

土壤有机矿质复合体研究*

IV. 有机矿质复合体中有机磷的分布

侯惠珍 袁可能

(浙江农业大学)

摘 要

本文研究湖沼母质发育的青紫泥水稻土和第四纪红土母质上发育的黄筋泥水稻土的有机矿质复合体中有机磷的分布。结果表明：各组复合体中有机磷的含量($\mu\text{g/g}$)是 $G_2 > G_1 > G_0$ 。C/P₀ 和 N/P₀ 比例是 G_2 高于 G_0 和 G_1 ，说明有机磷在复合体 G_2 中的富集低于有机碳和氮。复合体中可溶性有机磷化合物总量较全土高。可溶性有机磷化合物中，肌醇磷占有机磷 12.1—32.3%，核酸磷占 1.9—5.8%，磷酸磷占 0.7—3.1%。复合体中肌醇磷、核酸磷和磷脂磷的含量 ($\mu\text{g/g}$) G_2 明显高于 G_0 和 G_1 。

复合体中有机磷的活性分级为：活性磷占 10% 左右，中等活性磷占 50% 左右，中等稳定性磷和高度稳定性磷各占 20% 左右。 G_0 组的活性磷比例较全土高，但 G_1 和 G_2 组中则明显降低。不同土壤有机矿质复合体中活性磷和中等活性磷的分布，与有机磷化合物中的核酸磷和肌醇磷的含量有关。

有机磷在土壤全磷量中占有一定的比例。一般认为，土壤中有机磷化合物主要是肌醇、核酸和磷脂三类，尤以肌醇类磷为主，约占有机磷一半以上^[1,2]。土壤有机质大多存在于复合体中^[2]，因此复合体中的有机态磷也必然是有机磷的重要部分。但是对土壤有机矿质复合体中有机磷化合物的分布特点还很少研究，这显然是由于对有机磷在土壤中分布的意义及其与有效性的关系认识不足有关。因此研究复合体中有机磷化合物的种类、分布和性质，将在一定程度上有助于对土壤有机磷转化机理的进一步认识。

本文较系统地研究了浙江省主要水稻土有机矿质复合体中有机磷的分布和有机磷化合物的组成，并按化学方法研究其活性分级，以进一步探索有机矿质复合体中有机磷的分布特点及其与有效磷的关系。

一、供试土样和试验方法

(一) 供试土样 本试验所用土样除个别采样地点有更动外，均同本文第3报^[1]，土样的基本性状见表1。

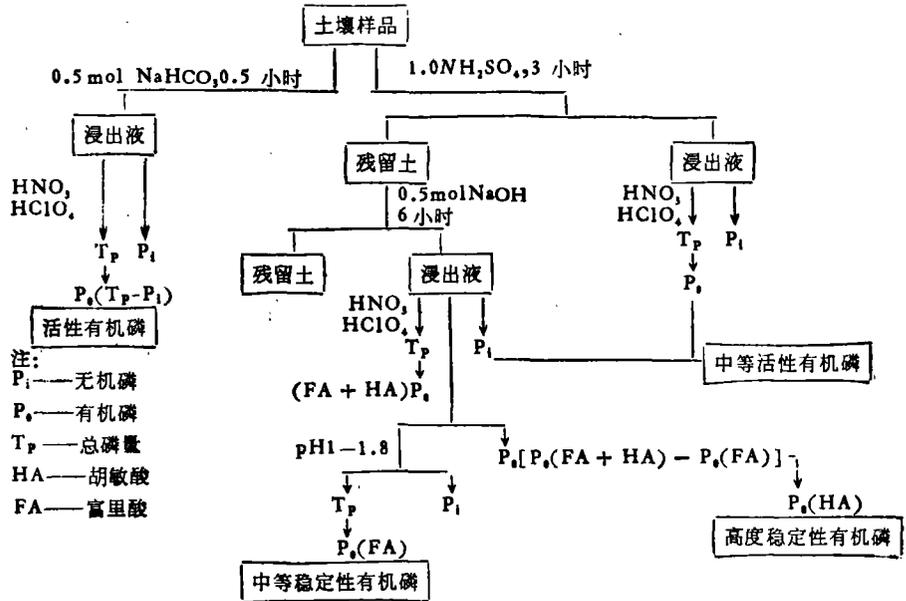
(二) 试验方法 1. 有机矿质复合体 G_0 、 G_1 和 G_2 的分离是按 A. Ф. Гиолин 的分组胶散法。2.

