

土壤有机矿质复合体研究

VI. 胶散复合体的化学组成及其结合特征*

徐建民 袁可能

(浙江农业大学土化系, 310029)

摘 要

本文研究水热条件渐变的地带性土壤中 G_1 、 G_2 组胶散复合体有机、无机物的化学组成及其结合特点。结果表明： G_2 组中铁有积累现象，游离态铁、铝氧化物含量为 $G_2 > G_1$ ，但均随土壤类型变化。松结态腐殖质 (H_1) 为 $G_1 > G_2$ ，紧结态腐殖质 (H_2) 则为 $G_1 < G_2$ 。可提取腐殖质中，松、稳结态腐殖质之比值 H_1/H_2 和胡敏酸、富里酸之比值 HA/FA ，除个别土壤之外，都相差不大。 G_1 、 G_2 两组复合体中都含有一定数量的络合态铁、铝和钙。初步认为 G_2 中腐殖质总量及胡敏素量均高于 G_1 ，但不能区分为钙键复合体和铁铝键复合体。

关键词 G_1 、 G_2 ，矿物质，腐殖质

在第V报^[1]中，作者曾较系统地研究了我国自北而南分布的地带性土壤中，胶散复合体类型的演变及其形成特点。结果表明，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 组含量与钙镁全量、钙饱和度、pH、CEC 等呈正相关、而 G_2 组含量与铁铝全量、游离态铁铝氧化物，络合态铁铝呈正相关，与钙饱和度、pH 等呈负相关^[2]，这表明胶散复合体 G_1 和 G_2 的生成与土壤形成条件和性质有关。但是有关 G_1 、 G_2 组复合体中腐殖质组成和矿物质组成的研究报道甚少。以往有关的研究工作主要是方法上的进一步完善^[3,10]，肥土、瘦土复合体的组成及养分特点^[4,7]，水田、旱地复合体的动态变化及肥力特征等^[1,3]，因此对分组胶散法所取得的复合体类型进行充分的鉴定和验证是很有必要的。本文在第V报的基础上，再就从这些土壤分离得到的 G_1 、 G_2 组复合体进行有机、无机组成的剖析研究，并对它们相互间的作用及形成机理加以探讨。

一、材料与方 法

供试材料为本研究第V报^[1]中提取的5个土壤样品(3号黑土,6号棕壤,7号黄棕壤,10号红壤及13号砖红壤)的 G_1 、 G_2 组复合体。结合态腐殖质分组采用熊毅-傅积平的改进法^[11]，其余分析方法均同第V报^[1]。

* 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。

二、结 果

(一) 复合体中矿物质的化学组成

土壤及其 G_1 、 G_2 组复合体全量分析的结果列于表 1。以表 1 可知, 主要矿质元素铁、铝、镁在两组复合体中都有不同程度的富集, 而全钙则除黑土外, 复合体中的含量均低于或接近于全土, 这可能与复合体分离前中性氯化钠的脱钙处理有直接关系, 硅在土壤中的含量都高于复合体, 显然是土壤中除各组复合体外还存在大于 $10\mu\text{m}$ 的石英砂粒有关。

在复合体中, 硅、铝含量都是 $G_1 > G_2$, 而硅铝率则非常接近, 这表明 G_1 和 G_2 之间铝硅酸盐矿物主要是数量上有所差别, 而其组成差异不明显。铁含量则除砖红壤外, 大多是 $G_2 > G_1$, 硅铁率则 $G_2 < G_1$, 这表明铁的氧化物在 G_2 中有所富集。钙、镁含量在两组复合体中差异不大, 而且也没有一定的趋势(表 1), 这表明 G_1 和 G_2 中钙镁含量没有明显区别, 即使在钙富集的黑土复合体中也是如此。由此可见, G_1 和 G_2 组的矿物成分除 Fe_2O_3 在 G_2 中略有增加外基本上是相同。以往认为, 红壤性水稻土铁铝都向 G_2 组富集^[2], 在本研究的几个地带性土壤中没有同样规律。

表 1 土壤及复合体矿质元素的化学组成

Table 1 Chemical composition of mineral elements in soils and organo-mineral complexes

