

菜茶果园红壤微生物量磷与土壤磷以及 磷植物有效性之间的关系研究*

陈国潮 何振立 黄昌勇

(浙江大学土化系, 杭州 310029)

摘 要 对有机质水平差异较大的 7 种菜茶果园红壤和 1 种红壤性水稻土进行了微生物量 P 与土壤 P 以及 P 植物有效性之间的相关性研究。结果表明, 红壤微生物量 P 与土壤全 P、土壤有机 P 以及土壤速效 P 之间存在明显正相关, 相关系数分别为 0.840, 0.897 和 0.944。红壤微生物量 P 尤以与土壤速效 P 关系最为密切, 红壤微生物量 P 有可能作为红壤供 P 能力的一个活指标; 盆栽试验表明, 微生物量 C 与黑麦草产量呈显著正相关, 与黑麦草吸 P 量以及单位黑麦草吸 P 量相关性不明显; 而微生物量 P 与黑麦草产量、黑麦草吸 P 量以及单位黑麦草吸 P 量之间均呈显著正相关, 相关性依次增强; 红壤微生物量 P 在指示土壤植物有效 P 上的作用不仅体现在植物的产量和植物吸 P 量上, 更体现在植物的品质~单位重量植物的吸 P 量上。

关键词 红壤微生物量 P, 土壤全 P, 土壤有机 P, 土壤速效 P, 相关性

中图分类号 S154.39

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力, 它所含的养分 (N、P、S 等) 是植物生长所需养分的一个重要来源^[1~3]。热带-亚热带地区高度风化的酸性红壤, 从矿物释放的养料十分有限, 植物生长所需的养分主要靠外界物质如化肥、有机肥等的投入, 而这些物质大部分是要通过微生物的转化和利用才能被植物所吸收。因此, 土壤微生物在红壤养分循环和转化过程中起着尤为重要的作用。土壤磷作为植物生长的必需养分, 它在红壤中的状况日益受到人们的关注。众所周知, 以可变电荷矿物为主的酸性红壤对磷有较强的固定能力, 外界施入红壤中的磷大部分当季不能被利用^[4], 如何提高红壤磷的利用率是目前许多土壤工作者十分关注的问题^[5,6]。生物学的方法无疑是一条值得探索的途径, 至今, 许多学者已报道通过筛选获得高效解磷菌株, 并对其解磷机理进行了研究^[7~10]。然而, 要将这些高效菌株在实际生产中得到应用较为困难。如果通过有机物质的投入刺激红壤微生物的活性和数量, 增强微生物对红壤磷的转化和循环, 来提高红壤磷的利用率, 那将无疑是一种行之有效的方法。然而, 目前把红壤 P 的植物有效性与土壤微生物联系起来的研究报道很少^[11]。鉴于此, 本试验首先研究红壤微生物量磷与土壤磷 (全 P、速效 P 以及有机 P) 之间的相关性, 探明两者之间的内在联系; 在此基础上, 盆栽试验研究红壤微生物量 P 与植物吸 P 量之间的关系, 以期揭示植物 P 有效性的微生物学本质, 为合

* 本研究由国家自然科学基金项目 (批准号: 49571042) 和欧共体项目 (合同号: CII*-CT93-0009) 资助

收稿日期: 1999-08-17; 收到修改稿日期: 1999-10-08

理地施用磷肥和提高磷肥有效性提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 供试土样

土样采自浙江龙游,为 0~20cm 表层土;选择有机质水平差异较大的 7 种红壤和 1 种红壤性水稻土作为供试土样,其中 No.2 土样母质为红砂石,其余均发育于第四纪红土。土样的基本理化性质见表 1。

1.2 测试方法

表1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic properties of soils tested

土样号 Soil no.	利用方式 Land use	有机碳 Organic C (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	有机磷 Organic P (mg/kg)	有效磷 Available P (mg/kg)	pH (H ₂ O)	微生物量C Microbial biomass C (mg/kg)
1	荒地	1.69	0.19	0.30	97.1	0.85	6.0	22.5
2	菜地	5.10	0.49	0.31	94.4	1.76	4.8	89.4
3	6年桔园	5.25	0.55	0.24	113.2	43.78	6.0	185.2
4	9年桔园	15.1	1.79	0.86	434.1	171.01	5.0	273.6
5	14年桔园	18.2	1.93	1.80	760.2	215.17	4.6	396.5
6	17年水稻田	20.5	1.98	0.75	330.7	120.00	5.1	401.7
7	32年茶叶园	27.4	2.15	0.55	277.8	117.32	4.9	370.4
8	40年茶籽园	34.3	2.97	0.44	167.0	4.11	5.8	390.6

