

# 有机物料对水旱轮作红壤磷素微生物转化的影响\*

黄敏<sup>1,2</sup> 肖和艾<sup>2</sup> 黄巧云<sup>1</sup> 李学垣<sup>1</sup> 吴金水<sup>2</sup>

(1 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

(2 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125)

**摘要** 室内培养研究了添加有机物料后水旱轮作红壤的微生物生物量变化和磷素转化状况。结果显示, 加 5 g kg<sup>-1</sup> 葡萄糖(G5)、5 和 10 g kg<sup>-1</sup> 稻草(S5、S10) 处理的土壤微生物生物量碳(MB-C) 在前 3 d 大幅度增加(215%、74%、163%); 此后 G5 和 S10 处理的 MB-C 经过一个下降阶段(3~14 d 和 3~7 d) 后转为稳定; 而 S5 处理的 MB-C 基本保持稳定。G5 和 S10 处理的土壤微生物生物量磷(MB-P) 分别在前 3 d 或 7 d 大幅度提高, 此后基本稳定; S5 处理的 MB-P 一直保持稳定, 但到培养结束时(43 d) 比对照约高 1 倍。G5 处理的土壤提取磷(鲜土; Olsen 法) 在前 3 d 内显著下降, 此后基本稳定; S5 和 S10 处理的提取磷基本稳定(略低于对照)。在第 43 天, G5 处理土壤的 Al、Fe 结合态磷含量和固定态无机磷总量显著减少, 说明添加有机物料在提高土壤微生物生物量和磷素吸收的同时, 促进了固定态无机磷特别是 Al、Fe 结合态磷的活化。进一步分析发现经过微生物利用的磷约有 30% 以上被转化到有机磷库中。

**关键词** 红壤; 有机物料; 微生物生物量; 磷; 微生物转化

中图分类号 S154.36 文献标识码 A

磷素在土壤中经历着一系列复杂的化学过程, 其中大部分转化为难被植物利用的难溶态磷, 导致磷肥的作物利用率普遍不高。由于播种指数和单产的提高, 我国耕作土壤的磷素供应普遍不足, 需要大量施用磷肥。红壤以高岭石及铁、锰、铝的氧化物等可变电荷矿物为主, 对磷的固定作用尤其强烈, 磷肥的当季作物利用率很低(10%~25%)<sup>[1, 2]</sup>。在我国南方农业发达地区, 长期大量施用磷肥带来严重的环境风险(如水体富营养化)问题已日趋严重。如何抑制土壤中磷的固定过程, 提高磷肥的作物利用率, 从减少磷肥使用量是一个重要的科学问题。已往的大量研究明确了土壤磷的形态、化学转化过程与无机固定机理<sup>[3, 4]</sup>。微生物利用和转化亦是土壤中磷素转化的主要途径, 可能对土壤磷的有效性有重要影响<sup>[5, 6]</sup>, 但迄今仅有少量报道。本研究选择磷固定能力较强的红壤, 通过分析添加有机物料培养后土壤微生物生物量碳、微生物生物量磷和 Olsen 法提取磷的动态变化, 以及 Fe、Al、Ca 结合态磷和闭蓄态磷组分的变化, 以期阐明微生物在红壤磷素转

化与活化中作用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

选择位于湖南桃源的第四纪红土母质发育的水旱轮作红壤, 于晚稻分蘖初期采 0~20 cm 表层土样, 风干至含水量大约相当于饱和持水量(WHC)的 40%, 除去可见的植物残体和动物, 过 2 mm 筛, 25℃ 和恒湿下预培养 7 d 后备用。土壤的有机碳、全氮和全磷含量分别为 7.33 g kg<sup>-1</sup>、0.96 g kg<sup>-1</sup> 和 0.53 g kg<sup>-1</sup>, 提取磷(Olsen 法)含量 13.86 mg kg<sup>-1</sup>; 蒸馏水和 1 mol L<sup>-1</sup> KCl 浸提(土水比 1:2.5, w/v) 土壤 pH 分别为 5.9 和 5.1。供试稻草 35℃ 烘干, 磨碎, 其碳、氮和磷含量分别为 400 g kg<sup>-1</sup>、6.83 g kg<sup>-1</sup> 和 1.28 g kg<sup>-1</sup>。葡萄糖为分析纯试剂, 其有机碳含量为 400 g kg<sup>-1</sup>。