土样号 Sample No.	土壤名称 Soil name	组 别 Fraction	SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ CaO MgO (g/kg)					$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$
			3	黑 土	原土	588.6	158.7		
		G_1	509.8	186.2	90.9	15.2	26.0	4.6	15.0
		G_2	463.2	170.5	94.9	14.4	22.1	4.6	13.0
6	棕 壤	原土	629.6	167.2	47.0	17.2	13.8	6.4	35.7
		G_1	480.2	206.9	77.5	8.0	31.2	3.9	16.5
		G_2	429.8	196.5	80.5	9.5	30.8	3.7	14.2
7	黄棕壤	原土	655.8	157.1	55.5	5.8	9.8	7.1	31.5
		G_1	525.7	213.3	93.5	1.9	20.6	4.2	15.0
		G_2	466.7	183.3	95.6	4.9	21.5	4.3	13.0
10	红 壤	原土	690.4	150.2	56.8	1.1	6.1	7.8	32.4
		G_1	499.2	247.6	98.7	0.8	15.7	3.4	13.5
		G_2	480.5	249.7	113.7	0.9	16.4	3.3	11.3
13	砖红壤	原土	609.5	218.3	96.2	0.2	1.6	4.7	16.9
		G_1	339.6	286.5	154.5	1.2	2.4	2.0	5.9
		G_2	332.0	273.9	149.9	0.9	2.1	2.1	5.9

(二) 复合体中游离态铁铝氧化物形态及组成

铁铝氧化物对土壤各方面性质都有深刻的影响, 对复合体中氧化物矿物的区分可以增进了解 G_1 、 G_2 组的性质及其结合特征的差别。从表 2 的分析结果可知, 复合体中各

表2 土壤和复合体游离态铁、铝氧化物形态和组成
Table 2 Contents and composition of free Fe and Al oxides
in soils and organo-mineral complexes

土壤 Soil name	组别 Fraction	游离态铁氧化物 $Fe_2O_3(g/kg)$				游离态铝氧化物 $Al_2O_3(g/kg)$			
		游离态 Fe_d	无定形态 Fe_o	结晶态 Fe_{d-o}	Fe_o/Fe_d (%)	游离态 Al_d	无定形态 Al_o	结晶态 Al_{d-o}	Al_o/Al_d (%)
黑土	原土	15.6	1.0	14.6	6.41	4.5	1.4	3.1	31.11
	G_1	27.7	4.4	23.3	15.88	15.1	6.5	8.6	43.05
	G_2	42.9	8.2	34.7	19.11	15.4	5.9	9.5	38.31
	$G_2 - G_1$	15.2	3.8	11.4	3.23	0.3	-0.6	0.9	-4.74
棕壤	原土	9.2	1.2	8.0	13.04	2.5	0.8	1.7	32.00
	G_1	26.1	3.8	22.3	14.56	7.6	3.0	4.6	39.47
	G_2	30.9	5.4	25.5	17.48	8.0	3.7	4.3	46.25
	$G_2 - G_1$	4.8	1.6	3.2	2.92	0.4	0.7	-0.3	6.78
黄棕壤	原土	30.4	0.4	30.0	1.31	7.5	1.0	6.5	13.33
	G_1	39.5	0.2	39.3	0.51	8.6	2.8	5.8	32.56
	G_2	43.8	0.3	43.5	0.68	8.7	2.1	6.6	24.14
	$G_2 - G_1$	4.3	0.1	4.2	0.17	0.1	-0.7	0.8	-8.42
红壤	原土	44.6	0.4	44.2	0.90	6.7	1.9	4.9	28.35
	G_1	81.0	1.4	79.6	1.73	25.4	3.7	21.7	14.57
	G_2	90.8	1.3	89.5	1.43	30.0	3.2	26.8	10.67
	$G_2 - G_1$	9.8	-0.1	9.9	-0.30	4.6	-0.5	5.1	-3.89
砖红壤	原土	70.8	0.6	70.2	0.85	16.1	1.5	14.6	6.21
	G_1	143.3	1.1	142.2	0.77	24.6	2.1	22.5	8.54
	G_2	144.5	1.6	142.9	1.11	27.8	2.9	24.9	10.43
	$G_2 - G_1$	1.2	0.5	0.7	0.34	3.2	0.8	2.4	1.89

