

有机物料对土壤有机磷组分及其矿化进程的影响

赵晶晶^{1,2}, 郭颖^{1,3}, 陈欣^{1*}, 史奕¹, 韩晓日²

(1 中国科学院沈阳应用生态研究所陆地生态过程重点实验室, 沈阳 110016; 2 沈阳农业大学

土地与环境学院, 沈阳 110161; 3 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过 300 天室内恒温 (30℃) 好气培养实验, 研究了不同 C/N 有机物料 (水稻秸秆、玉米秸秆、牛粪、猪粪) 掺入土壤后, 土壤有机 P 及各组分含量和有机 P 的矿化特征。结果表明: 有机物料的添加, 不同程度地增加了土壤有机 P 含量; 添加有机物料处理, 有机 P 矿化率高于对照处理, 且在培养的前 30 天迅速矿化。掺入有机物料处理土壤有机 P 各组分含量均有所增加; 对照处理有机 P 各组分的矿化进程都比较平稳, 而添加物料处理的活性和中等活性有机 P 则呈增加或波动状态, 中稳和高稳性有机 P 在腐解初期出现迅速矿化。有机物料的添加, 可以促进有机 P 各组分间的转化, 提高土壤 P 素的有效性。

关键词: 有机物料; 有机磷组分; 矿化进程

中图分类号: S153.6⁺2

P 是植物生长所需的大量元素之一。然而, P 肥的当季 P 利用率一般只有 10% ~ 25%。土壤有机 P 约占全 P 的 20% ~ 50%^[1], 土壤有机 P 中, 小部分有机 P 可以直接被植物吸收利用, 大部分有机 P 需经矿化作用转化成无机 P 供作物吸收利用。也有研究认为有机 P 与有效 P 之间存在极显著正相关, 且各种形态的有机 P 是可以相互转化的^[2]。自 1978 年 Bowman 和 Cole^[3] 提出土壤有机 P 分组方法以来, 人们对土壤有机 P 的分组、转化和生物有效性等进行了大量的研究。有机物料是改善土壤物理、化学和生物环境条件的重要物质, 也是土壤有机 P 的直接供应者。近年来不当的处置方法, 比如大量的秸秆焚烧、畜禽粪便的任意堆积和排放, 使有机物料对生态环境造成了负担。施用有机肥料或作物秸秆还田不但可以缓解 P 肥不足的现状, 还可以解决农业废弃物污染问题, 因此深入研究有机物料对土壤有机 P 组分及其矿化进程的影响, 对于有机 P 资源的合理利用, 提高土壤供 P 能力具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自沈阳生态试验站 (41°31'N, 123°23'E), 地处松辽平原南部的中心地带, 位于沈

阳南郊苏家屯区十里河镇, 平均海拔 31 m, 年平均气温 7 ~ 8℃, 年降雨量为 700 mm, 无霜期为 147 ~ 164 天。土壤为潮棕壤, 土壤样品采自无 N 处理, 0 ~ 20 cm 土层, 将采集的新鲜土样去草皮、草根放在大塑料布上混匀, 过 2 mm 筛后放入 30℃ 的恒温室中预培养, 待用。

试验选取 4 种不同 C/N 和 C/P 的有机物料: 玉米秸秆、水稻秸秆、猪粪、牛粪, 于 60℃ 烘干, 粉碎过 20 目筛。供试有机物料采自中国科学院沈阳农业生态实验站。土壤及有机物料的养分特性见表 1。

1.2 试验方法

采用实验室模拟堆腐试验, 将有机物料以干土重 4% 的比例掺土腐解, 并设纯土培养作为对照。将土和有机物料混匀后装入棕色试剂瓶中, 加水至不同有机物料最大持水量的 60%, 用 PARAPILM “M” 封口, 置于恒温培养箱中培养, 温度控制在 30℃ ± 1℃。分别于培养后的第 30、90、180、300 天取样测定有机物料中全 P (Pt)、有机 P (Po) 及各有机 P 组分的含量。共设 5 个处理: ① 200 g 土 (CK); ② 200 g 土 + 玉米秸秆; ③ 200 g 土 + 水稻秸秆; ④ 200 g 土 + 猪粪; ⑤ 200 g 土 + 牛粪。以上处理均做 4 次重复。