* 国家自然科学基金资助项目。

表 1 供试土样的基本性状
Table 1 Characteristics of soil samples

土号 Soil No.	土壤类型 Soil type	采样地点 Locality	质地 Texture	pH	有机质 (%) Org. M.	全氮 (%) Total N	全磷 (%) Total P	有机磷 Org. P		有效磷 Available P	
								μg/g	占全 P % of T _P	μg/g	占全 P % of T _P
1	青紫泥	宁波丘陵	中粘土	6.20	5.70	0.40	945	235.5	24.9	41.9	4.4
2	青紫泥	杭州池塘庙	轻粘土	6.49	2.95	0.17	731	246.7	33.7	21.6	3.0
3	黄筋泥	巨州十里半	轻粘土	5.32	2.55	0.12	507	272.7	53.8	17.5	3.5
4	黄筋泥	金华石门	轻粘土	6.54	2.73	0.13	609	291.0	47.8	16.9	2.9

全磷测定是采用 $H_2SO_4-HClO_4$ 消化, 钼锑抗比色法。有效磷测定是采用 $0.5mol NaHCO_3$ 浸提, 钼锑抗比色法。有机磷测定采用灼烧- $0.2N H_2SO_4$ 浸提, 钼锑抗比色法。3. 肌醇磷测定是采用 Cosgrove 方法^[7]。磷脂磷的测定是用 Hance 和 Anderson 方法^[7]。核酸磷测定是用 Anderson^[4] 和 Adams 等^[8] 的方法浸提, 紫外吸收法测定。4. 有机磷活性分级是按 Bowman 和 Cole 的方法^[6], 图示如下:



二、结果和讨论

(一) 磷在各组复合体中的分布

按 A. Ф. Троилин 法, 把土壤有机矿质复合体分为水分散复合体 (G_0), 钠分散复合体 (G_1) 和钠质研磨复合体 (G_2), 然后分别测定其全磷和有机磷, 所得结果见表 2。

从表 1 和表 2 中可以看出, 各组有机矿质复合体中的有机磷含量以 G_2 最高, G_1 次之, G_0 则接近或略低于全土, 这显然和有机质富集于复合体中的程度有关。在两种不同类型土壤中, 都以黄筋泥复合体中的有机磷所占的比重较大, 占全磷的 40—52%, 而青泥复合体中仅为 20—35%。

表 2 不同类型水稻土各组复合体中碳、氮、磷的分布

Table 2 Distribution of organic C, N and P in organo-mineral complexes of different soils

土号 Soil No.	土壤类型 Soil type	有机矿质复合 体组别 Fraction of organo- mineral complex	全碳 (%) Total C	全氮 (%) Total N	全磷 ($\mu\text{g/g}$) Total P	有机磷 Org. P		C/P _o	N/P _o
						$\mu\text{g/g}$	占全 P % of T _p		
1	青紫泥 (宁波丘陵)	G _o	2.27	0.216	1106	227.5	20.6	100.0	9.5
		G ₁	2.45	0.271	974	263.0	27.0	93.2	10.3
		G ₂	6.24	0.528	1889	395.0	20.9	158.0	13.4
2	青紫泥 (杭州池塘 亩)	G _o	1.91	0.183	978	264.0	27.0	72.3	6.9
		G ₁	2.15	0.231	964	340.0	25.3	63.2	6.8
		G ₂	6.33	0.497	1604	450.0	28.0	140.7	11.0
3	黄筋泥 (巨州十里 半)	G _o	1.42	0.160	667	271.0	40.6	52.4	5.9
		G ₁	1.41	0.158	637	336.7	52.8	41.9	4.7
		G ₂	3.46	0.252	925	387.0	41.8	89.4	6.5
4	黄筋泥 (金华石门)	G _o	1.60	0.163	701	282.5	40.3	56.6	5.8
		G ₁	1.44	0.147	760	334.2	44.0	43.1	4.4
		G ₂	4.80	0.332	1179	522.7	44.3	91.8	6.3

