

# 有机物料对污染土壤微生物碳和磷的影响

王艳<sup>1</sup>, 孙杰<sup>1</sup>, 吴金水<sup>2</sup>, A. G. O'Donnell<sup>2</sup>

(1. 山西农业大学土壤农业化学系, 山西太谷 030801; 2. Newcastle 大学, NE1 7RU, 英国)

**摘要:** 施用不同的有机物料对污染土壤微生物量及其磷素的固定作用的研究发现, 有机物料施入污染土壤之后, 土壤微生物碳(C)在第 3d 即达到高峰, 土壤微生物磷(P)在第 10d 达到高峰, 腐熟的牛粪对该土壤磷的活化作用很大, 而葡萄糖的处理显著地降低了污染土壤磷的有效性, 并不同程度地增加了对土壤磷的生物固定。

**关键词:** 有机物料; 土壤微生物量; 污染土壤

**中图分类号:** S141; X172      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1008-505X(2000)03-0300-06

微生物在土壤有机物质的转化过程及土壤肥力的维持方面起着不可低估的作用<sup>[1,2]</sup>。作为占土壤总有机碳量 2%~3% 的微生物生物量是土壤有机质较易分解的部分, 是土壤养分一个重要的源与库<sup>[3]</sup>, 且对分解土壤中的有机污染物具有其独特的影响。为了更好地了解这一过程, 研究污染土壤中的微生物生物量、微生物的种类以及微生物群体之间的相互作用是十分重要的<sup>[4]</sup>。以往的工作集中于微生物生物量方法的研究或把它作为一种肥力指标<sup>[5-7]</sup>和重金属污染对微生物生物量的影响<sup>[8]</sup>; 而在有机污染物方面的报道并不多。本研究旨在揭示有机物污染的土壤中加入不同有机物料后对土壤微生物 C、P 的消长过程及土壤速效 P 的动态变化, 明确土壤被有机物污染后, 土壤微生物量的变化过程及不同有机物料对土壤磷活化过程的贡献。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品的采集与处理

试验对照土壤采自英国纽卡斯尔大学长期定位试验实验农场(Cooke Park Farm)0~20cm 表层的无污染土壤; 污染土壤则采自 Northumberland, 被煤气场的废弃物所污染, 污染物主要系苯环衍生物及芳香族类化合物。将无污染土壤与污染土壤分别过 2mm 的筛, 然后以 3:1 的比例混合, 调至田间持水量(WHC)的 50% 后, 分别称取混合土样 450g(干土重)置于 600mL 烧杯中。试验设: 1. 对照(CK); 2. 混合土壤(MS); 3. 混合土壤+葡萄糖(MSG); 4. 混合土壤+油菜茎叶(MSO); 5. 混合土壤+腐熟的牛粪(MSC); 6. 混合土壤+大麦秸秆(MSB), 等 6 个处理, 3 次重复。其中 3~6 处理有机物的含 C 量为 3000mg/kg。牛粪含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.528%, 油菜茎叶含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.905%, 大麦秸秆含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.416%。有机物料加入土壤之前在 35℃ 下烘干, 粉碎后过 < 420μm 的筛备用。供试土壤的基本性状见表 1。

将不同处理的土样置于恒温(25℃)、恒湿的条件下, 培养 70d。土壤样品分别于第 3、10、20、40、50、70d 采集。

### 1.2 分析测定方法

土壤微生物 C 采用氯仿熏蒸—K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 提取法<sup>[9,10]</sup>。称相当于 25g 干土的新鲜土样 3 份, 放入真空干

表 1 供试土壤基本性状

Table 1 Characteristics of the soils used

土 壤 种 类 Soil types	有机 C Organic C (g/kg)	生物 C Biomass C (mg/kg)	生物 P Biomass P (mg/kg)	有效 P Available P (mg/kg)	pH
Cockle Park 土壤	23.80	465.01	23.60	50.38	5.9
混合土壤 <sup>1)</sup>	10.50	271.15	19.05	35.05	5.5