①基金项目: 国家自然科学基金重大项目 (30470336) 资助。

* 通讯作者 (chenxin@iae.ac.cn)

作者简介: 赵晶晶 (1981—), 女, 辽宁盘锦人, 硕士研究生, 主要从事养分资源再利用方面的研究。E-mail: helen8935@126.com

表 1 供试土壤及有机物料的养分特性

Table 1 Nutrient Characteristics of tested soils and organic materials

物料种类	全 P (g/kg)	有机 P (mg/kg)	有机 C (g/kg)	有机 N (g/kg)	Po/Pt (%)	C/P	N/P	C/N
供试土壤	0.34	166	10.0	0.86	48.8	29.4	2.53	11.6
玉米秸秆	1.04	567	423	8.44	54.9	409	8.12	50.2
水稻秸秆	1.53	796	382	7.84	51.9	249	5.12	48.7
牛粪	3.76	1614	402	13.91	42.8	107	3.70	28.9
猪粪	6.04	761	386	12.63	12.6	63.9	2.09	30.6

1.3 分析项目及测定方法

全 P 采用高氯酸-硫酸联合消煮、钼锑抗比色法^[4]测定。有机 P 采用灼烧法测定。有机 P 分级采用 Bowman-Cole 法^[3]。

2 结果与讨论

2.1 有机物料对土壤有机 P 矿化进程的影响

在未施用有机物料条件下,土壤有机 P 的残留率变化不大(图 1)。在培养的第 30、90、180、300 天,土壤有机 P 的残留率分别为 96%、99%、92%、97%,说明在这种条件下,土壤有机 P 和无机 P 的相互转化处于相对平衡中。有机物料施入土壤后,在土壤微生物作用下,发生一系列复杂的生物化学转化过程,总的反应方向是有机物料的矿化。有机物料施入土壤后其中的含 P 有机物发生矿化,使有机态 P 转化为无机态 P。与此同时,也发生着土壤无机态 P 向有机态 P 的转化过程,土壤微生物从土壤中吸收无机态 P 合成自身所需有机 P。有机物料施入土壤后有机 P 呈现明显的波动,在前 30 天迅速矿化,出现一个低谷,这是由于有机物料刚施入土

壤,其中有机 P 矿化起主导作用;而后有机 P 的合成多于其矿化,表现为有机 P 的净固持,在培养的第 180 天出现峰值后略有下降(图 1)。总的来说,施入有机物料的处理有机 P 的残留率都低于对照处理,可见有机物料的施入可以促进土壤有机 P 的矿化。

如图 2 所示,除在迅速矿化阶段个别处理有机 P 含量低于对照外,其他阶段添加有机物料的处理有机 P 含量都明显高于对照,可见有机物料的施入可以不同程度地增加土壤有机 P 含量。这与前人的研究结果相一致^[5]。从有机 P 含量增加的程度看,添加猪粪和牛粪的作用明显高于添加水稻和玉米秸秆,因为粪肥类有机物料本身有机 P 含量较高,且其中含有大量的微生物,施入土壤后土壤微生物大量繁殖,促进了土壤中无机 P 向有机 P 的转化,本结果与周广业等^[6]的研究一致。结合图 1,可以发现有机物料的添加不但可以增加土壤有机 P 含量,还可以促进土壤有机 P 矿化,有利于提高土壤 P 素的有效性。