C/P_o (P_o为有机磷,下同)和N/P_o比例,既是影响有机磷有效性的重要因素,又是反映有机磷存在形态和分子结构的有意义的比值^[5]。从表2可以看出,有机矿质复合体中C/P_o和N/P_o比例均为G₂ > G_o和G₁,可见各组复合体有机磷化合物的组成不同。其中G_o和G₁的C/P_o比例较接近,而G₂几乎高出一倍,比C/N比的变化大得多^[2],这表明在G₂中有机磷虽然有所富集,但是富集程度远低于有机磷;G₂中N/P_o比的增加也说明同一问题。

值得注意的是1号土的有机质含量虽然很高,几乎为其他土样的一倍,但是有机磷含量却接近或低于其他土样,其C/P_o比则高于100,这说明一号土样有机质中所含磷的比例较低。而3号土和4号土虽然有机质含量不高,但其有机磷的比例较高,C/P_o和N/P_o比均较低,这表明黄筋泥水稻土中有机磷的稳定性较高,有机质中含磷较多。

(二) 土壤有机矿质复合体中有机磷化合物的组成和含量

目前已被检出的土壤中的含磷有机化合物主要为肌醇、核酸和磷脂三类,其他有机磷化合物的含量甚微^[1,9],在这三类含磷有机化合物中,尤以肌醇含量最高。我们在水解液中测定出的土壤和土壤中各组有机矿质复合体中肌醇磷、核酸磷和磷脂磷的含量见表3。

从表3中可以看出,各组复合体中提取出的有机磷化合物中磷的总量一般都超过全土,并且大多随着G_o、G₁、G₂逐渐增加,基本上和有机磷含量的增加趋势一致。但是占有有机磷总量的比例却与土壤肥沃度有关,以1号土和4号土较高,而2号土和3号土较低,这表明复合体中所富集的有机磷,其溶解度是有差别的。1号土和4号土为较肥沃的土壤,其中被提出的有机磷化合物百分数显著高于相应的肥力较低的2号土和3号土。可

表3 不同类型水稻土各组复合体中有机磷化合物的组成和含量
Table 3 Distribution of organic P compounds in organo-mineral complexes of different soils

土号 Soil No.	供试土样 Samples	肌醇-磷 Inositol-P		核酸-磷 Nucleic acid-P		磷脂-磷 Phospholipid-P		总数 Total	
		μg/g	占有机磷 % of P _o	μg/g	占有机磷 % of P _o	μg/g	占有机磷 % of P _o	μg/g	占有机磷 % of P _o
1	全土	51.1	21.7	10.5	4.5	7.4	3.1	69.0	29.3
	G ₀	63.0	27.7	10.8	4.7	4.8	2.1	78.6	34.5
	G ₁	72.4	27.7	14.2	5.4	3.9	1.5	90.5	34.6
	G ₂	127.7	32.3	22.8	5.8	7.1	1.8	157.6	39.9
2	全土	43.0	17.4	7.5	3.0	4.4	1.8	54.9	22.2
	G ₀	52.0	19.7	6.6	2.5	4.0	1.5	62.6	23.7
	G ₁	83.3	24.4	8.3	2.4	3.7	1.1	95.3	28.0
	G ₂	106.0	23.6	18.3	4.2	5.5	1.2	129.8	28.8
3	全土	42.7	15.6	7.0	2.6	3.4	1.2	53.1	19.4
	G ₀	49.2	18.1	12.6	4.6	4.7	1.7	66.5	24.5
	G ₁	40.6	12.1	10.2	3.0	2.4	0.7	53.2	15.8
	G ₂	64.3	16.6	18.2	4.7	5.1	1.3	88.0	22.6
4	全土	55.7	19.1	6.9	2.4	3.1	1.1	65.7	22.6
	G ₀	78.7	27.9	8.7	3.1	3.2	1.1	90.6	32.1
	G ₁	65.3	19.5	6.4	1.9	2.6	0.8	74.3	22.2
	G ₂	135.7	26.0	18.5	3.5	4.5	0.9	158.7	30.4

