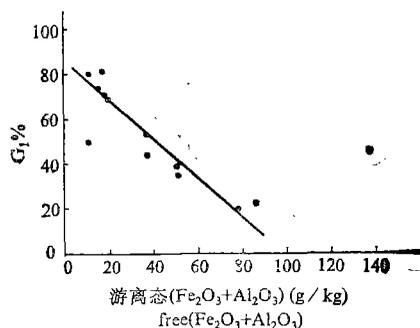


图 2  $G_1$  和  $G_2$  组复合体与游离态铁铝氧化物总量的关系

Fig. 2 Amounts of  $G_1$  and  $G_2$  organo-mineral complexes in relation to total free Fe and Al oxides

表 8 有机矿质复合体与各种铁铝氧化物之间的相关系数

Table 8 Correlation coefficients between organo-mineral complexes and various Fe and Al oxides

铁或铝氧化物 Fe or Al oxide	$G_0$	$G_1$	$G_2$	$G_1/G_2$
游离态 Fe	-0.411	-0.689**	0.717**	-0.625*
游离态 Al	-0.352	-0.800**	0.789**	-0.674*
无定形态 Fe	0.059	-0.275	0.201	-0.270
无定形态 Al	-0.397	-0.481	0.545	-0.360
给合态 Fe	-0.328	-0.734**	0.723**	-0.525
给合态 Al	-0.339	-0.692**	0.695**	-0.476

注:  $n = 11$ ,  $r(0.05) = 0.553^*$ ,  $r(0.01) = 0.684^{**}$ 。

#### (四) 讨论

根据上面的分析可以知道,在以气候成土因素为主的地带性土壤中  $G_1$ 、 $G_2$  组复合体的含量也呈现有规律的地带性分布,  $G_1$ 、 $G_2$  组含量分别与土壤交换性钙及游离态铁铝氧化物含量直接有关。由于发生物质的淋溶和淀积,也直接影响同一土壤不同层次复合体的类型和组成。根据这些相互间的关系可以认为,土壤中有机矿质复合体的形成和转化过程是和土壤的发生过程密切联系的。在地带性土壤中,以气候为主导的成土因素对土壤中物质的转化和移动,对复合体的组成都有重大影响。在土壤发生过程中,所产生的腐殖质与矿物质相互以各种方式密切结合形成复合体,游离态腐殖质很少单独存在,而不同土壤由于构成复合体的物质(包括粘土矿物,无机胶结物质,腐殖质等)组成和含量不同,因而形成了不同类型和组成的有机矿质复合体。因此,复合体的组成可以直接为土壤发生分类提供理论依据,但是影响复合体含量及其比值的因素还很多,如土壤母质、生物因素等,因此要作为土壤发生分类的指标,则尚需作进一步的探讨。