表 1 中有机 C 和全 N 分别采用 K_2CrO_4 氧化-外加热法和半微量开氏法测定^[12]; pH 值采用电位法(土液比为 1:1)^[12]; 微生物量 C 采用熏蒸提取法,熏蒸提取基本参照 Vance 等人的步骤^[13],提取液中 C 采用 TOC—500 总有机碳自动分析仪(日本购置)测定,微生物量 C 计算采用转换系数 K_{EC} 为 0.45。

红壤微生物量 P 的测定采用熏蒸提取法,基本参照 Brookes 等^[14]建议的步骤。鉴于传统的 0.5mol/L $NaHCO_3$ 提取磷不适于酸性红壤, Wu J. 等建议采用 0.025mol/L HCL—0.03 mol/L NH_4F 作为提取剂^[15]。提取液中 P 用紫外分光光度计测定,微生物量 P 的计算采用转换系数 0.4^[16]; 土壤全 P 采用 $HClO_4-H_2SO_4$ 法测定^[12]; 速效 P 采用 0.025mol/L HCL—0.03mol/L NH_4F 法测定^[12]; 有机 P 采用 H_2O_2 氧化法测定^[12]。

黑麦草盆栽试验:将含水量调至 70% 田间持水量的鲜土样 1.5kg 装入瓦盆(高 11cm,直径 15cm)中,一年生黑麦草种子经浸水发芽,均匀播 100 粒发芽的种子于瓦盆中。经 4 天培养后,进行间苗,留下 65 株健壮的苗继续培养。培养过程中不加任何肥料,只用去离子水隔天补充损失的水分。经 40 天培养后,收获黑麦草植株(包括根),洗净附在根、茎、叶上的土粒,在 70℃ 下烘干称重。黑麦草干物质经 1mm 过筛,用 $HNO_3-HClO_4-H_2SO_4$ 三酸混合消化—钒钼黄比色法测定黑麦草吸 P 量^[17]。

2 结果与讨论

2.1 红壤微生物量 P 与土壤全 P、有机 P 及速效 P 之间的关系

土壤全 P 包括无机 P 和有机 P。其中无机 P 的一小部分位于矿物中,这部分 P 几乎不能

被土壤微生物利用;能被土壤微生物利用的主要是占土壤 P 绝大部分的矿物外无机 P 和土壤有机 P。特别是热带-亚热带酸性红壤,矿物风化程度较高,矿物含 P 量总体上相对较低,与土壤微生物发生关系的土壤 P 占居大部分。由此,很有可能造成红壤微生物 P 与土壤全 P 之间具有比其他类型土壤更为密切的关系。我们的试验表明(图 1),八个土样的微生物量 P 与土壤全 P 之间具有明显的相关性,相关系数为

0.7057,达显著水平;撇开红壤性水稻土,其余 7 种红壤两者之间的相关性更明显,相关系数达 0.855,这一结果证实了我们前面的分析。红壤微生物量 P 与土壤全 P 的这种相关性有可能为红壤 P 素状况的判断提供了一条生物学途径,同时也可指导合理施用 P 肥。