见,复合体中所积聚的有机磷的活性也随着肥沃度而异。

不同有机磷化合物在复合体中的分布则有明显的区别。总的看来,以肌醇态磷在复合体中增加最多,核酸态磷次之,而以磷脂态磷增加最少,甚至略有减少。分析结果表明,在复合体 G₀ 组中肌醇态磷含量高于全土,而核酸态磷和磷脂态磷含量在青紫泥水稻土中接近或略低于全土,但黄筋泥水稻土中则高于全土。在复合体 G₁ 组中,肌醇态磷和核酸态磷在青紫泥水稻土中高于 G₀,而在黄筋泥水稻土中则低于 G₀。磷脂态磷在 G₁ 中普遍较 G₀ 低,也低于全土。在复合体 G₂ 组中,不论肌醇态磷、核酸态磷或磷脂态磷的含量均明显高于 G₀ 和 G₁,也高于全土。这表明在 G₂ 中各类有机磷化合物均有明显的富集,但是就复合体中可溶性有机磷化合物中的磷占有机磷总量的百分比而言,则除磷脂态磷外,大多高于全土,这表明复合体中有机磷化合物的可溶部分都有不同程度的增加。

上述结果表明,不同的有机磷化合物在各组复合体中富集程度是不等的,而且随土壤性质、肥沃度等而变化。已知肌醇态磷是较稳定的成分,且多和矿物质结合^[1,2],因此在复合体中有较多的积聚。核酸态磷是较易分解的,因此在 G₀ 和 G₁ 组中增加不多。值得注意的是磷脂态磷,在大多数复合体中的含量和百分比均低于全土,这说明磷脂类化合物相当多的部分为非复合状态有机质,在复合体中并无明显的富集。

(三) 各组复合体中有机磷的活性

按 Bowman 和 Cole 的方法把有机磷的活性分为活性、中等活性、中等稳定性和高度稳定性四级,这样有助于了解各组复合体中有机态磷对植物有效磷循环中所起的作用,分

析结果列于表 4。

从表 4 的数据表明:各组复合体中有机磷的活性分级大致和全土相似^[1],活性有机磷占 10% 左右(5.5—15.9%),中等活性有机磷占 50% 左右(36.6—68.6%),中等稳定性有机磷占 20% 左右(13.0—26.0%),高度稳定性有机磷占 20% 左右(8.2—29.3%)。但在不同的复合体中,有机磷的活性程度又不相同,如 G₀ 的活性有机磷所占的比例均高于全土,一般在 10% 以上,而 G₁ 和 G₂ 则明显降低,除肥沃的 1 号土外,均低于 10%,尤以黄筋泥水稻土中的 G₁ 和 G₂ 的活性有机磷较低。与此相反,复合体 G₀ 的中等活性有机磷均低于全土,而 G₁ 和 G₂ 则明显增高,尤以黄筋泥水稻土所占的比例较高。中等稳定性有机磷,在 G₀ 中一般高于全土,而 G₁ 和 G₂ 中则略有降低,而接近全土。高度稳定性有机磷,各组复合体中的含量一般高于全土,尤以 G₂ 最为明显。可见复合体中的有机磷活性分级有了重新