2.2 有机物料对土壤有机 P 组分的影响

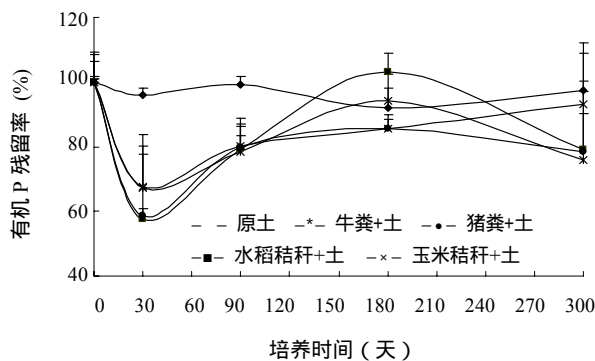


图 1 掺入有机物料后土壤有机 P 的分解残留率

Fig. 1 Residual rates of Po in soils after organic materials mixed

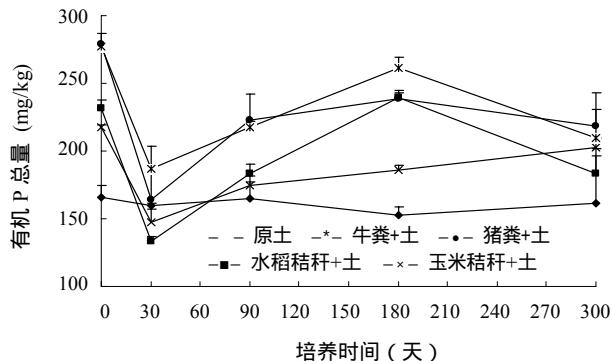


图 2 掺入有机物料后土壤有机 P 的含量

Fig. 2 Concentrations of Po in soils after organic materials mixed

2.2.1 有机物料对土壤活性有机 P 的影响 土壤活性有机 P 主要是核酸、磷酸类、磷酸类化合物,它们在土壤中矿化分解很快,能够作为植物生长的一种有效 P 源。有机物料的施入均可以增加土壤活性有机 P 含量(图 3),尤以施入牛粪处理作用最为显著,这与牛粪本身有机 P 含量很高有关;其他处理之间差异不大,这与前人不同来源的 P 对活性有机 P 的影响差异很小的报道类似^[7]。培养结束时,添加有机物料处理较原土处理活性有机 P 含量提高了 0.2%~20.5% (平均 10.8%)。原土处理活性有机 P 含量逐渐降低,矿化平缓。其他处理活性有机 P 含量的变化与对照处理基本相同,只有添加牛粪的处理活性有机 P 含量在培养的第 90 天后迅速增加,第 180 天达到对照处理的 2.94 倍,这可能是牛粪中其他形态的有机 P 转化为活性有机 P 的缘故。

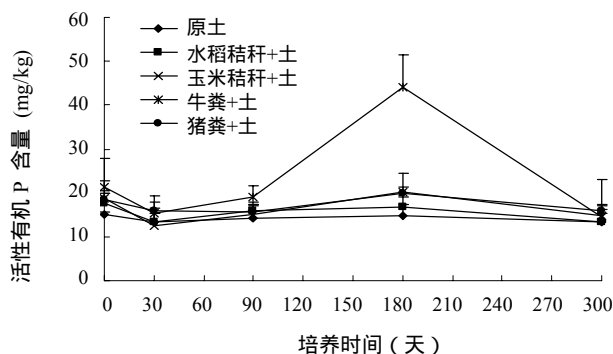


图 3 掺入有机物料后土壤活性有机 P 的矿化进程
Fig. 3 Mineralization processes of active Po in soils after organic materials mixed

2.2.2 有机物料对土壤中稳性有机 P 的影响 土壤中的中活性有机 P 主要是植酸钙、镁等化合物,这些物质比较稳定,矿化速率不及活性有机 P 组分,但它也可部分提供植物生长所需 P 源。从图 4 可以看出,添加有机物料处理中等活性有机 P 含量均高于对照处理,且添加粪肥类有机物料的处理好于添加秸秆类有机物料处理。两种粪肥处理相比较,在培养的前 30 天,添加牛粪处理中等活性有机 P 含量高于添加猪粪处理。大概在 50 天以后,猪粪处理中等活性有机 P 含量超过了牛粪处理。这与牛粪处理的活性有机 P 含量在这一阶段明显增加相