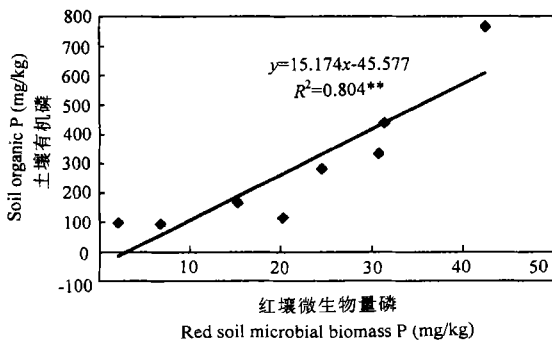


图2 红壤微生物量磷与土壤有机磷

Fig.2 Microbial biomass P and organic P in red soils

收利用,而这一过程主要是通过土壤微生物的降解来实现。作为土壤有机 P 一部分的土壤微生物 P,在土壤有机 P 的微生物分解过程中,自身也在不断更新。可以说,土壤微生物 P 是土壤有机 P 转变为植物吸收 P 的一个枢纽和重要途径,两者之间存在一定的依赖关系。图 2 显示,土壤微生物量 P 与土壤有机 P 之间呈显著正相关,相关系数为 0.804;撇开红壤性水稻土,其余 7 种红壤微生物量 P 与土壤有机 P 之间相关性更明显,相关系数达 0.911。这也进一步表明,红壤微生物 P 与土壤有机 P 之间可能存在某种动态平衡,这种动态平衡也正是土壤有机 P 转化和循环以及植物吸收 P 的需要。

土壤速效 P 是土壤中直接能被植物吸收利用的那部分土壤 P。速效 P 含量的高低决定了土壤供 P 能力。土壤全 P 含量很低的情况下,土壤中速效 P 的供应也常显不足;然而,全 P 含量较高的土壤,其速效 P 含量未必较高,未必能满足当季作物生长的需要。如我国北方大面积发育黄土性母质的石灰性土壤,其土壤中全 P 含量均在 0.13%~0.16% 之间,有的甚至更高,但由于土壤中大量游离 CaCO_3 的存在,大部分 P 成为难溶性的磷酸钙盐,能被作物吸收利用的有效 P 含量很低,当施用磷肥时则有明显的增产效果。而我国南方

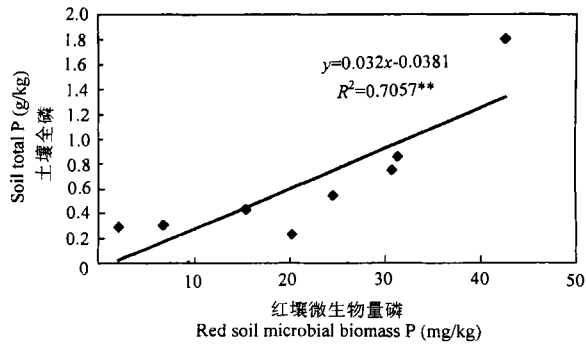


图1 红壤微生物量磷与土壤全磷

Fig.1 Microbial biomass P and total P in red soils

土壤有机 P 是土壤 P 的重要组成部分,土壤有机 P 含量与土壤有机 C、有机 N 含量有正相关性。在一般土壤中,C:N:P 比例约为 110:9:1。通过有机 P 可以来判断土壤有机质和有机 N 的含量,从而基本了解土壤有机成份的含量。此外,有机 P 还是植物生长所需 P 的一个重要给源^[18]。我们知道,土壤有机 P 主要以磷脂、核酸和植素的形式存在,其中又以以后两者为主要存在形态。核酸和植素绝大部分须被分解为无机 P 后,才能被植物吸

