

# 施加粪肥对潮土有机磷形态转化的影响<sup>①</sup>

邢璐<sup>1,2</sup>, 王火焰<sup>1</sup>, 陈玉东<sup>1,2</sup>, 周健民<sup>1\*</sup>

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 施加粪肥是提高土壤肥力的重要措施, 为了解粪肥磷在潮土中的化学行为, 通过室内培养试验, 采用 NaOH-EDTA 浸提和 <sup>31</sup>P 核磁共振技术分析比较了鸡粪、牛粪及施肥后土壤中的磷形态及含量, 并研究了施肥对潮土有效磷的影响。结果表明, 粪肥磷主要以无机态形式存在, 2 种粪肥的有机磷形态及含量有明显不同, 肌醇六磷酸在鸡粪中的含量明显高于牛粪。粪肥施加到潮土后丰富了土壤有机磷的形态。随时间延长, 潮土中各形态磷发生相互转化, 以肌醇六磷酸为主的正磷酸单酯含量明显降低, 核酸等正磷酸双酯显著升高。鸡粪处理的土壤有效磷含量逐渐升高, 牛粪处理则表现出相反的趋势。施加粪肥后, 土壤有效磷呈现不同的变化规律可能是无机磷在土壤中固定或沉淀, 有机磷矿化和无机磷被微生物固持这三方面综合作用的结果。

**关键词:** 粪肥; <sup>31</sup>P 核磁共振技术; 有机磷; 有效磷; 潮土

**中图分类号:** S141.3

施加粪肥是提高土壤肥力的重要农业措施<sup>[1]</sup>, 其对土壤有机磷的影响已有大量报道, 但几乎都是基于传统的化学连续浸提法。有机磷的化学连续浸提法是将土壤中化学组成相近的一类有机磷化合物划归为相同的组分, 该方法虽能较好地反映有机磷在土壤中的转化过程及与植物有效性的关系, 但不能详细了解磷的具体形态。20 世纪 80 年代, <sup>31</sup>P 核磁共振 (<sup>31</sup>P-NMR) 技术首次被引入土壤有机磷的研究<sup>[2]</sup>, 其在有机磷鉴定方面具有传统化学方法不可比拟的优势, 它能从复杂的土壤提取液中清楚地鉴定出不同形态的有机磷<sup>[35]</sup>。另外, 由于 <sup>31</sup>P 是自然界存在的磷的唯一形态(100% 自然丰度), 因此理论上样品中的所有含磷化合物都可以被检测出来<sup>[6]</sup>。

深入了解粪肥的有机磷形态, 以及施加粪肥对土壤有机磷组分及变化规律的影响, 对于合理利用粪肥和提高土壤磷素有效性具有重要意义。本文拟利用 <sup>31</sup>P-NMR 技术分析粪肥中的磷形态及含量, 并通过室内培养实验研究施肥(粪肥与无机磷肥的单施和混施)对潮土有机磷形态及含量和土壤有效磷的影响, 以期探讨施用粪肥和无机磷肥对土壤磷的有效性和土壤供磷特征的影响机理。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试的潮土土壤样品采自河北省衡水市(37°44' N, 115°47' E), 取样深度为农田的耕层(0 ~ 20 cm)。土壤样品经过风干、磨碎、过 0.84 mm 筛后备用。土壤基本理化性质采用传统方法测定<sup>[7]</sup>, 结果如下: pH 8.29, CEC 17.7 cmol/kg, CaCO<sub>3</sub> 74.5 g/kg, 有机质 18.4 g/kg, 有效磷 16.2 mg/kg, 全磷 0.99 g/kg。供试粪肥为鸡粪(poultry manure, PM)和牛粪(cattle manure, CM), 样品采集后风干、磨碎过 0.84 mm 筛备用。粪样的理化性质采用传统方法测定<sup>[7]</sup>, 结果列于表 1。