1)混合土壤为 Cockle Park 土壤与污染土壤以 3:1 混合

Means Cockle Park Farm and Northumer Land mixed of 3:1

燥器内,同时放入盛有熏蒸专用氯仿 50mL 小烧杯,抽成真空,并保持氯仿沸腾 5min, 25℃ 下放置 24h 后,取出烧杯尽量抽空干燥器中的氯仿,加入 100mL 0.5mol/L  $K_2SO_4$  振荡 30min 过滤后,用 Dohrman DC80 自动碳分析仪测定,同时设置不熏蒸的土样,按上述方法测定有机碳。微生物 C 按公式:  $B_c = 2.22E_c$  计算,其中  $E_c$  是熏蒸与未熏蒸土样有机碳的差值。

土壤微生物 P 采用 Brookes 方法<sup>[11]</sup>,然后用 0.03mol/L  $NH_4F$  - 0.025mol/L HCl 提取,钼锑抗比色法测定;土壤速效 P 则采用 0.03mol/L  $NH_4F$  - 0.025mol/L HCl 提取,钼锑抗比色法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同有机物料对污染土壤微生物 C 的影响

当土壤环境条件相对稳定时,即湿度、水分、不施入能源物质等相同情况下,微生物 C 将保持相对稳定。然而有机物料的种类和数量的不同将显著地影响土壤微生物的生物量。已有研究表明,不同的植物残体在一定的培养时间内可增加微生物碳<sup>[12]</sup>。在本试验条件下(图 1),对照处理在整个培养时间内的变化不大,但是它始终高于未加入有机物料的混合土壤(处理 2)。由于加入污染土壤使其微生物 C 从 465.01 减少至 271.15 mg/kg,降低了 41.69%。其原因可能是由于有机污染物质可抑制微生物的活性,不利于微生物的生存而使其微生物 C 降低。与其形成鲜明对比的是加入葡萄糖(处理 3)和油菜茎叶的处理(处理 4),培养第 3d,微生物 C 均达到了高峰,与试验开始相比,分别增加了 4.4 和

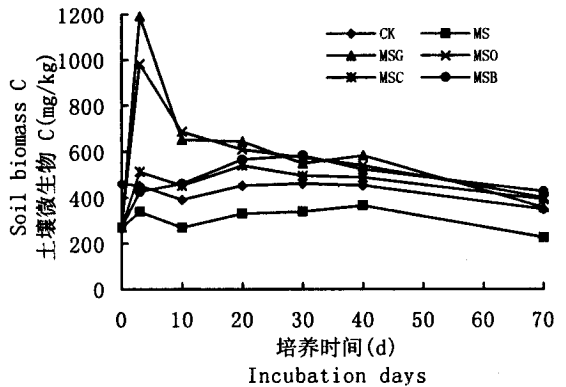


图 1 不同处理对土壤微生物 C 的影响

Fig.1 Influence of treatments on biomass C

3.6倍;其次是牛粪(处理5)及大麦秸秆的处理(处理6),分别增加了1.8倍和1.5倍。Ocio等研究表明,葡萄糖属于易分解的有机碳源,将它加入土壤后,在短短的几天内即可分解,分解的产物一部分转化为 $\text{CO}_2$ ,另一部分转变为微生物的生物量及其代谢产物<sup>[13]</sup>。与葡萄糖相比,油菜为十字花科芸苔属作物,它的分解速度要慢于前者,培养初期其增加的量小于处理3。牛粪、大麦秸秆与葡萄糖和油菜茎叶相比,它们的分解速度相对较慢,对微生物C的影响相对低些。从第3d开始,不同有机物料对微生物C的影响基本上呈下降的趋势。其中葡萄糖处理降得最快,其次是油菜茎叶、牛粪的处理降低的程度相对较低。从第20d到培养结束,各处理微生物C的变化基本上趋于一致,呈现下降的趋势。可能是由于各处理易分解的有机物质逐渐减少,供微生物维持生存的碳源和能源也随之减少,而使微生物C呈现逐渐降低,最后趋于相对稳定的趋势。在培养结束时,所有加入有机物料的处理,其微生物C均高于未加入有机物料的污染土壤。可见,有机物料的种类及其C/N比,可不同程度地影响污染土壤的微生物C。污染土壤中加入有机物料,在培养结束时,可提高其微生物C,对污染土壤微生物修复可能起到一定的作用。