表 4 各组复合体中有机磷的活性分级

Table 4 Distribution of labile fractions of organic phosphorus in organo-mineral complexes of different soils

土号 Soil No.	供试土样 Sample	有效磷 ($\mu\text{g/g}$) Available p	有机磷 Organic Phosphorus								总量 ($\mu\text{g/g}$) Total
			活性 Labile		中等活性 Moderately labile		中等稳定性 Moderately resistant		高度稳定 Highly resistant		
			$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	$\mu\text{g/g}$	%	
1	全土	41.9	25.9	9.1	153.3	54.3	64.4	22.8	39.1	13.8	282.9
	G ₀	80.7	33.5	15.9	77.7	37.0	54.6	26.0	44.0	21.7	209.8
	G ₁	50.4	40.7	15.9	105.3	41.0	66.6	26.0	44.0	17.1	256.6
	G ₂	68.9	49.2	13.1	137.2	36.6	78.7	21.0	110.3	29.3	375.4
2	全土	21.6	23.5	9.6	135.0	55.1	46.7	19.1	39.6	16.2	244.8
	G ₀	55.0	29.5	10.9	134.9	49.7	58.3	21.5	48.5	17.9	271.2
	G ₁	44.6	31.1	8.7	215.4	60.3	62.2	17.4	48.8	13.6	357.5
	G ₂	47.7	40.7	10.0	192.5	47.3	73.8	18.1	100.0	24.6	407.0
3	全土	17.5	23.4	9.0	159.4	61.0	44.2	16.9	34.2	13.1	261.2
	G ₀	38.0	29.9	10.9	129.8	47.1	67.6	24.5	48.0	17.4	275.3
	G ₁	30.0	26.2	8.0	203.2	61.7	52.7	16.0	47.8	14.4	329.9
	G ₂	32.0	29.2	7.0	256.1	61.6	68.5	16.4	62.2	15.0	416.0
4	全土	16.9	20.0	6.7	198.7	66.2	49.0	16.3	32.5	10.8	300.2
	G ₀	23.6	29.5	10.0	182.0	61.7	54.1	18.3	29.5	10.0	295.1
	G ₁	21.6	23.5	7.0	233.9	68.6	44.4	13.0	38.9	11.4	341.1
	G ₂	23.2	31.9	5.5	395.4	68.0	106.9	18.3	47.3	8.2	581.5

分配, G₁ 中的活性有机磷增加,中等活性有机磷降低,中等稳定性和高度稳定性的有机磷均有不同程度的增加。G₁ 中各级有机磷的分配比例大多和全土或 G₀ 接近,变化不大。G₂ 中的活性有机磷和中等活性有机磷一般较低,中等稳定性有机磷接近全土,高度稳定性有机磷一般明显高于全土。值得注意的是高度肥沃的青紫泥(1号土)复合体中的活性部分所占的比例明显增高,而中等活性有机磷所占的比例则大幅度降低,不足有机磷的 40%。与此相反,黄筋泥水稻土中 G₁ 和 G₂ 的活性有机磷所占的比例明显较低,而中等活性有机磷所占的比例却很高,大多占有有机磷的 60% 以上,且高于全土,这说明青紫泥和黄筋泥水

稻土各组复合体中有机磷化合物的活性有明显区别。

联系有机磷化合物的组成(表 3)可以看出, 1 号土各组复合体中肌醇磷和核酸磷含量较高, 其活性有机磷含量也较高, 但中等活性有机磷的含量则较低。2 号土和 3 号土的肌醇磷及核酸磷的含量低于 1 号土, 活性有机磷含量也较低, 但中等活性有机磷含量则增高。4 号土肌醇磷的含量与 1 号土相似, 而核酸磷含量较低, 其活性有机磷很低, 中等活性有机磷却很高。可见核酸磷和肌醇磷与有机磷的活性有很大关系, 核酸磷与活性磷的关系最密切, 相关系数达到 0.01 显著水平。但肌醇磷则须视其成分而不同。已知肌醇磷有不同的盐类(植酸钙镁或植酸铁铝), 其活性程度也不同, 一般认为植酸钙镁的活性大于植酸铁铝盐^[1]。看来, 1 号土(青紫泥水稻土)和 4 号土(黄筋泥水稻土)的肌醇磷的成分和活性是有明显差别的。1 号土和 2 号土中肌醇磷的活性较高, 而 3 号土和 4 号土中的肌醇磷大多为中等活性。另一方面, 所有土样都表明活性磷与肌醇磷的比例, 以 G_0 为最高, G_1 次之, 而 G_2 为最低, 这也表明即使在同一土壤中, 不同复合体组别的肌醇磷, 其活性也是不相同的。