### 1.2 实验方法

采用室内培养法, 设 6 个处理: 对照(CK, 不施肥处理)、单施无机磷(P250, 250 mg/kg K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)、单施粪肥(PM500/0, 500 mg/kg 鸡粪; CM500/0, 500 mg/kg 牛粪)、粪肥和无机磷肥混施(PM500/250, 500 mg/kg 鸡粪+ 250 mg/kg K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>; CM500/250, 500 mg/kg 牛粪+250 mg/kg K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)。每个处理 3 个重复, 施肥用量均以单质磷(P)计。

基金项目: 国家“973”项目(2013CB127401), 国家自然科学基金项目(41271309)和国际植物营养研究所(IPNI)项目资助。

\* 通讯作者(jmzhou@issas.ac.cn)

作者简介: 邢璐(1985—), 男, 山东淄博人, 博士研究生, 研究方向为土壤养分循环及生物环境效应。E-mail: xinglu996@163.com

表 1 供试粪样的基本理化性质  
Table 1 Properties of the two animal manures

| 理化性质                        | 鸡粪    | 牛粪    |
|-----------------------------|-------|-------|
| pH                          | 8.49  | 8.13  |
| 有机碳(g/kg)                   | 536.0 | 413.0 |
| 总氮(g/kg)                    | 35.89 | 11.10 |
| 灰分(g/kg)                    | 295.8 | 430.8 |
| 全磷(g/kg)                    | 17.19 | 7.43  |
| C/P                         | 31    | 56    |
| NaHCO <sub>3</sub> -P(g/kg) | 5.19  | 3.98  |
| NaHCO <sub>3</sub> -P/全磷(%) | 30.2  | 53.6  |

注：表中 NaHCO<sub>3</sub>-P 表示 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 溶液(pH 8.5) 提取(土水比 1：20)得到的粪肥含磷量；NaHCO<sub>3</sub>-P/全磷表示 NaHCO<sub>3</sub>-P 占粪肥全磷的百分比。

将土壤样品充分混匀后称取 30 g 土样及适量肥料于直径 4 cm ,高 8 cm 的聚乙烯容器中 ,混合均匀 ,加水至田间最大持水量的 60% ,用 Parafilm 膜封口 ,其上刺几个小孔以保证培养在好氧条件下进行 ,于 25℃ 恒温培养 ,利用称重法定期补充适量水分 ,于 10、45 和 120 天时分别进行一次取样、分析。为消除风干过程对样品的影响 ,指标测定均采用鲜样。

1.3 分析方法

有效磷的提取采用碳酸氢钠法 ,土样全磷采用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮法<sup>[7]</sup> ,钼蓝比色法测定磷含量。粪肥和培养 10 天和 120 天的土样进行 <sup>31</sup>P-NMR 测定<sup>[3]</sup> ,具体如下 :提取剂为 0.25 mol/L NaOH + 0.05 mol/L EDTA混合液 ,以土水比 1：20 于 20℃ 下振荡提取 16 h ,10 000 g 离心 30 min ,冻干 ,取 100 mg 冻干样品用 1 ml 1 mol/L NaOH + 0.1 ml D<sub>2</sub>O 重新溶解 ,用 Bruker(Billerica, MA)Avance 400 MHz 核磁共振仪测定。同时吸取 5 ml 离心后的浸提液用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮后比色测定全磷含量。

1.4 数据处理

实验数据采用 SPSS 16.0 和 Excel 2003 处理 ,用有效磷占肥料磷的比例来表征施肥后土壤有效磷的变化情况(有效磷占肥料磷的比例(%) = (施肥处理样品的有效磷 - 对照样品的有效磷)/施加的肥料总磷 × 100%)。利用 MestReNova 8.0 软件对 <sup>31</sup>P-NMR 图谱进行分析 ,每种磷化合物占全磷的比例用图谱中每种磷化合物的峰面积与所有磷化合物的峰面积的比例所得。实验结果为 3 次重复的平均值。

2 结果与讨论

2.1 NaOH-EDTA 浸提磷与全磷的比较

由表 2 可知 ,NaOH-EDTA 浸提磷含量均低于传统的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮法测定的全磷含量。究其原因可能是传统的 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 消煮法破坏了样品