#### 参 考 文 献

1. 丁端兴, 1980: 黑土和黑钙土的有机-无机复合体与结构性的关系。土壤通报, 第 6 期, 11—16 页。
2. 兰士珍、刘文通、程晋福, 1962: 黑龙江省北安赵光地区的土壤。土壤通报, 第 3 期, 6—14 页。
3. 杨彭年, 1984: 石灰性土壤有机矿质复合体及其团聚性研究。土壤学报, 第 21 卷 2 期, 144—152 页。
4. 何群、陈家坊, 1964: 第四纪红土发育的水稻土微团聚体特征的初步研究。土壤学报, 第 12 卷 1 期, 55—62 页。
5. 陈家坊、杨国治, 1962: 江苏南部几种水稻土的有机矿质复合体性质的初步研究。土壤学报, 第 10 卷 2 期, 183—192 页。
6. 陈恩凤、周礼恺、邱凤琼、严昶升、高子勤, 1984: 土壤肥力实质的研究 I 黑土。土壤学报, 第 21 卷 3 期, 229—237 页。
7. 胡荣梅、刘世金, 1964: 黄棕壤各组成团聚体的腐殖质组成及其特征。土壤学报, 第 12 卷 3 期, 358—362 页。
8. 侯惠珍、袁可能, 1986: 土壤有机矿质复合体的研究 III. 有机矿质复合体中氨基酸组成和氮的分布。土壤学报, 第 23 卷 3 期, 228—235 页。
9. 侯惠珍、袁可能, 1990: 土壤有机矿质复合体的研究 IV. 有机矿质复合体中有机磷的分布。土壤学报, 第 27 卷 3 期, 286—292 页。
10. 袁可能, 1989: 土壤中粘土有机复合体的研究现状与展望。56—63 页, 土壤圈物质循环研究导向会论文集。
11. 彭福泉、高坤林、车玉萍, 1985: 我国几种土壤中腐殖质性质的研究。土壤学报, 第 22 卷 1 期, 64—73 页。
12. 傅积平、张敬森, 1963: 石灰性土壤微团聚体的分组分离及其特性的初步研究。土壤学报, 第 11 卷 4 期, 382—394 页。
13. 蒋剑敏、熊毅, 1983: 土壤有机无机复合体。土壤胶体(第一册)土壤胶体的物质基础(熊毅等主编) 326—440 页, 科学出版社。
14. Boudot, J. P., Bel Hadj Brahim, A., Steiman, R., and Seigle-Murandi, F., 1989: Biodegradation of synthetic organo-metallic complexes of iron and aluminum with selected metal to carbon ratios. *Soil Biol Biochem.*, 21(7): 961—966.
15. Duchaufour, P., 1976: Dynamics of organic matter in soils of temperate regions: its action on pedogenesis. *Geoderma*, 15: 31—40.
16. Greenland, D. J., 1965: Interaction between clays and organic compounds in soils. Part I. Mechanisms of interaction between clays and defined organic compounds. *Soil & Ferts.*, 28: 415—425.
17. Greenland, D. J., 1965: Interaction between clays and organic compounds in soils. Part II. Adsorption of soil organic compounds and its effect on soil properties. *Soil & Ferts.*, 28: 521—532.
18. Hashimoto, H., Harada, T., Hata, M., and Yumoto, T., 1959: Studies on the organo-mineral colloidal complexes of paddy soil III. G1 colloidal complexes of the paddy soil as affected by drainage. *Soil and Plant Food*, 5(1): 28—35.
19. Hayes, M. H. B., 1986: Soil organic matter extraction, fractionation, structure and effects on soil structure, in "The role of organic matter in modern agriculture" (Chen, Y. and Avnimelech, Y. ed.). Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, pp. 183—208.
20. Huang, P. M. and Schnitzer, M., 1986: Interactions of soil minerals with natural organics and microbes.

Soil Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisconsin, USA.

21. Mortland, M. M., 1970: Clay-organic complexes and interactions. *Adv. Agron.* 22: 75—117.

## STUDIES ON ORGANO-MINERAL COMPLEXES IN SOIL V. DISTRIBUTION OF ORGANO-MINERAL COMPLEXES IN ZONAL SOILS OF CHINA

Xu Jianmin and Yuan Keneng

(Zhejiang Agricultural University, 310029)

### Summary

Thirteen samples of typical zonal soil were collected from whole China to study the distribution of the organomineral complexes separated by the fractional peptization method. The total amount of organo-mineral complexes ( $G_0 + G_1 + G_2$ ) was significantly correlated with the content of clay particles in soil. The content of  $G_1$  fraction decreased but that of  $G_2$  fraction increased from north to south. The ratio of  $G_1$  to  $G_2$ , ranging from 0.25 to 12.35, gradually decreased from north to south. The correlation coefficients between organo-mineral complexes and soil-forming factors, mineral elements, humus composition and basic properties of different soils were calculated.  $G_1/G_2$  ratio was positively related to latitude, but negatively to the mean annual temperature and rainfall, the content of  $G_1$  fraction was positively correlated with total Mg and Ca, degree of Ca saturation, pH and CEC, and  $G_2$  fraction was positively related with total Fe and Al, free and complex Fe and Al, but negatively with degree of Ca saturation, pH, and CEC. In addition,  $G_1/G_2$  ratio was positively related to HA/FA ratio. It was thus revealed that the distribution of organo-mineral complexes ( $G_1$  and  $G_2$ ) was related to the forming conditions and properties of zonal soils. Therefore, the content of organo-mineral complexes and  $G_1/G_2$  ratio could be used as a reference for soil classification.

**Key words** Organo-mineral complexes,  $G_1/G_2$  Soil-forming factor, Binding material, Zonal soils