形态铁铝氧化物均高于相应的土壤,这与复合体中铁铝全量的富集是一致的。复合体中游离态、结晶态铁氧化物随土壤中全量的增加而增加,但铝氧化物则不存在这样的趋势。

在 G_1 、 G_2 两组复合体中比较,铁氧化物含量大多是 $G_2 > G_1$,其差异($G_2 - G_1$)有从北往南逐渐减小的趋势。但两组复合体中铝氧化物的含量则相差很少,而且 $G_2 - G_1$ 的差异有南方土壤略高于北方土壤的趋势。这表明复合体 G_1 和 G_2 中游离氧化物含量的差异,随地带性土壤的成土条件和性质的不同而有所变化,在北方钙饱和度较高的土壤中, G_1 和 G_2 中的游离态铁氧化物的含量差异比较明显,而游离态铝氧化物的含量则几乎没有差异,但南方酸性土壤,尤其是砖红壤,游离态铝氧化物在两组复合体中的差异比较明显,而游离态铁的差别则很小。

从表2还可以看出,复合体中游离氧化物的晶化程度大多低于原土,而铁的晶化程度又远高于铝氧化物,这表明无定形氧化物在复合体形成中有一定作用,通常认为是由于它有较大的比表面,故对腐殖质的亲和力大于结晶态氧化物^[12]。同时也说明无定形铝氧化物的作用又较铁氧化物更重要。但在复合体分组中,无定形铁所占比例在 G_2 中略高于 G_1 ,而无定形铝的比例似无明显规律,这表明在 G_1 和 G_2 组形成过程中无定形氧化物的

表 3 复合体中结合态腐殖质组成

Table 3 Composition of combined humus in organo-mineral complexes

土壤 Soil name	复合体 Complex	总碳 (g/kg soil) Total C	H ₁	H ₂	H ₃	H ₁ /H ₂	H ₁ /(H ₁ + H ₂) %	H ₁ /H ₃	(H ₁ + H ₂)/ H ₃
			%						
黑 土	G ₁	24.6	70.80	6.60	22.59	10.73	91.5	3.13	3.43
	G ₂	57.3	51.73	4.95	43.31	10.45	91.3	1.19	1.30
棕 壤	G ₁	31.6	47.56	14.40	38.04	3.30	76.8	1.25	1.62
	G ₂	59.1	34.50	15.68	49.82	2.20	68.8	0.69	1.01
黄棕壤	G ₁	10.7	43.27	7.10	49.63	6.09	85.9	0.87	1.01
	G ₂	53.8	29.24	18.36	52.40	1.59	61.4	0.56	0.90
红 壤	G ₁	6.8	58.77	5.70	35.53	10.31	91.2	1.65	1.81
	G ₂	7.2	51.05	5.01	44.01	10.17	91.1	1.16	1.27
砖红壤	G ₁	26.2	44.39	12.06	43.55	3.68	78.6	1.02	1.29
	G ₂	31.2	44.39	9.74	45.87	4.56	82.0	0.97	1.18

表 4 复合体松结态腐殖质中胡敏酸和富里酸的组成

Table 4 Composition of loosely combined humus in organo-mineral complexes

土样号 Sample No.	复合体 Complex type	HA	FA	HA + FA (H ₁)	HA/FA
		%			
3	G ₁	53.66	17.44	70.80	3.08
	G ₂	39.09	12.74	51.73	3.07
	G ₁ - G ₂	14.57	4.7	19.07	0.01
6	G ₁	26.08	21.49	47.56	1.21
	G ₂	18.14	16.36	34.50	1.11
	G ₁ - G ₂	7.94	5.13	13.06	0.10
7	G ₁	18.41	24.86	43.27	0.74
	G ₂	10.86	18.38	29.24	0.59
	G ₁ - G ₂	7.55	6.48	14.03	0.15
10	G ₁	10.09	48.68	58.77	0.21
	G ₂	11.58	39.47	51.05	0.29
	G ₁ - G ₂	-1.49	9.21	7.72	-0.08
13	G ₁	13.82	30.57	44.39	0.45
	G ₂	16.54	27.85	44.39	0.59
	G ₁ - G ₂	-2.72	2.72	0.00	-0.14