### 1.2 试验方法

设置对照(CK; 无有机物料)、5 g 葡萄糖 kg<sup>-1</sup>

\* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-426)、国家杰出青年科学基金(49925102)和国家重点基础研究发展规划项目(G1999011802)联合资助

- 通讯作者, Tel: 0731-4615224; E-mail: jswu@isa.ac.cn

作者简介: 黄敏, 女, 湖北荆州人, 在读博士生, 研究方向为土壤生物化学与养分循环

收稿日期: 2003-07-17; 收到修改稿日期: 2003-12-27

(G5)、5 g 稻草  $\text{kg}^{-1}$  (S5) 和 10 g 稻草  $\text{kg}^{-1}$  (S10) 4 个处理; 4 次重复, 各用 1 份 1 000 g 烘干基的预培养鲜样。葡萄糖配置成 15% 溶液加入到土样, 稻草直接与土样混后。全部土样用 1% 硫酸铵溶液补充 N 50  $\text{mg kg}^{-1}$ , 再用蒸馏水将水分含量调节至 45% WHC, 分别装入 2.5 L 塑料瓶后一起置于 100 L 塑料桶(底部有少量水和 1 小杯  $1 \text{ mol L}^{-1}$  NaOH 以保持 100% 湿度和吸收  $\text{CO}_2$ ), 密闭后于  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  下培养 43 d, 期间每 3 d 通风换气一次以保证微生物充足的氧气供应。每份土样于培养第 0、3、7、11、14、21、30 和 43 天取 100 g 样品用于分析土壤微生物生物量碳(MB-C)、微生物生物量磷(MB-P)和提取磷, 并在培养结束时分析土壤 Al、Fe、Ca 结合态磷和闭蓄态磷(O-P)含量。

### 1.3 分析方法

土壤微生物生物量碳(MB-C): 采用 Wu 等<sup>[7]</sup>的方法测定。2 份土样(10.0 g 烘干基)在真空干燥器中用去乙醇氯仿蒸汽熏蒸 24 h, 再反复抽真空除去残留的氯仿; 另 2 份不熏蒸, 全部用 40 ml  $0.5 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{K}_2\text{SO}_4$  提取(振荡 30 min), 过滤。TOC 自动分析仪(Phoenix 8000)测定有机碳。

土壤微生物生物量磷(MB-P): 采用改进的 Brookes 等<sup>[8]</sup>的方法测定。称取 4 份土样(4.0 g 烘干基), 其中 2 份按上述方法熏蒸, 另 2 份不熏蒸。全部用 80 ml  $0.5 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{NaHCO}_3$  (pH 8.5) 提取(振荡 30 min), 过滤。Murphy 和 Riley 法<sup>[9]</sup>显色, 分光光度计法(UV8500-II 型)测定无机磷。外加培养微生物生物量磷的回收率作为转化系数计算土壤 MB-P<sup>[10]</sup>。

土壤固定态无机磷分组: 采用 Chang-Jackson 法<sup>[10~13]</sup>测定。先用  $1.0 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{Cl}$  除去水溶性磷, 再分别用  $0.5 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{NH}_4\text{F}$ 、 $1 \text{ mol L}^{-1}$  NaOH、 $0.3 \text{ mol L}^{-1}$  柠檬酸钠-连二亚硫酸钠、以及  $0.5 \text{ mol L}^{-1}$   $\text{H}_2\text{SO}_4$  依次提取 Al 结合态磷(Al-P)、Fe 结合态磷(Fe-P)、闭蓄态磷(O-P)和 Ca 结合磷态(Ca-P), 采用上述比色测定。

土壤和稻草的碳、氮和磷分别采用  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  氧化法、半微量开氏法和 NaOH 熔融法测定<sup>[13]</sup>。本研究土壤提取磷(鲜土, Olsen 法)直接采用上述不熏蒸的结果。