活性有机磷可以看作是较速效的有机磷, 因此它和有效磷之间保持着一定的平衡关系。从统计分析结果看, 各土样中的有效磷与活性磷的含量有明显的相关性, 相关系数达到 0.01 的显著水平。可见复合体中有机磷的活性对有效磷有很大的影响。

参 考 文 献

- [1] 袁可能, 1983: 植物营养元素的土壤化学。110—156 页, 科学出版社。
- [2] 侯惠珍、袁可能, 1986: 土壤有机矿质复合体研究 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。
- [3] Adams A. P., Bartholomew W. V. and Clack F. E., 1954: Measurement of nucleic acid components in soil. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 18: 40—46.
- [4] Anderson G., 1961: Estimation of purines and pyrimidines in soil humic acid. *Soil Sci.*, 91: 156—161.
- [5] Anderson G., 1980: Assessing organic phosphorus in soil. In "The Role Of Phosphorus in Agriculture", pp. 411—428. SSSA, Madison.
- [6] Bowman R. A. and C. V. Cole, 1978: An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Sci.*, 125: 96—100.
- [7] Hesse A. R. and Anderson, 1971: A Textbook of Soil Chemical Analysis. pp. 287—289, John Murray, London.
- [8] Sharpley A. N. and Smith S. J., 1985: Fractionation of inorganic and organic phosphorus in virgin and cultivated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 127—130.
- [9] Stevenson F. J., 1982: Humus Chemistry. pp. 125—134. John Wiley, N. Y.

STUDIES ON ORGANO-MINERAL COMPLEX IN SOIL

IV. DISTRIBUTION OF ORGANIC PHOSPHORUS COMPOUNDS IN ORGANO-MINERAL COMPLEX

Hou Huizhen and Yuan Keneng

(*Zhejiang Agricultural University*)

Summary

This paper deals with the distribution of organic phosphorus compounds in organo-mineral complexes of periodically waterlogged paddy soils developed on red earth and paddy soils developed on lacustrine deposits with various fertility in Zhejiang province. The results are summarized as follows:

1. The organic phosphorus content in organo-mineral complexes were $G_2 > G_1 > G_0$. The $C/P_{org.}$ and $N/P_{org.}$ ratios of G_2 were higher than those of G_0 and G_1 , which reveals that the organic phosphorus accumulated in G_2 of organo-mineral complex is less than organic carbon and nitrogen.

2. The total amount of organic phosphorus compounds extracted from organ-mineral complexes was higher than that in soil sample. For different compounds, inositol-P nucleic acid-P and phospholipid-P were 12.1—32.3%, 1.9—5.8% and 0.7—3.1% of total organic phosphorus respectively. The contents of inositol-P, nucleic acid-P and phospholipid-P in G_2 were higher than those in G_1 and G_0 .

3. The labile organic phosphorus in organo-mineral complexes constitutes 5.0—15.9%, the moderately labile 36.6—68.6%, the moderately resistant 13.0—26.0% and the highly resistant 10.0—29.3%. Although the percentage of labile pool in G_0 fraction was higher than soil sample, it dropped in G_1 and G_2 . The results show that the distribution of labile and moderately labile pool in organo-mineral complexes of different soils is related to the contents of nucleic acid-P and inositol-P.