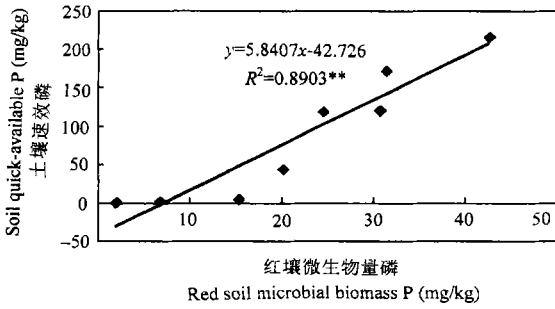


图3 红壤微生物量磷与土壤速效磷

Fig.3 Microbial biomass P and rapidly available P in red soils

的酸性红壤,全P量相对北方土壤偏低,再加上酸性红壤对P的极强吸附能力,使原本较少的速效P变得更为有限。因此,除全P、有机P分析外,更应了解速效P的情况。Smith等^[1]和Chapman等^[19]研究表明,土壤微生物所含的N、P、S与土壤速效N、P、S之间存在平衡关系。我们的试验结果证实了这一点,图3显示,土壤微生物量P与土壤速效P之间呈极显著相关,相关系数为0.8903;撇开红壤性水稻土,其余7种红壤两者之间的相关系数也达0.946,明显高于红壤微生物P与土壤全P、有机P之间的相关性,表明与红壤微生物P发生密切关系的主要是土壤速效P。红壤微生物量P与土壤速效P的显著相关性提示:一方面,红壤微生物量P能指示红壤P素供应能力,可以作为红壤P肥的活指标;另一方面,红壤P的利用率普遍较低,要提高红壤P的利用率,可通过提高红壤微生物P量来实现。通过刺激红壤微生物的生长,加强微生物对红壤P的转化利用,从而增加土壤速效P,以满足红壤上植物生长对P素的需求。

2.2 红壤微生物量P与P植物有效性之间的关系

目前,就土壤微生物量与作物产量之间的相关性研究不多。Insam^[20]等研究表明,作物产量与土壤微生物量C之间具有较好的相关性。这一结果的发现为土壤肥力的微生物学指标提供了有力的证据。磷作为植物生长必需的养分,其植物有效性问题一直受到土壤科学工作者的重视。特别对于有较强磷固定能力的酸性红壤,土壤微生物在磷的植物有效性方面起着尤为重要的作用。盆栽试验结果显示(表2, 3),红壤微生物量P与黑麦草干物质量呈正相关,相关系数为0.789,黑麦草干物质量表现出随红壤微生物量P的增加而增加的趋势。

表2 红壤微生物量P、黑麦草干物质量以及黑麦草吸P量

Table 2 Red soil microbial biomass P, dry matter yield of ryegrass and ryegrass P uptake

土样号	红壤微生物量P	占土壤全磷	微生物量	黑麦草干物质量	黑麦草吸P量	单位重量黑
Soil no.	Red soil microbial	百分量(%)	C/P比	Ryegrass dry	Ryegrass P uptake	麦草吸P量
	biomass P	% in total P	Microbial biomass	matter yield	(mg/pot)	P uptake per unit
	(mg/kg)		C/P	(g)		weight of ryegrass
						(mg/g ryegrass)
1	2.1	0.7	10.7	1.25	1.698	1.358
2	6.8	2.2	13.1	1.02	1.290	1.265
3	20.21	8.4	9.2	1.61	5.218	3.241
4	31.45	3.7	8.7	1.58	7.919	5.012
5	42.68	2.4	9.3	2.84	17.56	6.183
6	30.79	4.1	13.0	2.08	6.186	2.974
7	24.57	4.5	15.1	1.38	5.977	4.331
8	15.32	3.5	25.5	1.96	3.152	1.608

表3 红壤微生物量C和P与土壤P及黑麦草吸P量之间的相关性

Table 3 Relationships between red soil microbial biomass C or P and soil P or ryegrass P uptake

项 目	土壤全P	速效P	有机P	黑麦草	黑麦草	单位重量
Item	Soil total P	Rapidly available P	Organic P	干物质量	吸P量	黑麦草吸P量
				Dry matter yield of ryegrass	ryegrass P uptake	P uptake per unit weight of ryegrass
红壤微生物量P	0.840**	0.944**	0.897**	0.789*	0.895**	0.910**
红壤微生物量C	0.568	0.615	0.611	0.720*	0.587	0.562

*表示5%水平;**表示1%水平

势。红壤微生物量P与黑麦草吸P量之间则有更好的相关性,相关系数为0.895,达极显著水平。这进一步表明红壤微生物量P可以作为红壤供P能力的一个有效指标。如果我们从红壤微生物量P和单位重量黑麦草吸P量之间的相关加以分析,则更能说明红壤微生物量P在指示P植物有效性方面的作用。从表3可以看出,两者之间相关性更明显,相关系数为0.910,数值上都较红壤微生物量P与黑麦草干物质量以及黑麦草吸P量之间相关系数大。这有力地说明了一个问题,红壤微生物量P在指示红壤P的植物有效性方面不仅体现在植物产量,植物吸P量上,而更明显体现在植物的品质~单位重量植物吸P量上。