吻合,亦验证了之前的推论,是因为中等活性有机 P 转化为活性有机 P,从而致使中等活性有机 P 含量明显降低。培养结束时,添加有机物料处理较原土处理中等活性有机 P 含量提高了 2.1%~42.8% (平均 20.9%)。对照处理的中等活性有机 P 含量处于波动状态,略有增加。添加粪肥类有机物料的中等活性有机 P 在培养过程中呈先上升后下降的趋势,而添加秸秆处理则呈现明显的波动,这与两类有机物料的性质有关。

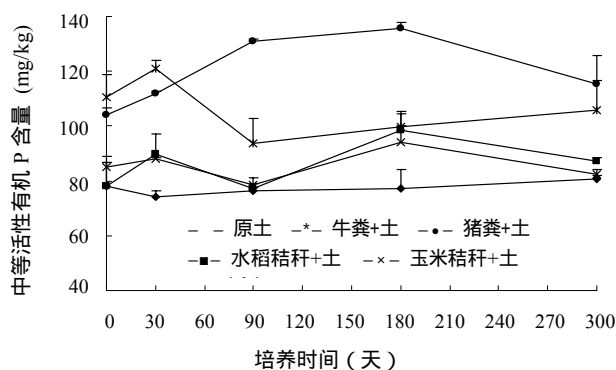


图 4 掺入有机物料后土壤中中等活性有机 P 的矿化进程
Fig. 4 Mineralization processes of moderately-active Po in soils after organic materials mixed

2.2.3 有机物料对土壤中稳性有机 P 的影响 除在培养的 30 天前,其他时期添加有机物料处理的中稳性有机 P 含量均高于对照处理(图 5)。有研究表明,土壤中的活性有机 P 和中等活性有机 P 与植物生长有显著相关关系,而中稳性有机 P 成

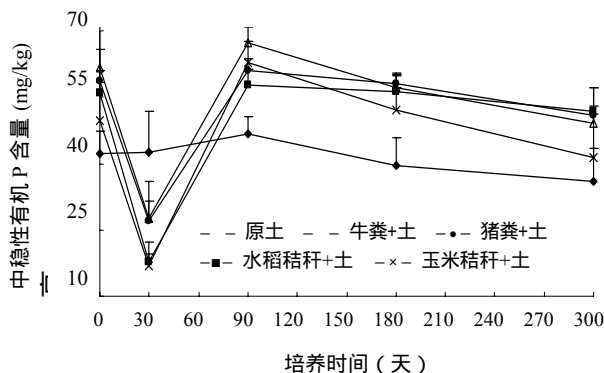


图 5 掺入有机物料后土壤中稳性有机 P 的矿化进程
Fig. 5 Mineralization processes of moderately-resistant Po in soils after organic materials mixed

分属于难矿化类，在培养的前 30 天中稳性有机 P 含量迅速降低，说明这期间中稳性有机 P 转化为土壤中的活性和中等活性有机 P，使活性较高的有机 P 含量保持平稳。至培养结束时，添加有机物料处理较原土处理中稳性有机 P 含量提高了 14.4% ~ 43.7% (平均 33.3%)。对照处理的中稳性有机 P 含量处于波动状态，略有降低。而各添加有机物料处理的中稳性有机 P 含量随时间的变化趋势为先降低后上升至最高后缓慢下降，与土壤有机 P 总量的变化趋势相似。

2.2.4 有机物料对土壤高稳性有机 P 的影响 土壤中的高稳性有机 P 主要是植酸铁、铝等化合物以及一些含 P 的螯合物，这类物质极难被矿化，对植物生长基本是无效的。因为物料本身含有一定数量的高稳性有机 P，所以在培养初期，和其他有机 P 组分一样，高稳性有机 P 含量均高于对照处理。腐解期间，对照处理的高稳性有机 P 含量变化很小，而添加有机物料处理的高稳性有机 P 却不稳定，在培养前期存在明显的降低过程，之后略有上升，个别处理有所波动。至培养结束时，添加有机物料处理高稳性有机 P 含量比原土处理的提高了 -0.3% ~ 104.7% (平均 37.2%)。高稳性有机 P 含量在腐解的前 30 天迅速降低，应该也是转化为其他形态有机 P 的缘故^[8]。可见有机物料的添加不但可以增加土壤有机 P 的含量，还可以促进稳定性较高的有机 P 组分向活性较高的有机 P 组分转化。