作用差别不大。

(三) 复合体中结合态腐殖质组成

土壤中的腐殖质是以多种方式和不同程度与矿质部分相结合形成有机矿质复合体而存在,因而具有不同的结合形态。表 3 的结果表明,有机质总量是 G₂ 组高于 G₁ 组,这与前人报道的结果一致^[3,5,6]。0.1mol/L NaOH 提取的松结态腐殖质(H₁)均为 G₁ > G₂,接着能溶于 0.1mol/L NaOH + 0.1mol/L Na₄P₂O₇ 混合液的稳结态腐殖质(H₂) 在 G₁、

表 5 复合体中络合态铁、铝和钙的含量 (g/kg)

Table 5 Contents of complex Fe, Al and Ca in organo-mineral complexes (g/kg)

土样号 Sample No.	复合体 Complex type	Fe	Al	Ca
3	G ₁	0.266	0.857	0.750
	G ₂	0.322	0.810	0.622
6	G ₁	1.060	0.688	0.210
	G ₂	1.234	0.664	0.278
7	G ₁	0.123	0.498	0.330
	G ₂	0.220	0.594	0.483
10	G ₁	0.035	0.778	0.025
	G ₂	0.049	0.990	0.022
13	G ₁	0.210	0.780	0.004
	G ₂	0.232	1.036	0.003

G₂ 中没有一致的趋势,而不溶于浸提液的紧结态腐殖质(H₂)则 G₂ > G₁,这表明 G₂ 中腐殖质的可溶性大大低于 G₁,也和前人结果一致^[1,4]。但松结态腐殖质是可提取腐殖质(H₁ + H₂)中主要的组成部分,在 G₁、G₂ 中分别占 76.8—91.5% 和 61.4—91.3%。值得注意的是 G₁ 和 G₂ 的 H₁/H₂ 比值,除个别外相当接近, H₁/H₃ 的比值也自北而南逐渐地接近,这表明 G₁ 和 G₂ 中可溶部分的松结态和稳结态的比值没有明显变化。

表 4 说明松结态腐殖质组成中,3,6,7 号土壤的胡敏酸(HA)和富里酸(FA)都是 G₁ > G₂, HA/FA 比值也是 G₁ > G₂, 10, 13 号土壤有所不同, HA 为 G₁ < G₂, 而 FA 则为 G₁ > G₂, 致使 HA/FA 比值为 G₁ < G₂。

从表 4 还可看出,从北往南, G₁、G₂ 中 HA 似有减小的趋势, FA 则都有增加的趋势, HA/FA 比值也从黑土的 3 左右降到砖红壤的 0.5 左右,这与土壤中的变化趋势是一致的^[8]。两组复合体腐殖质组成的差异(G₁ - G₂)是:从北往南,HA 的差异逐渐减小,而 FA 的差异则呈现增加趋势,(HA + FA)的差异(指 H₁)则从黑土的 19% 差异降低到砖红壤的无差异。值得注意的是在同一土样 G₁、G₂ 之间 HA/FA 比值的差异比土类之间的差异要小,这表明 G₁ 和 G₂ 中松结态腐殖质的组成可能是相似的。

以 pH9.8 的 0.1mol/L Na₄P₂O₇ 提取的络合态铁、铝、钙的结果(表 5)表明, G₁ 和 G₂ 中都含有一定数量的络合态铁、铝、钙, G₂ 中络合态铁含量有大于 G₁ 的趋势,络合态铝则没有类似的趋势,且随着土壤种类变化,在 3,6 号土壤中 G₁ > G₂, 而 7,10,13 号土壤中则 G₁ < G₂, 其变化趋势和 HA/FA 的变化趋势相当一致。但总的来说,络合态铁、铝在 G₁、G₂ 中都相差不大。值得注意的是 G₁、G₂ 中还都含有一定数量的络合态钙,而且 G₂ 中的含量并不低于 G₁,氯化钠处理并不能把复合体中的钙全部代出。可见,不论 G₁ 和 G₂ 都含有以钙、铁、铝为键桥形成的复合体。