盆栽试验还表明,红壤微生物量C也与黑麦草干物质量呈显著正相关,这与Insam等^[20]报道的结果一致;但与黑麦草吸P量、单位重量黑麦草吸P量等无明显相关,很显然,黑麦草吸P量取决于土壤有效P量,而与微生物量C无直接关系。

参 考 文 献

- Smith J L, Paul E A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: Jean-Marc Blooag and G Stotzky eds. Soil Biochemistry (Volume 6). New York: Marcel Dekker, INC. 1991. 359~396
- Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Phosphorus in the soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem., 1984, 16:169~175
- 高云超,朱文珊,陈文新. 土壤微生物生物量周转的估算. 生态学杂志, 1993, 12(6): 6~10
- He Z L, Yuan K N, Zhu Z X. Effect of organic ligands on phosphate desorption. Pedosphere 1992, 2:1~11
- He Z L, Yang X, Zhu Z X. Desorption and plant availability of phosphate sorbed onto some important variable-charge minerals. Plant and Soil, 1994, 162:89~97
- Goldberg S, Sposito G. On the mechanisms of specific phosphate adsorption by hydroxylated mineral surfaces: a review. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1985, 16:801~821
- Kim K Y, McDonald G A, Jordan D. Solubilization of hydroxyapatite by Enterobacter agglomerans and cloned Escherichia coli in culture medium. Biol. Fertil. Soils, 1997, 25:1~6
- Asea P E A, Kucey R M N, Stewart J W B. Inorganic phosphate solubilization by two Penicillium species in solution culture and soil. Soil Biol. Biochem., 1988, 20:459~464
- Illmer P, Barbato A, Schinner F. Solubilization of hardly-soluble $AlPO_4$ with P-solubilizing microorganism. Soil Biol. Biochem., 1995, 27:265~270
- Illmer P, Schinner F. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils. Soil Biol. Biochem., 1992, 24:389~395
- Yang X, Werner W, Sun X.. Effect of organic manure on solubility and mobility of different phosphate fertilizers in red soils. Fertil. Res., 1994, 38:233~238

12. 南京农学院主编. 土壤农化分析. 北京: 农业出版社, 1982. 38, 48, 63~65, 68~69, 77, 108
13. Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 19:703~707
14. Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 1982, 14:319~329
15. Wu J, He Z L, O' Donnell A G, Syers J K. Measurement of microbial biomass phosphorus in acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* (in press)
16. Hedley M J, Stewart J W B. Method to measure microbial biomass phosphorus in soils. *Soil Biol. Biochem.*, 1982, 14:377~385
17. 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科技出版社, 1983. 360~364
18. Tarafdar J C, Claassin N. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. *Biol. Fertil. Soils*, 1988, 3:308~312
19. Chapman S J. Microbial sulfur in some Scottish soils. *Soil Biol. Biochem.*, 1987, 9:301~305
20. Insam H, Mitchell C C, Dornaar J F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three Ultisols. *Soil Biol. Biochem.*, 1991, 23:459~464

STUDY ON RELATIONSHIPS AMONG MICROBIAL BIOMASS P, SOIL P AND PLANT-AVAILABILITY OF P IN RED SOILS

Chen Guo-chao He Zhen-li Huang Chang-yong

(*Department of Soil Science and Agricultural Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310029*)

Summary

8 red soils differing in fertility levels were tested to study the relationships between soil microbial biomass P and soil P or P plant-availability. The results showed that red soil microbial biomass P was closely related with soil total P, soil organic P and soil rapidly available P. Relative coefficients were 0.840, 0.897 and 0.944, respectively. Especially, the significant relation of red soil microbial biomass P to soil rapidly available P suggested that red soil microbial biomass P may act as an indicator of P-supply ability. Greenhouse incubation experiments showed that red soil microbial biomass P was also closely related with ryegrass dry matter yield, ryegrass P uptake and P uptake per unit weight of ryegrass. Relative coefficients were 0.789, 0.895 and 0.910, respectively, which indicated that P plant-availability of red soil microbial biomass P was not only reflected on ryegrass dry matter and plant P uptake, but also more obviously reflected on P uptake per unit weight of plant.

Key words Red soil microbial biomass P, Soil total P, Soil organic P, Soil rapidly available P, Relationship