

红壤复合体不同活性有机磷的分布特征及其与磷酸酶的关系

甘海华 卢瑛 戴军

(华南农业大学资源环境学院,广州,510642)

摘要 对第四纪红色粘土发育的红壤,运用超声分离技术将复合体分离,测定其不同活性有机磷和土壤磷酸酶。结果表明:红壤及其复合体有机磷的质量分数随着肥力的提高呈增大趋势;土壤有机磷主要存在于 $<1\mu\text{m}$ 的复合体中;无论是红壤还是复合体,其有机磷以中等活性有机磷和中等稳定有机磷为主,两者之和占有机磷总量的80%。并且它们与土壤磷酸酶呈较好的正相关关系。

关键词 红壤;复合体;有机磷;磷酸酶

中图分类号 S 158.3

土壤有机磷一般占土壤全磷的30%~60%。由于土壤有机质大部分存在于复合体中,因此复合体中有机磷也是土壤有机磷的重要组成部分,但对土壤复合体有机磷的分布特点研究较少。研究复合体中有机磷化合物分布特点并按化学方法分级研究其活性,有助于对土壤有机磷转化机理的进一步认识。

1 材料与方法

土样采自江西省第四纪红色粘土发育的不同肥力的红壤,采样深度为0~20 cm,其基本理化性状如表1。

表1 土壤基本理化性状

肥力水平	pH	有机磷	全磷	全氮	碱解氮	速效磷
		w/(g·kg ⁻¹)	w/(μg·g ⁻¹)			
荒地	3.78	1.69	0.171	0.354	0.213	0.70
低肥旱地	3.81	7.72	0.314	0.901	0.666	5.30
中肥旱地	4.83	7.78	0.372	0.921	0.723	8.43
高肥旱地	4.30	17.12	0.916	1.951	1.629	45.2
菜地	3.87	12.92	0.717	1.321	1.034	22.1

土壤复合体的提取:称取50 g过1 mm筛的土样,加500 mL去离子水浸泡过夜后,用CFS-1A超声波发生器在21.5 kHz 300 mA下超声30 min后转到高型烧杯中,加水配制成质量浓度为40 g/L的悬液,用沉降法分离。

有机磷的分级按 Bowman 和 Cole 方法将红壤及其复合体的有机磷分为活性有机磷(AOP), 中等活性有机磷(MAOP), 中等稳定性有机磷(MSOP), 高度稳定性有机磷(HSOP)4 组; 全磷用高氯酸硫酸熔化, 铬锑抗比色法; 速效磷用 0.003 mol/L NH₄F - 0.025 mol/L HCl 浸提法; pH 的测定用 1 mol/L 的 KCl 提取后测定。

2 结果分析

2.1 红壤中有机磷的分布

表 2 显示, 中等活性有机磷质量分数随着土壤肥力水平的提高迅速增大, 如荒地红壤中等活性有机磷质量分数只有 22.6 μg/g, 而低肥和高肥土壤中等活性有机磷分别为 79.2 μg/g 和 327.0 μg/g。中等稳定性有机磷随肥力水平的提高逐渐增加, 如荒地红壤中等稳定有机磷质量分数为 22.8 μg/g, 低肥和高肥红壤中等稳定有机磷质量分数分别为 59.3 μg/g 和 84.6 μg/g。但高度稳定性有机磷质量分数在不同肥力的土壤中变化不大, 变化范围在 13.0 ~ 29.7 μg/g。

从表 2 还可以看出, 中等活性有机磷在土壤有机磷中所占的比例随土壤肥力水平的提高从荒地土壤的 38.6% 迅速增加到高肥土壤的 73.7%; 而中等稳定性有机磷在土壤有机磷中所占的比例从荒地土壤的 38.9% 减少到高肥土壤的 19.1%。活性有机磷在土壤有机磷中所占的比例随土壤肥力水平的提高有增大的趋势, 变化范围从 0.3% ~ 2.8%。

表 2 不同肥力红壤不同活性有机磷的分布情况

肥力水平	AOP		MAOP		MSOP		HSOP		总有机磷	
	w	比例 ¹⁾								
	/(μg·g ⁻¹)	/%								
荒地	0.18	0.3	22.6	38.6	22.8	38.9	13.0	22.2	58.6	100
低肥	4.4	2.7	79.2	48.1	59.3	36.0	21.9	13.3	164.8	100
中肥	5.1	2.8	108.6	59.7	54.8	30.1	13.5	7.4	182.0	100
高肥	11.1	2.5	327.0	73.7	84.6	19.1	20.6	4.6	443.3	100
菜地	9.9	2.4	294.5	71.2	79.4	19.2	29.7	7.2	413.4	100