三、讨 论

本研究第 V 报的结果表明,在以气候成土因素为主的地带性土壤中, G₁、G₂ 组复合

体的含量与成土条件、土壤组成和土壤性质有关,尤其是 G_1 、 G_2 组含量分别与土壤交换性钙和游离态铁铝氧化物含量呈极显著正相关^[8]。但是显然, G_1 、 G_2 组的变化幅度与金属离子的变化是不相称的,在几乎不含钙的南方土壤仍然含有相当量的 G_1 组复合体,这说明 G_1 的含量并不是完全决定于钙的数量,在缺乏钙的条件下,仍然可以形成一定数量的 G_1 复合体,同样 G_2 的含量在各种土壤类型中的变化,也和铁铝氧化物的变化不相称。这些问题说明, G_1 和 G_2 的形成机制是比较复杂的,不能简单地以钙和铁铝氧化物的不同键合机制说明,为此必须从 G_1 和 G_2 本身的组成进行剖析研究。有关研究指出, G_2 中无机胶体(包括粘粒和氧化物)的含量高于 G_1 , 腐殖质总量和胡敏素部分所占的比例, G_2 显著高于 G_1 , 从而在一些性质中,例如吸收量,养料有效性等都表现了明显的区别^[2,3,10]。在我们的研究中也得到了同样的结果^[5,6],但是当我们采用地带性系列样品进行研究时,发现在 G_1 和 G_2 之间的某些组成差异,随着土壤类型而变化,没有固定的关系,例如游离氧化铁和无定形氧化铁含量在北方钙饱和土壤中相差很大,而在南方酸性土壤几乎没有差别,而氧化铝的含量相差更小(表 2)所以不能认为氧化铁铝对 G_2 的生成起了特殊的作用,更不能否定氧化物在 G_1 的生成机制中也起着重要的作用。

在复合体的矿物组成中, G_1 、 G_2 组的 SiO_2/Al_2O_3 率和游离态氧化铝含量都无明显变化(表 1、表 2),这说明 G_1 和 G_2 组的铝硅酸盐矿物成分基本上是类似的,因此 G_2 组相对所富集的铁主要是游离态铁氧化物。然而 G_1 中也含有相当量的游离态铁氧化物,这说明由 Ca^{2+} 或活性氧化物胶结的团聚体内部,相当一部分仍由铁铝氧化物胶结而成,即 G_1 组仍含有一定量的铁铝键结的复合体。

根据复合体结合态腐殖质组成结果(表 3)可知,腐殖质总量和胡敏素(H_2)都是 $G_2 > G_1$, 而松结态腐殖质(H_1)及可提取性腐殖质($H_1 + H_2$)均为 $G_1 > G_2$,所有这些差别是由 G_1 、 G_2 组复合体本身的形成特点和特性所决定的。有人研究表明,游离态铁氧化物与胡敏素之间存在显著的正相关^[11],因此 G_2 中有较高比例的胡敏素。然而,在腐殖质的组成中,值得注意的是 G_1 、 G_2 组 H_1/H_2 比值除个别土壤外都相差不大,这说明两组复合体中腐殖质的联结状态是相似的,差热分析也显示 G_1 和 G_2 中腐殖质的结合方式也是相似的^[9]。同样两组复合体腐殖质的 HA/FA 比也比较接近,这表示 G_1 、 G_2 组腐殖质的组成和结构可能也是类似的。结果还表明, G_1 和 G_2 组复合体都含有一定数量的络合态铁、铝和钙,除 G_2 中络合态铁略高于 G_1 之外,没有其他差异(表 5)。

上述组成分析表明,在 G_1 和 G_2 组中有机胶体的组成和结构相似,游离态铁铝氧化物的差异也没有固定规律, G_1 和 G_2 也都含有一定数量的络合态铁、铝和钙,两组复合体中可提取腐殖质的结合态也是相似的,因此不能得出 G_1 和 G_2 是两种不同类型(例如钙结合的和铁铝结合的)复合体的结论。