## 2.2 对土壤微生物P的影响

与微生物C相比,污染土壤生物P受有机物料的影响要复杂一些(图2)。在70d的培养时间内,对照与处理2的变化幅度不大。从培养开始到培养结束,处理1与处理2微生物磷的变幅23.60~22.60和19.05~16.27mg/kg,处理2的微生物P低于对照,与该土壤背景值低有关。从图2可看出,加入油菜茎叶的处理4对微生物P的影响最大,尤其是在培养的前期。微生物P在第10d达到高峰,比微生物C的高峰值推迟。与对照及处理2相比,微生物P量增加了1.57和2.2倍;与处理2相比,牛粪和葡萄糖处理的微生物P增加1.60、1.53倍。有机物料的含P量不同,对微生物P的影响有差异。油菜茎叶与牛粪含P量相对较高,当施入土壤后,其较易分解的部分释放出的P转变为微生物P以及土壤的速效P,或通过吸附和沉淀机制被土壤固定。此外,油菜茎叶处理由于可刺激微生物C的增加需要更多的P构建微生物细胞,它可能暂时把介质中的P固定在其细胞内。葡萄糖处理在第10d微生物P暂时的增加也是由于它对微生物C影响的大量增加,而诱导微生物从土壤中吸收一部分P。随着培养时间的延续,从第10d到第20d,除了大麦秸秆的处理外,其余处理微生物P基本上呈降低的趋势,处理3、4、5分别降低24.3%、35.0%、31.1%。大麦秸秆的处理微生物P在这段时间达到最大值,而正好此时该处理的有效P降至低谷,也就是说微生物对磷的生物固持作用增强,可暂时降低土壤中的有效P。据张宝贵报道:当含P量小于0.2%~0.3%的秸秆等植物残体分解时,出现有效P的净固持,使有效P的含量减少。绿肥和农家肥等在分解初期,既有 $\text{P}_i$ 的释放也有微生物对 $\text{P}_i$ 的固持<sup>[14]</sup>。与土壤

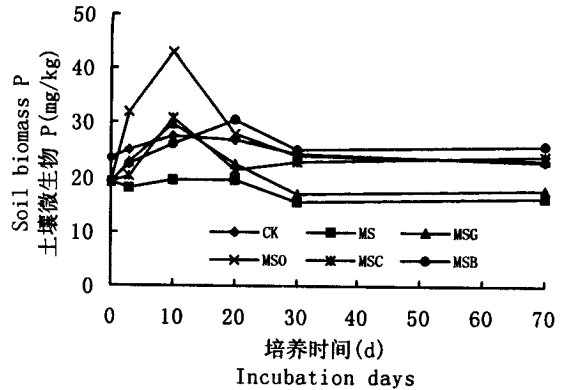


图2 不同处理对土壤微生物P的影响

Fig. Influence of treatments on biomass P

有机 P 化合物相比,微生物 P 容易矿化为植物的有效 P。从培养 30d 到培养 70d 各处理微生物 P 的变幅不大,但加入有机物料的处理均高于被污染而未加任何有机物的处理 2。因此,有机物料可以不同程度地增加污染土壤的微生物 P。