1) 比例是指不同活性有机磷占土壤有机磷的百分比

由上述的结果可以看出, 提高土壤肥力增加了土壤有机磷的总量, 但主要是增加了中等活性有机磷质量分数。Bowman 和 Cole 对草地土壤有机磷活性分级也说明: 土壤有机磷主要存在于中等活性有机磷和中等稳定性有机磷, 分别占土壤有机磷总量的 34.1% 和 47.4%。

2.2 红壤复合体有机磷活性的分布特征

表 3 可知, 同一土壤复合体的活性有机磷的质量分数随着粒级的增大, 其质量分数有逐渐减少的趋势, 如高肥土壤在 < 1 μm 粒级复合体中活性有机磷质量分数为 22.02 μg/g, 1 ~ 2 μm, 2 ~ 5 μm, 5 ~ 10 μm, 10 ~ 50 μm 粒级的质量分数分别为 10.00, 12.00, 8.33 和 5.03 μg/g。同一土壤复合体的中等活性有机磷与中等稳定性有机磷的质量分数随着其粒级的减少而成倍增加, 例如: 中肥旱地 5 ~ 10 μm 粒级的复合体中中等活性有机磷质量分数是 10 ~ 50 μm 粒级的 2.2 倍; 2 ~ 5 μm 粒级的质量分数为 5 ~ 10 μm 粒级质量分数的 2.1 倍; < 1 μm, 1 ~ 2 μm 粒级的质量分数分别为 257.8 μg/g 和 148.1 μg/g。同一土壤复合体中高度稳定性有机磷质量分数随着粒级的增大则明显减少, 如高肥旱地土壤 < 1 μm 粒级的复合体高度稳定性有机磷的质量分

数为 $62.6 \mu\text{g/g}$, $1 \sim 2 \mu\text{m}$, $2 \sim 5 \mu\text{m}$, $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 和 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 粒级的质量分数分别为 41.50, 35.0, 33.2 和 $31.6 \mu\text{g/g}$, 依次减少。

同一粒级的复合体中活性有机磷的质量分数随着土壤肥力水平的增加有逐渐增大的趋势(表3), 例如: 在 $< 1 \mu\text{m}$ 粒级的复合体中活性有机磷的质量分数, 荒地只有 $0.37 \mu\text{g/g}$, 低, 中, 高肥旱地和菜地的质量分数分别为 $14.03, 25.78, 22.02$ 和 $16.37 \mu\text{g/g}$. 同一粒级复合体的中等活性有机磷和中等稳定性有机磷的质量分数随着土壤肥力水平的提高其质量分数成倍或迅速增加, 以 $< 1 \mu\text{m}$ 粒级的复合体为例, 低, 中, 高肥和菜地的中等活性有机磷质量分数分别为 $169.6 \mu\text{g/g}$, $257.8 \mu\text{g/g}$, $797.8 \mu\text{g/g}$ 和 $705.7 \mu\text{g/g}$, 分别是荒地质量分数($46.4 \mu\text{g/g}$)的 3.7 倍, 5.6 倍, 17.2 倍和 15.2 倍; 同一粒级复合体中高度稳定性有机磷随土壤肥力水平的提高也逐渐增大, 但幅度不大, 如以 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 粒级的复合体为例, 荒地的高度稳定性有机磷质量分数为 $11.4 \mu\text{g/g}$, 低, 中, 高肥和菜地的质量分数分别为 $19.1, 36.6, 41.5$ 和 $25.8 \mu\text{g/g}$, 质量分数逐渐增大。