### 1.4 数据处理

采用 Excel 2000 和 SAS for Windows(6.12) 进行数据处理与统计分析(方差分析和显著性检验)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤微生物生物量对加入有机物料的反应

土壤微生物生物量通常用微生物生物量碳(MB-C)表示<sup>[5, 6, 14, 19]</sup>。如图 1 所示, 在 43 d 培养期内, 无有机物料对照(CK)处理的土壤 MB-C 的波动范围较小( $137 \sim 196 \text{ mg kg}^{-1}$ )。加 5 g 葡萄糖  $\text{kg}^{-1}$  (G5)、5 g 稻草  $\text{kg}^{-1}$  (S5) 和 10 g 稻草  $\text{kg}^{-1}$  (S10) 处理的土壤 MB-C 在第 3 天达到最大测定值, 并与 CK 相比分别提高了 215%、74% 和 163%。在 3~14 d 期间, G5 处理的土壤 MB-C 下降了 34.0%; 之后保持稳定。S10 处理的土壤 MB-C 在 3~7 d 期间也有所下降(22.6%), 之后处于相对稳定状况, 尽管仍然有所波动( $320 \sim 400 \text{ mg kg}^{-1}$ )。从第 3 天起, S5 处理的土壤 MB-C 基本维持在接近其最大值的稳定水平。这些结果表明加有机物料在一定时间内能够有效地促进土壤微生物的生长, 提高其生物量, 并且在加入量相等的情况下, 简单的易分解有机物料(葡萄糖)对土壤微生物生物量的提高作用比复杂的有机物料(稻草)的大。这与以往的研究结果一致<sup>[14~16]</sup>。

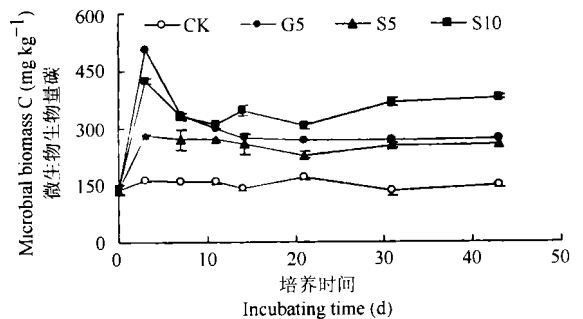


图 1 各处理土壤微生物生物量碳动态变化

(CK: 对照(无有机物料); G5: 5 g 葡萄糖  $\text{kg}^{-1}$ ; S5: 5 g 稻草  $\text{kg}^{-1}$ ; S10: 10 g 稻草  $\text{kg}^{-1}$ )

Fig. 1 Changes in soil microbial biomass C under different treatments (CK: Control (Without adding organic material), G5: 5 g glucose  $\text{kg}^{-1}$ ; S5: 5 g straw  $\text{kg}^{-1}$ ; S10: 10 g straw  $\text{kg}^{-1}$ )

土壤微生物以异养型种群为主, 其生命活动过程需要消耗一定的能量。添加有机物料后的短期内, 由于可供利用的能量充足, 土壤微生物生长处于活跃阶段, 但这种增加效应因有机物料的不同种类而异。S5 的外加有机碳量与 G5 的接近, 但对土壤 MB-C 的最大增量(比 CK 高 0.7 倍)仅为 G5 的 1/3。S10 的外加有机碳是 G5 的 2 倍, 对土壤 MB-C 最大增量仍比 G5 小。据 Brenner 等<sup>[15]</sup>研究, 葡萄糖加

入土壤 3d 内即被微生物彻底降解和利用。而以木质素、纤维素和半纤维素为主要成分的稻草,其分解速度显然慢于葡萄糖。培养后期各处理的微生物对碳的分解速率缓慢并且相对稳定,因而土壤微生物生物量在较低的水平上保持稳定状态。

