

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; 全磷用高氯酸硫酸溶化, 钼锑抗比色法; 速效磷用 $0.003 \text{ mol/L NH}_4\text{F} - 0.025 \text{ mol/L HCl}$ 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 $22.6 \mu\text{g/g}$, 而低肥和高肥土壤中等活性有机磷分别为 $79.2 \mu\text{g/g}$ 和 $327.0 \mu\text{g/g}$ 。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 $22.8 \mu\text{g/g}$, 低肥和高肥红壤中等稳定有机磷质量分数分别为 $59.3 \mu\text{g/g}$ 和 $84.6 \mu\text{g/g}$ 。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 $13.0 \sim 29.7 \mu\text{g/g}$ 。

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 $0.3\% \sim 2.8\%$ 。

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 $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	比例 ¹⁾ /%	w $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	比例 ¹⁾ /%	w $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	比例 ¹⁾ /%	w $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	比例 ¹⁾ /%	w $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	比例 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 $< 1 \mu\text{m}$ 粒级复合体中活性有机磷质量分数为 $22.02 \mu\text{g/g}$, $1 \sim 2 \mu\text{m}$, $2 \sim 5 \mu\text{m}$, $5 \sim 10 \mu\text{m}$, $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 粒级的质量分数分别为 $10.00, 12.00, 8.33$ 和 $5.03 \mu\text{g/g}$ 。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 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 粒级的复合体中中等活性有机磷质量分数是 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 粒级的 2.2 倍; $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 粒级的质量分数为 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 粒级质量分数的 2.1 倍; $< 1 \mu\text{m}$, $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 粒级的质量分数分别为 $257.8 \mu\text{g/g}$ 和 $148.1 \mu\text{g/g}$ 。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 $< 1 \mu\text{m}$ 粒级的复合体高度稳定性有机磷的质量分

数为 62.6 $\mu\text{g/g}$, 1~2 μm , 2~5 μm , 5~10 μm 和 10~50 μm 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提高有逐渐增大的趋势(表3),例如:在 <1 μm 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 μm 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 1~2 μm 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	比例 ¹⁾	w	比例 ¹⁾	w	比例 ¹⁾	w	比例 ¹⁾	w	比例 ¹⁾
		/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	/%	/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	/%	/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	/%	/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	/%	/ $(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1})$	/%
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	<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
肥	10~50	0.98	2.8	20.4	58.8	9.1	26.2	4.2	12.7	34.7	100
中	<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
肥	10~50	0.60	1.6	19.2	52.5	15.5	42.3	1.3	3.6	36.6	100
高	<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
肥	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	132.0	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	6.3	203.4	100
地	10~50	2.24	2.6	54.3	64.6	19.7	23.5	7.8	9.3	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有机磷分别只有5%~10%.

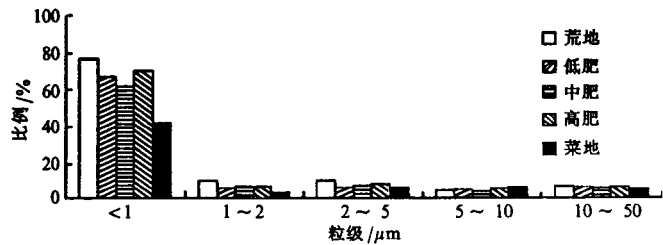


图1 不同粒级复合体有机磷质量分数占土壤有机磷质量分数的百分比

2.4 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⁾

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

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 $< 1 \mu\text{m}$, $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 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 $< 1 \mu\text{m}$, $1 \sim 2 \mu\text{m}$, $2 \sim 5 \mu\text{m}$, $5 \sim 10 \mu\text{m}$ 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 $2 \sim 5 \mu\text{m}$ 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】

广州地区晚造稻田氧化亚氮排放量 与施肥灌溉关系的研究

陈玉芬¹ 杨军¹ 顾尉蓝¹ 伍时照²

(1 华南农业大学生物技术学院, 广州, 510642; 2 华南农业大学农学系)

摘要 晚造水稻生长期田间 N_2O 排放量与施肥类型和灌溉直接相关. 设计 4 种肥料类型. 其 N_2O 的排放通量是化肥:(化肥+猪粪):(化肥+蘑菇肥):猪粪 = 10:2:1:0, 单施化肥小区在整个晚稻生长期 N_2O 持续排放; 稻田淹水时, N_2O 排放量很低, 干水时出现 N_2O 的排放高峰, 施肥后稻田淹水能迅速降低 N_2O 的排放量.

关键词 晚稻; N_2O 排放通量; 有机肥; 尿素; 硝化-反硝化作用

中图分类号 Q 828

氧化亚氮(N_2O)是重要的温室效应气体,它吸收红外线,减少地球表面通过大气向外空的热辐射,导致地表升温. N_2O 是稳定性气体,有研究表明它在空气中的浓度有逐年增加的趋势. N_2O 浓度增加会破坏臭氧层,为保护环境,人们都在积极探索研究如何减少人为因素对 N_2O 增加的影响.

农业生产是 N_2O 排放的一个重要来源,其中,水稻种植过程 N_2O 的排放情况,是近年来国内外研究热点之一. 稻田排放 N_2O 是由土壤中微生物的活动产生的,硝化和反硝化过程是 N_2O 形成的主要机制,环境因素对 N_2O 的形成起决定性的作用. 为保证水稻生长中氮素营养的需要,追施氮肥,硝化-反硝化引起氮素大量损失,既给农业生产带来浪费,又污染环境. 本实验监测不同施肥方式的 N_2O 排放量及排放特征,试图为合理施肥,提高氮肥利用率,减少环境污染提供依据.

1 实验设计

1.1 田间试验

1.1.1 田间小区与施肥 在华南农业大学农学系实验田,选择一块水稻田分为 4 个实验小区,每个小区的面积大约为 166.6 m^2 ,小区布局和区号见图 1,1995 年晚造设计 4 种施肥类型,见表 1,土壤和肥料养分含量见表 2.

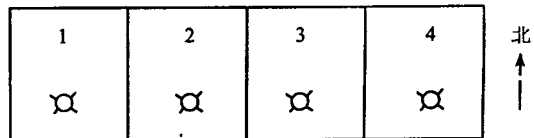


图 1 实验小区布局

1.1.2 水份管理 根据广东种植水稻中普遍采用的间歇灌溉管理模式,水稻营养生长期保持灌水 3~5 cm,幼穗分化期至齐穗期保持灌水 1~2 cm,后期水份干湿.