表3 不同肥力复合体中有机磷活性分级

肥力水平	粒径/ μm	AOP		MAOP		MSOP		HSOP		总有机磷	
		w / ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	比例/%	w / ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	比例/%	w / ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	比例/%	w / ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	比例/%	w / ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	比例/%
荒地	< 1	0.37	0.3	46.4	34.2	69.2	51.0	19.6	14.5	135.6	100
	1 ~ 2	0.47	0.5	33.9	35.3	50.2	52.3	11.4	11.9	96.0	100
	2 ~ 5	0.61	1.4	17.0	38.1	24.7	55.4	2.3	5.2	44.6	100
	5 ~ 10	1.91	6.7	13.3	46.3	11.9	41.4	1.6	5.6	28.7	100
	10 ~ 50	0.00	0.0	9.1	46.4	9.1	46.4	1.4	7.1	19.6	100
低肥	< 1	14.03	4.0	169.6	48.9	132.1	38.1	31.0	8.9	346.7	100
	1 ~ 2	10.37	4.6	112.0	49.9	83.1	37.0	19.1	8.5	224.6	100
	2 ~ 5	10.70	7.1	73.5	48.9	48.4	32.2	17.6	11.8	150.2	100
	5 ~ 10	2.47	3.3	38.5	50.9	28.3	37.4	6.4	8.5	75.7	100
	10 ~ 50	0.98	2.8	20.4	58.8	9.1	26.2	4.2	12.7	34.7	100
中肥	< 1	25.78	5.5	257.8	54.8	146.9	31.2	40.3	8.7	470.8	100
	1 ~ 2	5.42	1.9	148.1	51.8	95.9	33.5	36.6	12.8	286.0	100
	2 ~ 5	2.24	1.3	90.5	55.5	54.8	33.6	15.5	9.5	163.0	100
	5 ~ 10	0.77	1.0	43.0	55.7	25.6	33.2	7.8	10.1	77.2	100
	10 ~ 50	0.60	1.6	19.2	52.5	15.5	42.3	1.3	3.6	36.6	100
高肥	< 1	22.02	1.8	797.8	65.4	337.8	27.7	62.6	5.1	1220.2	100
	1 ~ 2	10.00	1.6	405.3	66.5	152.8	25.1	41.5	6.8	609.6	100
	2 ~ 5	12.00	3.0	271.4	68.5	77.6	19.6	35.0	8.8	396.0	100
	5 ~ 10	8.33	4.0	126.6	60.5	41.1	19.6	33.2	15.9	209.2	100
	10 ~ 50	5.03	4.1	65.5	54.0	19.2	15.8	31.6	26.0	121.3	100
菜地	< 1	16.37	1.7	705.7	72.1	228.4	23.3	28.7	2.9	979.2	100
	1 ~ 2	9.72	1.6	450.5	72.9	162.0	21.4	25.8	4.2	618.0	100
	2 ~ 5	6.60	1.8	265.6	73.2	68.5	18.9	22.3	6.1	363.0	100
	5 ~ 10	5.57	2.7	143.8	70.7	41.1	20.2	2.9	5.3	203.4	100
	10 ~ 50	2.24	2.6	54.3	64.6	19.7	23.5	7.8	5.3	84.0	100

1) 比例是指不同活性有机磷占土壤有机磷的百分比

无论是高肥土壤还是低肥土壤复合体中,活性有机磷在其复合体有机磷中所占的比例都不大(表3),不超过8%,但这部分有机磷是能溶于0.5 mol/L NaCO₃而易矿化和易被植物吸收利用的组分,增加该组分的质量分数有利于植物营养。土壤复合体中等活性有机磷占其复合体有机磷的比例大,除了荒地外,其它耕地土壤复合体中等活性有机磷的质量分数占其复合体有机磷的质量分数接近或超过50%,最高可达73.2%;在同一粒级的复合体中中等活性有机磷所占比例随着肥力的提高而增大,如:1~2 μm粒级的复合体中,荒地所占比例为35.3%,低、中、高肥和菜地所占的比例分别为49.9%、51.8%、66.5%和72.9%,这部分有机磷是较易矿化又较易被植物吸收利用的组分,是植物缓效磷素的供应来源。土壤复合体中等稳定性有机磷的质量分数在其土壤有机磷的质量分数中所占的比例为20%~55%,在同一粒级的土壤复合体中,其比例随着土壤肥力水平的提高而逐渐减少,以<1 μm粒级的复合体为例,荒地,低、中、高肥和菜地中所占比例分别为51.0%、38.1%、31.2%、27.7%和23.3%,这部分有机磷是较难矿化又较难被植物吸收利用的有机磷。而高度稳定性有机磷在土壤有机磷中的质量分数尽管随着土壤肥力的提高而增大,但幅度小,在复合体有机磷所占的比例也只有10%左右。

2.3 各级复合体有机磷质量分数占土壤有机磷质量分数的比例

图1为各级复合体中有机磷的质量分数占土壤有机磷质量分数的百分比,可见土壤有机磷主要集中于<1 μm粒级的复合体中(66.8%~74.7%),其他各级复合体中有机磷分别只有5%~10%。

2.4 红壤磷酸酶

土壤有机磷,特别是活性有机磷和中等活性有机磷通过矿化后对作物有效是肯定的,而土壤及其复合体中有机磷的矿化主要是在磷酸酶作用下进行的。因此研究土壤磷酸酶活性大小及它与土壤有机磷的关系很有意义。

2.4.1 红壤磷酸酶活性 表4是土壤磷酸酶活性的测定值,在同一肥力水平的红壤中,3种磷酸酶的活性以酸性磷酸酶的活性最高,中性磷酸酶(除高肥土壤)的活性次之,碱性磷酸酶活性最低。随着土壤肥力水平的提高,3种磷酸酶的活性和磷酸酶的总量也随之增加,特别是荒地土壤磷酸酶的活性大大低于耕种土壤磷酸酶的活性。