## 2.2 有机物料对土壤微生物生物量磷的影响

土壤微生物在加入有机物料后的快速生长繁殖过程中需要吸收更多的磷,并以微生物生物量磷(MB-P)的形式暂时固定到细胞内<sup>[6, 17, 19]</sup>。在 43 d 培养期内,对照(CK)处理的土壤 MB-P 呈现逐渐降低的趋势(图 2)。G5 处理的土壤 MB-P 在前 3 d 急剧增加,之后除在第 20 天的测定值偏高外,基本呈稳定态势,但与 CK 处理的差异逐步增加(由第 3 天的  $4.5 \text{ mg kg}^{-1}$  增加到第 43 天的  $7.7 \text{ mg kg}^{-1}$ )。S5 处理的土壤 MB-P 在前 7 d 略有增加(不显著),此后一直保持稳定,到第 43 天却比 CK 处理高  $4.0 \text{ mg kg}^{-1}$ 。S10 处理的土壤 MB-P 在

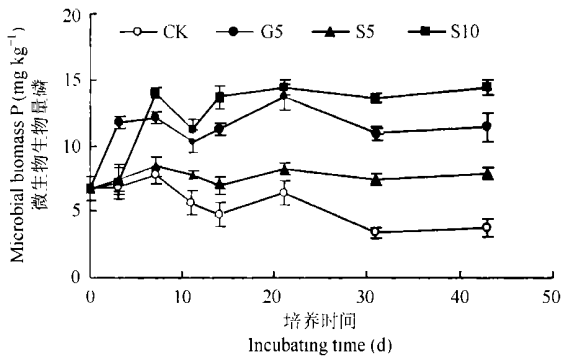


图 2 各处理土壤微生物生物量磷动态变化

(CK: 对照(无有机物料); G5:  $5 \text{ g 葡萄糖 kg}^{-1}$ ;

S5:  $5 \text{ g 稻草 kg}^{-1}$ ; S10:  $10 \text{ g 稻草 kg}^{-1}$ )

Fig. 2 Changes in soil microbial biomass P under different treatments

(CK: Control (Without adding organic material), G5:  $5 \text{ g glucose kg}^{-1}$ ;

S5:  $5 \text{ g straw kg}^{-1}$ ; S10:  $10 \text{ g straw kg}^{-1}$ )

3~7d 大幅度增加,此后除在第 11 天的测定值偏低外,基本保持稳定。

值得进一步讨论的是,土壤 MB-C 和 MB-P 对加入有机物料的反应存在明显的差别(图 1、图 2),主要表现在 G5 和 S10 处理在土壤 MB-C 下降过程中(3~14 d) MB-P 仍然保持基本稳定,直至培养结束。另一重要现象是,尽管在培养后期 G5 处理与 S5 处理(加入的有机碳量基本相等)的土壤 MB-C 无显著差异,但 G5 处理的 MB-P 却显著高于后者。G5 处理没有外加磷,土壤微生物只能利用土壤磷形成土壤 MB-P; 而稻草含有少量的磷( $0.128\%$ ),可以在矿化后成为可供微生物利用的磷源。导致这一现象的主要原因可能是由于 G5 处理在前 3 d 微生物生物量迅速增加过程中利用了比 S5 处理较多的磷(图 2)。在整个培养期内, S10 处理与 S5 处理的土壤 MB-P 的差异也基本保持不变,尽管 S10 处理的 MB-C 有一明显的下降过程,而 S5 的 MB-C 保持相当稳定。这些结果说明土壤微生物在生长繁殖过程中对磷的利用主要取决于生物量的扩大,并且土壤微生物对磷的固持比保持自身的生物量持久,因此可能对作物利用的潜力较大。

土壤微生物生物量碳磷比(MB-C/P)值能反映土壤微生物对土壤磷有效性的调节作用<sup>[5]</sup>。CK 处理由于 MB-P 逐渐下降导致 MB-C/P 值逐步升高(图 2、表 1)。加有机物料各处理的 MB-C/P 值在第 3 天都比 CK 处理的有明显升高(表 1),说明在加有机物料后的培养初期,土壤微生物对有机碳的同化作用比对磷的同化作用强烈。在此后的培养过程中, G5 和 S10 处理的 MB-C/P 值逐渐下降,主要是由 MB-C 的下降所引起的; 而 S10 处理的 MB-C/P 值比较稳定。到 31 d 后,全部加有机物料处理的 MB-C/P 值而都比 CK 的低。