中各形态的磷 ,因而基本能提取出样品中所有的磷 ;而 NaOH-EDTA 浸提剂利用 NaOH 提取有机态磷 ,利用 EDTA 提取离子态磷 ,而对 Ca-P 等被固定的磷的浸提率较低 ,因此导致 NaOH-EDTA 浸提磷的总量相对低<sup>[8-9]</sup>。相比而言 ,NaOH-EDTA 更易于将样品中的有机磷浸提出来<sup>[10]</sup>。由表 2 还可看出 ,NaOH-EDTA 浸提剂对不同的样品浸提率不同 ,其中鸡粪和牛粪的浸提比例分别为 87% 和 77% ,高于土壤的 48%~66% ,该结果与前人报道的结果基本一致<sup>[11-12]</sup>。

表 2 NaOH-EDTA 浸提液全磷与样品全磷的结果比较  
Table 2 Comparison of total P determined by H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> and NaOH-EDTA extractable P fractions in manures and soil samples

| 样品            |           | 全磷<br>(g/kg) | NaOH-EDTA<br>浸提磷<br>(g/kg) | 浸提比例<br>(%) |
|---------------|-----------|--------------|----------------------------|-------------|
| 鸡粪            |           | 17.19        | 14.95                      | 87          |
| 牛粪            |           | 7.43         | 5.70                       | 77          |
| 培养 10 天<br>土样 | PM500/250 | 1.79         | 1.16                       | 65          |
|               | PM500/0   | 1.56         | 0.95                       | 61          |
|               | CM500/250 | 1.88         | 1.09                       | 58          |
|               | CM500/0   | 1.58         | 0.92                       | 58          |
|               | P250      | 1.24         | 0.73                       | 59          |
| 培养 120<br>天土样 | CK        | 0.98         | 0.48                       | 48          |
|               | PM500/250 | 1.80         | 1.18                       | 66          |
|               | PM500/0   | 1.52         | 1.00                       | 65          |
|               | CM500/250 | 1.89         | 1.13                       | 60          |
|               | CM500/0   | 1.57         | 0.94                       | 60          |
|               | P250      | 1.12         | 0.65                       | 58          |
|               | CK        | 0.98         | 0.48                       | 49          |

2.2 粪肥中磷的形态及含量

图 1 为两种粪肥的 <sup>31</sup>P-NMR 图谱 ,化学位移在 6.6 ppm 附近的谱峰为无机正磷酸盐的谱峰 ,4.0 ~ 6.0 ppm 为正磷酸单酯(其中 5.95、5.07、4.67 和 4.53 为肌醇六磷酸的特征谱峰 ,5.44 为葡萄糖-6-磷酸的特征谱峰) ,2.5 ppm 与 -2.0 ppm 之间为正磷酸双酯(如磷脂和核酸)的特征谱峰<sup>[6,13]</sup>。对不同形态磷的谱峰进行积分后计算各形态磷的百分含量 ,结果见表 3 ,鸡粪和牛粪中的磷基本以无机正磷酸盐为主 ,分别占 NaOH-EDTA 浸提磷含量的 65.6% 和 86.1% ;正磷酸单酯在鸡粪 NaOH-EDTA 浸提磷中的比列为 33.3% ,高于牛粪的 11.6% ;鸡粪 NaOH-EDTA 浸提磷中含有 1.2% 的正磷酸双酯低于牛粪的 2.3%。这与 Turner<sup>[13]</sup>对鸡粪和牛粪的研究结果一致。

图 1 还显示 ,鸡粪中的正磷酸单酯主要为肌醇六磷酸(化学位移 :5.95、5.07、4.67 和 4.53 ppm) ,远高于在牛粪中的含量。这是因为肌醇六磷酸主要来源于谷物的种子 ,反刍动物的消化系统含有植酸酶 ,对肌