表4 土壤磷酸酶的活性¹⁾

g/kg

肥力水平	酸性磷酸酶	中性磷酸酶	碱性磷酸酶	磷酸酶总量
荒地	45.6	36.7	19.9	102.2
低肥	185.8	101.1	55.9	342.8
中肥	172.6	132.4	71.8	376.8
高肥	203.1	161.1	165.9	530.1
菜地	194.8	168.0	115.1	477.9

1)土壤磷酸酶的活性是用每公斤土中的磷酸酶所能氧化的酚的克数表示

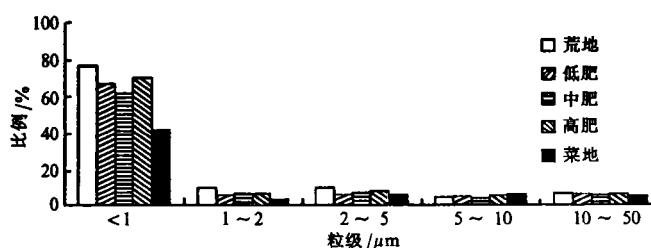


图1 不同粒级复合体有机磷质量分数占土壤有机磷质量分数的百分比

2.4.2 红壤磷酸酶与红壤复合体有机磷的关系 从表5知:土壤磷酸酶总量与土壤活性,中等活性和中等稳定性有机磷有较好正相关(0.967^{**} 、 0.889^* 、 0.987^{**})。更进一步研究表明:土壤磷酸酶与土壤复合体中的活性有机磷没有相关性,与土壤复合体中的中等活性有机磷在 $<1\mu\text{m}$, $2\sim5\mu\text{m}$ 粒级有较好的正相关(0.885^* , 0.889^*),与土壤中等稳定性有机磷在 $<1\mu\text{m}$, $1\sim2\mu\text{m}$, $2\sim5\mu\text{m}$, $5\sim10\mu\text{m}$ 粒级均有很好的正相关(0.894^* 、 0.959^{**} 、 0.992^{**} 、 0.969^{**}),而与高度稳定性有机磷只在 $2\sim5\mu\text{m}$ 粒级复合体中有显著正相关(0.994^{**})。

表5 土壤及其复合体不同活性有机磷与磷酸酶总量的相关系数($n=5$)

有机磷分组	粒径/ μm					全土
	<1	1~2	2~5	5~10	10~50	
活性有机磷	0.882	0.858	0.699	0.703	0.801	0.967 ^{**}
中等活性有机磷	0.885 [*]	0.868	0.889 [*]	0.855	0.868	0.889 [*]
中等稳定性有机磷	0.894 [*]	0.959 ^{**}	0.992 ^{**}	0.969 ^{**}	0.845 ^{**}	0.987 ^{**}
高度稳定性有机磷	0.741	0.813	0.944 [*]	0.785	0.663	0.640

*指 $P<0.05$, $r=0.878$; **指 $P<0.01$, $r=0.959$

上述结果说明:红壤及其复合体中有机磷特别是中等活性有机磷和中等稳定性有机磷的质量分数越高,则土壤磷酸酶的活性越大,这对土壤有机磷的有效性是有利的。

参 考 文 献

- 周礼恺. 1987. 土壤酶学. 北京:科学出版社, 271~273
 贺铁,李世俊. 1987. Bowman-Cole 土壤有机磷分组法探讨. 土壤学报, 24(2):228~235
 鲁如坤. 1980. 土壤磷素(一). 土壤通报,(3):43~47
 Bowman R A, Cole C V. 1978a. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. Soil Sci, 125(1): 95~100

Distribution of the Organic Phosphorus in Red Soil Complexes and Their Correlation with Soil Phosphatase

Gan Haihua Lu Ying Dai Jun

(College of Resources and Environment., South China Agric. Univ., Guangzhou, 510642)

Abstract Complexes in various size fractions from different fertility red soils obtained from Quaternary red clay were separated by ultrasonic dispersion in water. The various active organic phosphorus and phosphatase were analyzed in the paper. The results showed that the amount of organic phosphorus in soils and their complexes became larger with the increase of the fertility of red soils. The red soils and their complexes were dominantly involved in moderately active organic phosphorus (MAOP) and moderately stable organic phosphorus (MSOP), which were 80% of the total organic phosphorus. There was a significantly positive relationship between soil phosphatase and soil complexes phosphorus.

Key words red soil; complex; organic phosphorous; phosphatase

【责任编辑 李玲】