表 1 各处理土壤微生物生物量 C/P 动态变化

Table 1 Changes in the C/P ratio of soil microbial biomass under different treatments

处理 <sup>1)</sup> Treatment	土壤微生物生物量 C/P 值 Microbial biomass C/P ratio in the soils						
	3 d	7 d	11 d	14 d	21 d	31 d	43 d
CK	23.7	20.5	28.4	29.3	26.8	38.9	39.1
G5	43.3	27.6	28.8	24.2	19.5	24.4	23.6
S5	37.9	31.8	34.4	37.3	27.8	34.1	32.1
S10	58.7	23.6	27.6	25.2	21.2	27.0	26.2

1) CK: 对照(无有机物料); G5:  $5 \text{ g 葡萄糖 kg}^{-1}$ ; S5:  $5 \text{ g 稻草 kg}^{-1}$ ; S10:  $10 \text{ g 稻草 kg}^{-1}$  CK: Control (Without adding organic material), G5:  $5 \text{ g glucose kg}^{-1}$ ; S5:  $5 \text{ g straw kg}^{-1}$ ; S10:  $10 \text{ g straw kg}^{-1}$

### 2.3 加入有机物料对土壤提取磷的影响

土壤提取磷(鲜土, Olsen 法)是对植物最有效的磷素形态。如图 3 所示, 在培养期间, CK 处理的土壤提取磷基本稳定(10.6~12.1 mg kg<sup>-1</sup>); G5 处理的土壤提取磷在前 3 d 内显著下降(3.5 mg kg<sup>-1</sup>), 之后亦保持稳定。这就进一步佐证了前面论述的土壤微生物生物量在快速扩大过程中对土壤有效磷的同化作用。但值得注意的是, G5 处理的土壤提取磷的减少量(最大值为 3.5 mg kg<sup>-1</sup>)明显比 MB-P 的增加量(最大值为 7.5 mg kg<sup>-1</sup>)小。S5 和 S10 处理的土壤提取磷在第 3 天比 CK 的略高(S10 处理达到统计显著水平), 但从第 11 天起比 CK 的略低(S10 处理在 14 d 后达到统计显著水平)。这可能是前期有少量稻草磷释放, 而在后期由于稻草的 C/P 较高(340), 所释放的磷不能满足微生物的需要有关。但

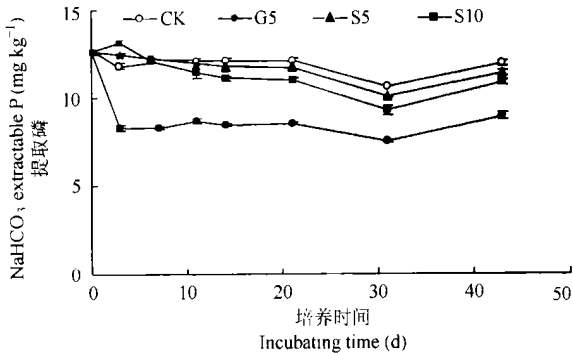


图 3 各处理土壤提取磷(Olsen 法)动态变化(CK: 对照(无有机物料); G5: 5 g 葡萄糖 kg<sup>-1</sup>; S5: 5 g 稻草 kg<sup>-1</sup>; S10: 10 g 稻草 kg<sup>-1</sup>)

Fig. 3 Changes in Olsen-P of the soil under different treatments (CK: Control (Without adding organic material), G5: 5 g glucose kg<sup>-1</sup>; S5: 5 g straw kg<sup>-1</sup>; S10: 10 g straw kg<sup>-1</sup>)

两个处理的土壤提取磷含量与 CK 处理的差别都很小(< 1 mg kg<sup>-1</sup>), 说明加稻草所增加的土壤 MB-P (图 1)主要来源于稻草磷的矿化, 而对土壤本身的提取磷影响较小。