### 2.3 土壤速效 P 的动态变化

图 3 表明,有机物料的种类对不同处理土壤速效 P 也有不同的影响。与微生物 C、P 不同的是,除了对照外,其他处理土壤速效 P 的含量均略低于或显著低于对照,而对照在整个土壤培养时间内,并未发生显著的变化。牛粪处理最初土壤有效 P 的含量为 35.05mg/kg,但在培养的第 3d,土壤有效 P 增至 45.52mg/kg。可能是牛粪易分解的部分释放出  $P_i$  及有机酸,有机酸通过酸溶作用或有机肥分解的中间产物作为螯合物,以提高土壤磷的有效性。而此时生物固定也没有达到最高峰。从培养的第 3d 直至试验结束时,土壤速效磷略有降低,但变化不大。处理 4、6 对污染土壤速效磷的影响与处理 2 的变化相近,但处理 3 显著降低土壤速效 P 的含量。在试验开始时,其有效 P 为 35.05mg/kg,到第 3d 土壤速效 P 降低,这是由于微生物量在第 3d 达到高峰,对 P 发生生物固定作用。葡萄糖本身不含 P,由于微生物量的增加,而作为极易分解的 C 源,大量的 C 释放,需要一定的 P,因此葡萄糖在培养的 70d 内,对土壤速效 P 降低的影响是最大的。至第 10d,土壤速效 P 几乎降至最低,以后趋于稳定。从不同时期、不同处理有效磷的变化可看出,土壤微生物对 P 的生物固定及 P 有效性的变化不仅取决于有机物的种类及其本身的 C/P 比,而且还与有机物料分解的速度和强度有关。

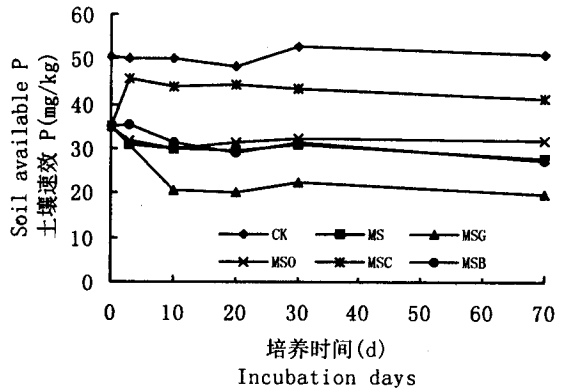


图 3 不同处理对土壤速效 P 的影响

Fig.3 Influence of treatments on available P

## 3 讨论

不同的有机物料由于组成不同,在土壤中的分解、转化各具有其特点。葡萄糖是能直接被土壤微生物吸收利用的底物,微生物对加入土壤中的葡萄糖的吸收,同化可以在很短时间内完成,培养第 1d 后,所加入葡萄糖残留量很少<sup>[15]</sup>。在培养开始的 3d 内,葡萄糖 C 的矿化急剧发生,这与本试验在培养第 3d 时,微生物 C 达到高峰的结果相一致。与腐熟的牛粪与大麦秸秆相比,十字花科的油菜茎叶易分解的有机化合物所占的比例相对较高,它的 C/N 比小于大麦秸秆,加入土壤的初期,其矿化速率较高,因此微生物 C 在第 3d 达到最高;而大麦秸秆的纤维素和半纤维素的含量较高,C/N 比一般为 60:1 左右,其矿化速率显著低于葡萄糖及油菜茎叶,对微生物 C 的影响在前期相对较小,但随着培养时间的延续,有增加的趋势。

作为土壤有机 P 中活性较高的微生物 P,不仅是土壤有效 P 的重要给源,而且与土壤有

效 P 直接相平衡。施用磷肥,土壤有效 P 增加,也会有更多的无机 P 被同化结合到微生物体内<sup>[16]</sup>。由于油菜茎叶与牛粪的含 P 量较高,加入土壤后,对土壤微生物 P 的影响较大,也影响到土壤中有有效 P。而对于不含或含 P 量低的葡萄糖或大麦秸秆加入土壤之后,微生物可将土壤中的有效 P 固定而成为微生物 P,使土壤有效 P 呈现降低的趋势。为此,在本试验条件下,对于不含或含 P 量低的有机物料,为了维持土壤有效 P 相对稳定水平,在培养前期应适当补充速效性 P 源,是满足微生物的需求及防止土壤有效 P 下降的积极措施。