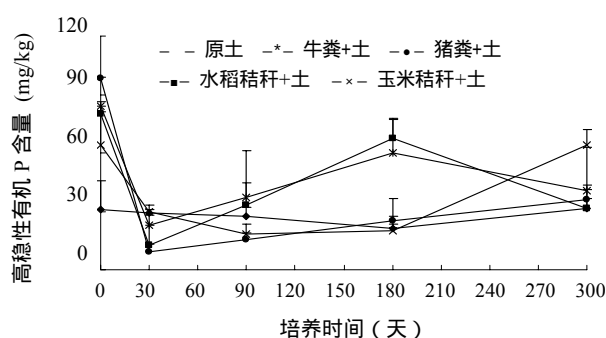


图 6 掺入有机物料后土壤高稳性有机 P 的矿化进程

Fig. 6 Mineralization processes of highly-resistant Po in soils after organic materials mixed

3 结论

(1) 有机物料的添加，不同程度地增加了土壤有机 P 含量，有机 P 矿化率高于对照处理，且在培养的前 30 天迅速矿化，以上性质均表现为粪肥类有机物料优于秸秆类有机物料。

(2) 有机物料的掺入能显著提高土壤中 4 种有机 P 组分的含量，主要增加了土壤中等活性有机 P 和中稳性有机 P，且粪肥类有机物料优于秸秆类有机物料。

(3) 有机物料的掺入可以促进土壤有机 P 向活性较高的形态转化，有利于提高土壤 P 素的有效性。

参考文献：

- [1] 鲁如坤. 土壤 - 植物营养学原理和施肥. 北京: 化学工业出版社, 1998: 162-164
- [2] 黄庆海, 赖涛, 吴强. 长期施肥对红壤性水稻土有机磷组分的影响. 植物营养与肥料学报, 2003, 9 (1): 63-66
- [3] Bowman RA, Cole CV. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soil. Soil Sci., 1978, 125: 95-101
- [4] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 166-187
- [5] 徐阳春, 沈其荣, 茆泽圣. 长期施用有机肥对土壤及不同粒级中有机磷含量与分配的影响. 土壤学报, 2003, 40 (4): 593-598
- [6] 周广业, 严龙翔. 长期施用不同肥料对土壤磷素形态转化的影响. 土壤学报, 1993, 30 (4): 443-446
- [7] Guggenberger G, Christensen BT, Rubaek GH. Isolation and characterization of labile organic phosphorus pools in soils from the Askov long-term field experiments. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2000, 163 (2): 151-155
- [8] Reddy DD, Rao AS, Rupa TR. Effects of continuous use of cattle manure and fertilizer phosphorus on crop yields and soil organic in vertisol. Bioresource Technology, 2000, 75 (2): 113-118

Influences of Organic Materials on Organic Phosphorus Fractions and Mineralization Processes in Soils

ZHAO Jing-jing^{1,2}, GUO Ying^{1,3}, CHEN Xin¹, SHI Yi¹, HAN Xiao-ti²

(1 Key Laboratory of Terrestrial Ecological Process, Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2 College of Land and Environment Sciences, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110161, China;

3 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Concentrations and mineralization processes of organic phosphorus (Po) fractions in soils mixed with different organic materials (straw of rice and maize, manure of cattle and pig) of different C/N were studied by aerobic incubation experiment at 30°C for 300 d. Results showed that soil Po contents increased at different degrees after organic materials were mixed; Po mineralization rates in treatments mixed with organic materials were higher than CK, and it mineralized quicker during the first 30 d of cultivation; The contents of organic phosphorus fractions in the treatments mixed with organic materials increased; Po fractions of CK mineralized smoothly, while active Po and moderately-active Po increased or fluctuated in treatments mixed with organic materials, moderately-resistant Po and highly-resistant Po mineralized quickly at initial stages of cultivation. Application of organic materials could promote transformation between different Po fractions, thus could improve phosphorus availability in soils.

Key words: Organic materials, Organic phosphorus fractions, Mineralization process