### 2.4 土壤固定态无机磷的微生物转化

根据测定结果, 本研究采用的水旱轮作土壤的固定态无机磷以闭蓄态磷(O-P)和 Fe 结合态磷(Fe-P)为主, 大约各占无机磷总量 40%, Ca 结合态磷(Ca-P)和 Al 结合态磷(Al-P)的含量较低(表 2)。在 43 d 培养结束时, G5 处理的土壤 Al-P、Fe-P 和固定态无机磷总量分别比 CK 处理的减少 3.8 mg kg<sup>-1</sup> ( $p < 0.01$ )、10.9 mg kg<sup>-1</sup> ( $p < 0.05$ ) 和 11.1 mg kg<sup>-1</sup> ( $p > 0.05$ ), 但 O-P 略有增加( $p > 0.05$ ), Ca-P 无明显变化。说明在无外源磷供应的情况下, 土壤微生物生物量(MB-C)在扩大过程中不仅直接利用有效态的无机磷(Olsen 法提取磷), 并且能够通过活化和利用 Al-P 和 Fe-P 形成 MB-P。与 CK 处理相比, S5 处理土壤的 4 种固定态无机磷(Al-P、Fe-P、Ca-P 和 O-P)含量都无显著性差异; S10 处理 Al-P 和 Fe-P 明显减少( $p < 0.05$ )。这可能是由于微生物优先利用稻草分解释放的磷, 或者是稻草释放的磷被转化为固定态无机磷的结果。

表 3 列出了培养结束时 3 种加有机物料处理土壤 MB-P、提取磷(Olsen 法)和固定态无机磷(Al-P、Fe-P、Ca-P、O-P 及其总量)的变化(与 CK 处理的差值)。从中可以看出, 加有机物料处理的提取磷和固定态无机磷减少量与外源磷的总和是土壤 MB-P 增量的 1.8~2.2 倍, 说明被微生物利用的磷(包括提取磷、固定态无机磷和外源磷)中有相当一部分(45%~54%)被转化为有机磷。

表 2 第 43 天各处理土壤无机磷组分含量及相对百分数

Table 2 Contents and relative percentages of fixed inorganic P in the soil under different treatments at the 43 d

处理 <sup>1)</sup> Treatment	固定态无机磷 Fixed inorganic P (mg kg <sup>-1</sup> )				Total	占固定态无机磷总量的百分数 Percentage of the total (%)			
	Al-P	Fe-P	O-P	Ca-P		Al-P	Fe-P	O-P	Ca-P
CK	19.7	112.5	113.7	37.0	282.9	7.0	39.8	40.2	13.1
G5	15.9 <sup>*</sup>	101.6 <sup>*</sup>	117.1	37.3	271.8	5.8	37.4	43.1	13.7
S5	19.3	107.9	118.9	34.9	281.1	6.9	38.4	42.3	12.4
S10	18.3 <sup>*</sup>	104.6 <sup>*</sup>	116.0	36.7	275.7	6.7	37.9	42.1	13.3

1) CK: 对照(无有机物料); G5: 5 g 葡萄糖 kg<sup>-1</sup>; S5: 5 g 稻草 kg<sup>-1</sup>; S10: 10 g 稻草 kg<sup>-1</sup> CK: Control (Without adding organic material), G5: 5 g glucose kg<sup>-1</sup>; S5: 5 g straw kg<sup>-1</sup>; S10: 10 g straw kg<sup>-1</sup>

符号\* 和\*\* 分别表示该值与 CK 值的差异达显著( $p < 0.05$ )和极显著( $p < 0.01$ ) Symbols \* and \*\* indicate the difference between the value and that of CK was statistically significant at  $p < 0.05$  and  $p < 0.01$

表3 加有机物料培养43天后对土壤微生物生物量磷、提取磷(Olsen法)和固定态无机磷的影响<sup>1)</sup>

Table 3 Effects of the amendment of organic materials on soil microbial biomass P, Olsen-P, and fixed inorganic P as measured at 43 d