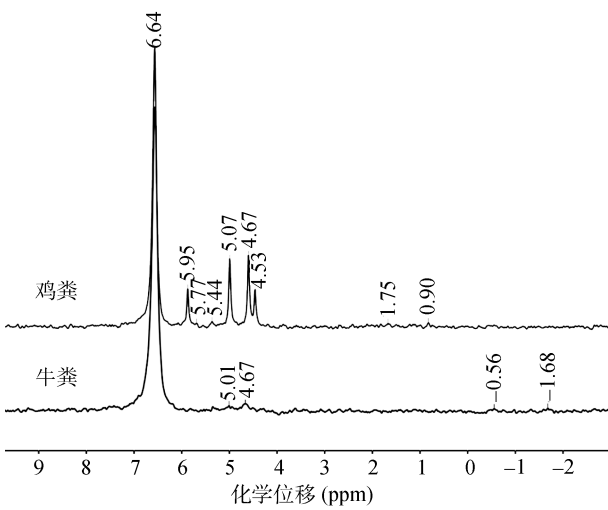


图 1 供试粪肥的  $^{31}\text{P}$ -NMR 图谱  
Fig. 1 Solution  $^{31}\text{P}$  NMR spectra of the two manure samples

表 3 两种供试粪肥 NaOH-EDTA 提取液中的各形态磷及其百分比

Table 3 Phosphorus functional classes and percentage(%) of the total P in NaOH-EDTA extracts of the two manures by solution  $^{31}\text{P}$ -NMR spectra

| 磷形态       | 鸡粪   | 牛粪   |
|-----------|------|------|
| 无机正磷酸盐(%) | 65.6 | 86.1 |
| 正磷酸单酯(%)  | 33.3 | 11.6 |
| 正磷酸双酯(%)  | 1.2  | 2.3  |

醇磷酸的消化较为彻底，而禽类缺少该酶，饲料中的肌醇磷酸不能被有效利用而直接进入粪便<sup>[11,14-15]</sup>。

2.3 施肥对潮土中磷形态及含量的影响

图 2 是施肥后培养 10 天时的土壤  $^{31}\text{P}$ -NMR 图谱，可以看出施加粪肥增加了土壤中磷的形态，尤其是施加鸡粪，显著提高了正磷酸单酯含量，其中主要是肌醇六磷酸的含量。施肥 10 天时土壤磷形态和相应粪肥本身的磷形态一致，这是因为初期混合样品中含磷化合物还未经转化，多种磷形态主要来自于粪肥<sup>[9]</sup>。施加无机磷对土壤有机磷没有影响。

图 3 是施肥后培养 120 天时的土壤  $^{31}\text{P}$ -NMR 图谱，结果显示相比培养 10 天，土壤磷的形态发生了很大变化：鸡粪处理中正磷酸单酯的相关谱峰变弱；牛粪处理中正磷酸单酯和双酯的峰信号变强；对照和单施无机磷处理与牛粪处理规律相似。由表 4 可知，对照和单施无机磷处理在培养 10 天时没有检测出有机磷，120 天后，无机正磷酸盐分别减少到 90.5% 和 90%，而有机磷均有所增加，其中正磷酸单酯分别增加 7.7% 和 7.5%，正磷酸双酯分别增加 1.8% 和 2.5%。施加不同粪肥后，土壤磷形态及含量随时间的变化规律不同。对于 PM500/250 和 PM500/0 两个处理，正磷酸单酯分别下降 6.9% 和 7.5%，培养过程对正磷酸双酯没有影响。而对于处理