## 参考文献:

- [1] Jenkinson D S. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radio-carbon content of soil organic matter[J]. *Soil Biol. And Biochem.*, 1992, 24:295-308.
- [2] Wu J, O'Donnell A G and Syers J K. Fumigation-extraction method for the measurement of soil microbial biomass S[J]. *Soil Biol. And Biochem.*, 1994, 26:117-125.
- [3] Jenkinson D S. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil[A]. *In: Wilson J R( ed. ). Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems[M].* 1988. 368-386; CAB, wallingford. 415-417. Marcel Dekker, New York.
- [4] Ocio J A and Brookes P C. An evaluation of methods for measuring the soil microbial biomass in soils following recent additions of wheat straw and the characterization of the biomass [J] *Soil Biol. and Biochem.*, 1990, 22:685-694.
- [5] Jenkinson D S and Ladd J N. Microbial biomass in soil: Measurement and turn over[A]. *In: Soil biochemistry[M].* Marcel Dekker, New York, 1981. 415-471.
- [6] Wu J, O'Donnell A G and Syers J K. Microbial growth and sulphur immobilization following the incorporation of plant residues into soil[J]. *Soil Biol. and Biochem.*, 1993, 25:1567-1573.
- [7] O'Donnell A G, Wu J and Syers J K. Sulphate-S amendments in soil and their effect on the transformation of soil sulphur [J]. *Soil Biol. And Biochem.*, 1994, 26:1507-1514.
- [8] Baath E. Effects of heavy metals in soil on microbial processes and population[J]. *Water, Air and Soil pollution*, 1989, 47:335-379.
- [9] Vance E D, Brookes P C and Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. *Soil Biol. and Biochem.*, 1987, 19:703-707.
- [10] Wu J, Joergensen R G, Pommerening B, Chansod R and Brookes P C. Measurement of soil microbial biomass by fumigation-extraction-an automated procedure[J]. *Soil Biol. and Biochem.*, 1990, 22:1167-1169.
- [11] Brookes P C. Measurement of microbial Biomass phosphorus in soil[J]. *Soil Biol. and Biochem.*, 1982, 14:319-329.
- [12] Bonde A T, Schniurer J and Rosswall T. Microbial biomass as a fraction of potentially mineralizable N in soil from long-term field experiments[J]. *Soil Biol. and Biochem.*, 1988, 20:447-452.
- [13] Ocio J A, Martine J, Brooks P C. Contribution of straw - derived N to total microbial biomass N following incorporation of cereal straw to soil[J]. *Soil Biol. and Biochem.*, 1991b, 23:656-659.
- [14] 张宝贵,李贵桐.土壤生物在土壤磷有效化中的作用[J].*土壤学报*,1998,35(1):104-111.
- [15] Gregorich R, Voroney P, and Kachanoski R G. Turnover of carbon through the microbial biomass in soils with different textures[J]. *Soil Biol. and Biochem.*, 1991, 23:799-805.
- [16] 何振立.土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J].*土壤*,1997,(2):61-69.

## Influence of different organic materials on the microbial biomass in contaminated soil of northeastern England

WANG Yan<sup>1</sup>, SUN Jie<sup>1</sup>, WU Jin-shui<sup>2</sup>, A. G. O'Donnell<sup>2</sup>

(1. *Soil Sci. Dept., Shan Xi Agrici. Univ., Taigu 030801*; 2. *Dept. of Agric. and Envir. Sci., Univ. of Newcastle, NE1 7RU UK.*)

**Abstract:** The microbial responses were studied in contaminated soil which was polluted by industrial wastes. By mixing the soil with the farmland soil in the ratio of 25% to 75%, different organic materials were amended to the mixed soil. During more than 70 day's incubation, biomass C, P and available P were measured as an index for microbial influences by these materials in the contaminated soil. The results could be concluded as follows:

Biomass C was greatly influenced by glucose and rape leaves, followed by farmyard manure and barley straw; Biomass P was significantly affected by rape leaves, followed by farmyard manure and barley straw; but the peak of which was later than that of farmyard manure; Available P of the control soil had the highest value compared with other amendments, among which glucose was the lowest one during the incubation time mainly because of the immobilization of available P by microorganisms.

**Key words:** organic materials; soil microbial biomass; contaminated soil