处理 <sup>2)</sup> Treatment	外源磷	微生物生物量磷	提取磷	无机磷				Total
	P added	MB-P	Olsen-P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca-P	
G5	0	+ 7.7 <sup>**</sup>	- 3.0 <sup>*</sup>	- 3.8 <sup>**</sup>	- 10.9 <sup>**</sup>	+ 3.4	- 0.3	- 11.6 <sup>**</sup>
S5	6.4	+ 4.1 <sup>**</sup>	- 0.6	- 0.4	- 4.6	+ 5.2	- 2.1	- 1.9
S10	12.8	+ 10.6 <sup>**</sup>	- 1.1	- 1.4 <sup>*</sup>	- 7.9 <sup>*</sup>	+ 2.3	- 0.3	- 7.3 <sup>*</sup>

1) 数值为加有机物料与CK之差 Values are the differences between the amendment treatments and the control (CK);

2) G5: 5 g 葡萄糖 kg<sup>-1</sup>; S5: 5 g 稻草 kg<sup>-1</sup>; S10: 10 g 稻草 kg<sup>-1</sup> CK: Control (Without adding organic material), G5: 5 g glucose kg<sup>-1</sup>; S5: 5 g straw kg<sup>-1</sup>; S10: 10 g straw kg<sup>-1</sup>

符号\* 和\*\* 分别表示该值与CK值的差异达显著( $p < 0.05$ )和极显著( $p < 0.01$ ) Symbols \* and \*\* indicate the difference between the value and that of CK was statistically significant ( $p < 0.05$ ) and significant ( $p < 0.01$ )

### 3 小结

本研究结果表明, 加有机物料促进水旱轮作红壤的微生物生物量和微生物生物量磷的形成, 同时可能活化和利用固定态无机磷(主要是Fe结合态磷), 一部分被微生物利用的磷可能被转化为有机磷。根据实验结果, 可以推断由稻草释放的磷能被土壤微生物优先利用, 并且能够基本满足微生物的需求, 因而对土壤提取磷(即有效磷)的影响有限。

### 参考文献

- [1] 张宝贵, 李贵桐. 土壤生物在土壤磷有效化中的作用. 土壤学报, 1998, 35(1): 104~111. Zhang B G, Li G T. Roles of soil organisms on the enhance of plant availability of soil phosphorus (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(1): 104~111
- [2] 沈善敏主编. 中国土壤肥力. 北京: 中国农业出版社, 1998. 212~269. Shen S M. ed. Soil Fertility of China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998. 212~269
- [3] He Z L, Zhu J. Microbial utilization and transformation of phosphate adsorbed by variable charge minerals. Soil Biol. Biochem., 1998, 30: 917~923
- [4] 章永松, 林咸永, 罗安程, 等. 有机肥(物)对土壤中磷的活化及机理研究. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 145~155. Zhang Y S, Lin X Y, Luo A C, et al. Studies on activation of phosphorus by organic manure in soils and its mechanisms (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(2): 145~150
- [5] He Z L, Wu J, O' Donnell A G, et al. Seasonal responses in microbial biomass carbon, phosphorus and sulphur in soils under pasture. Biol. Fertil. Soils, 1997, 24: 421~428
- [6] Kouno K, Wu J, Brookes P C. Turnover of biomass C and P in soil following incorporation of glucose or ryegrass. Soil Biol. Biochem.,