但是 G_2 组中含有较高量无机和有机胶体,有机胶体的活性也明显降低,这些差别也不是单纯地由于团聚状态不同所致。根据生成条件分析^[8], G_1 主要是在较干燥的和盐基饱和度较高的条件下生成的,复合胶体通过盐基离子的凝聚,由多价离子的胡敏酸盐和脱水程度较低的游离态氧化物的胶结作用聚结成较大的团聚体,这些团聚体可以为钠离子

1) 徐建民,1990: 土壤中钙键和铁铝键有机矿质复合体的研究。博士学位论文,浙江农业大学。

和中性条件下分散。而 G_2 则主要是在气温较高和酸性条件下生成的,复合胶体中包含脱水程度较高的铁铝氧化物联结的团聚体,这些团聚体必须通过更大的分散力——机械研磨才能使之分散。 G_2 中含有较高量的粘粒和无机胶结物对结合态腐殖质的积累和缩合老化产生一定影响,从而使 G_2 组含有较高量的活性较低的腐殖质。这是我们对胶散分组复合体 G_1 和 G_2 的初步认识。当然, G_1 和 G_2 的生成机制是很复杂的,例如 G_1 和 G_2 是否可能在一定条件下相互演变等,还值得进一步研究。

参 考 文 献

1. 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。
2. 何群、陈家坊,1964: 第四纪红土发育的水稻土微团聚体特性的初步研究。土壤学报,第 12 卷 1 期,55—62 页。
3. 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。
4. 陈恩凤、周礼恺、邱凤琼等,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。
5. 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。
6. 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。第 27 卷 3 期,286—292 页。
7. 袁可能、陈通权,1981: 土壤有机矿质复合体的研究 II. 土壤各级团聚体中有机矿质复合体的组成及其氧化稳定性。土壤学报,第 18 卷 4 期,335—344 页。
8. 徐建民、袁可能,1993: 土壤有机矿质复合体的研究 V. 胶散复合体组成和生成条件的剖析。土壤学报,第 30 卷 1 期,43—51 页。
9. 傅积平,1983: 土壤结合态腐殖质分组测定。土壤通报,第 2 期,36—37 页。
10. 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。
11. Higashi T., Deconinck F. and Gelaude F., 1981: Characterization of some spodic horizons of the campine (Belgium) with dithionite-citrate, pyrophosphate and sodium hydroxide-tetraborate. Geoderma, 25: 131—142.
12. Turchenek L. W. and Oades J. M., 1978: Organo-mineral particles in soils in "Modification of Soil Structure" (Emerson W. W., Bond R. D., Dexter A. R. ed) John Wiley and Sons Ltd. pp 137—144.

STUDIES ON ORGANO-MINERAL COMPLEXES IN SOIL

VI. CHEMICAL COMPOSITION AND COMBINED CHARACTERISTICS OF ORGANO-MINERAL COMPLEX

Xu Jianmin and Yuan Keneng
(*Zhejiang Agricultural University, 310029*)

Summary

This paper deals with the chemical composition of organic and inorganic components and their combined characteristics in G_1 and G_2 organo-mineral complexes. It was found that iron tended to accumulate in G_2 fraction. The contents of free Fe and Al oxides were higher in G_2 than in G_1 in all soil samples. The loosely combined humus (H_1) was more in G_1 than in G_2 , but an opposite trend existed for tightly combined humus (humin). A little difference of the ratios of loosely combined humus to stably combined humus (H_1/H_2) and humic acid to fulvic acid (HA/FA) were observed between G_1 and G_2 fractions in most of the soil samples. Both G_1 and G_2 fractions contained some complex Fe, Al and Ca. It was concluded that the total amount of humus and humin of G_2 was higher than that of G_1 , but G_1 and G_2 organo-mineral complexes could not be regarded as Ca-combined and Fe and Al-combined complexes, respectively.

Key words G_1, G_2 , Mineral, Humus