2002, 34: 617~622

- [7] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, et al. Measurement of soil microbial biomass by fumigation-extraction: an automated procedure. Soil Biol. Biochem., 1990, 20: 1167~1169
- [8] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. Soil Biol. Biochem., 1982, 14: 319~329
- [9] Murphy J, Riley J P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chem. Acta., 1962, 27: 31~36
- [10] Wu J, He Z L, Wei W X, et al. Quantifying microbial biomass phosphorus in acid soils. Biol. Fertil. Soils, 2000, 32: 500~507
- [11] Chang S C, Jackson M L. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci., 1957, 84: 133~144
- [12] Peterson G W, Corey R B. A modify Chang-Jackson procedure for routine fractionation of inorganic soil phosphates. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1966, 30: 563~565
- [13] Page A L, Miller R H, Keeney D M. eds. Methods of Soil Analysis, Part 2. Madison, Wis.: ASA Publication Inc., 1982
- [14] Wu J, Brookes P C, Jenkinson D S. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil. Soil Biol. Biochem., 1993, 25: 1435~1441
- [15] Bremner E, van Kessel C. Extractability of microbial <sup>14</sup>C and <sup>15</sup>N following addition of variable rates of labeled glucose and (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> to soil. Soil Biol. Biochem., 1990, 22: 707~713
- [16] 张成娥, 王栓全. 作物秸秆腐解过程中土壤微生物量的研究. 水土保持学报, 2000, 14(3): 96~99. Zhang C E, Wang S Q. Study on soil microbial biomass during decomposition of crop straws (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(3): 96~99
- [17] Brookes P C, Powlson D S, Jenkinson D S. Phosphorus in soil microbial biomass. Soil Biol. Biochem., 1984, 16: 169~175
- [18] 吴金水, 肖和艾, 陈桂秋, 等. 旱地土壤微生物磷测定方法研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 70~78. Wu J S, Xiao H A, Chen G Q, et al. Measurement of microbial biomass P in upland soils in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 70~78
- [19] 陈国潮, 何振立, 黄昌勇. 红壤微生物生物量C周转及其研

究. 土壤学报, 2002, 39(2): 152~ 160. Chen G C, He Z L,  
Huang C Y. Turnover of microbial biomass C in red soils and its

significance in soil fertility evaluation (In Chinese). Acta Pedologi-  
ca Sinica, 2002, 39(2): 152~ 160

## EFFECT OF AMENDMENT OF ORGANIC MATERIALS ON TRANSFORMATION OF P IN RED-EARTH SOIL UNDER FLOOD-DROUGHT CULTIVATION

Huang Min<sup>1,2</sup> Xiao Heai<sup>2</sup> Huang Qiaoyun<sup>1</sup> Li Xueyuan<sup>1</sup> Wu Jinshui<sup>2</sup>

( 1 College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

( 2 The Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

**Abstract** Changes in the microbial biomass C (MB-C) and P (MB-P), Olsen-P, and fixed inorganic P fractions in red-earth soil under flood-drought cultivation were investigated after amendment of organic materials (glucose and rice straw) and incubation at 25 °C and 100% humidity. Results showed that soil MB-C increased by 215%, 74% and 163%, respectively, by 3 days for the treatments of adding glucose (G5, at 5 g kg<sup>-1</sup> soil) and straw (S5, at 5 g kg<sup>-1</sup> soil; S10, at 10 g kg<sup>-1</sup> soil). Thereafter, soil MB-C in Treatments G5 and S10 underwent a decreasing process for a period of 3~ 14 days and 3~ 7 days, respectively, and then leveled off, but in Treatment S5, it remained relatively constant till the end of the incubation. However, soil MB-P in the former increased considerably during the early phase (by 3 or 7 days), and followed by a stable trend throughout the remaining incubation period. Soil MB-P in Treatment S5 remained relatively constant during the entire incubation period, and by the end was about 2 times greater than that in the control (without amendment) as soil MB-P in it decreased significantly during the period. A significant decrease (3.5 mg kg<sup>-1</sup> soil) in Olsen-P occurred in Treatment G5 during the first 3 days. Differences between the content of Olsen-P in Treatments S5 and S10 and that in the control were limited (generally under 1 mg kg<sup>-1</sup> soil). It was found that, by the end of the 43 d incubation, the contents of Al- and Fe-bonded P, and total fixed inorganic P in the soil of Treatment G5 were significantly lower than those in the control. It was concluded that the amendment of organic materials enhanced the microbial biomass and MB-P in the soil under flood-drought cultivation, and consequently activated some fixed inorganic P (mainly Fe-bonded P) for utilization. A further analysis of the data obtained suggests that a considerable part (over 30%) of the P used by the microbial biomass was transformed into organic P pool, and that P released from decomposing straws could preferentially be used by microbial biomass and generally filled up its need. Thus, the influence of straw incorporation on soil P availability may be limited.

**Key words** Red-earth soil; Organic material; Microbial biomass C, P; Microbial transformation