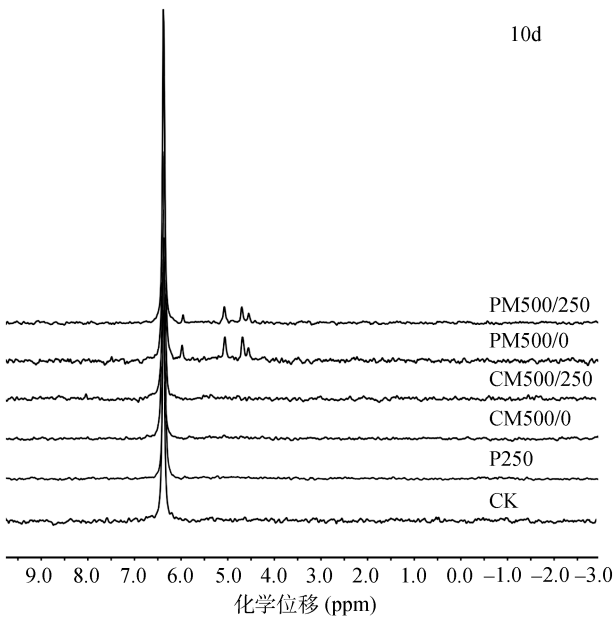


图 2 施肥 10 天时潮土的  $^{31}\text{P}$ -NMR 图谱  
Fig. 2 Solution  $^{31}\text{P}$ -NMR spectra of the calcareous soil after fertilization for 10 days

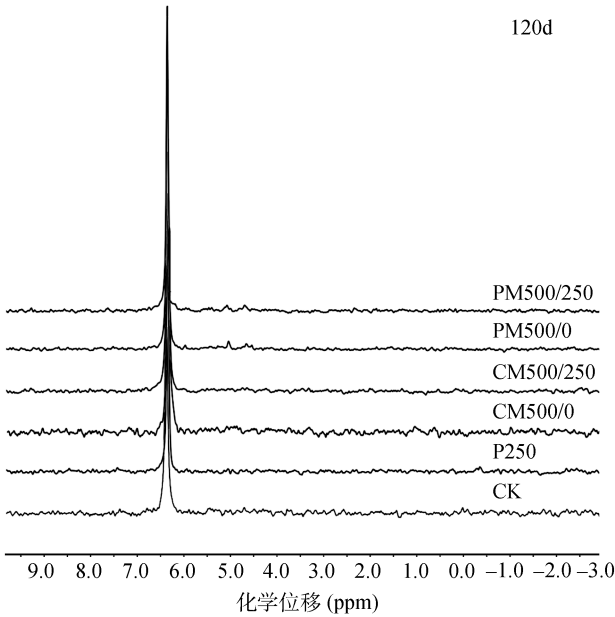


图 3 施肥 120 天时潮土的  $^{31}\text{P}$ -NMR 图谱  
Fig. 3 Solution  $^{31}\text{P}$ -NMR spectra of the calcareous soil after fertilization for 120 days

CM500/250 和 CM500/0，无机正磷酸盐分别降低了 15.3% 和 7.3%，正磷酸单酯分别上升了 11.8% 和 3.4%，正磷酸双酯分别增加了 3.5% 和 3.8%。PM500/250 和 CM500/250 无机正磷酸盐百分含量均高于 PM500/0 和 CM500/0，这主要是额外施加的无机磷被重新提取出来的缘故。与单施粪肥相比，粪肥和无机磷肥混施对土壤有机磷的变化影响不大。

从表 4 可以看出，随着时间的延长，磷在鸡粪处理中表现为有机磷的矿化，在牛粪处理中表现为磷的固

持。微生物在土壤有机磷的周转过程中起核心作用<sup>[16]</sup>。供试牛粪的 C/P 约是鸡粪的 2 倍,意味着通过施加牛粪进入土壤的有机碳是鸡粪的 2 倍,施加牛粪为微生物提供了更多的碳源。Azeez和 Van Averbek<sup>[17]</sup>也认为施加高 C/P 的牛粪有利于微生物对磷的固持,低 C/P 的鸡粪促进有机磷的矿化。Qiu 等<sup>[18]</sup>也有类似的报道。被固持的磷主要以核酸和磷脂等正磷酸双酯的形式构成微生物磷<sup>[6,11]</sup>。表 4 显示,120 天后土壤增加的有机磷以正磷酸单酯为主,这是因为正磷酸双酯在碱性浸提液中不稳定而水解为单酯磷的缘故<sup>[11]</sup>。虽然肌醇六磷酸可以被土壤强烈吸附而表现出较高的稳定性,但在土壤植酸酶作用下依然可以被水解为无机磷<sup>[11-12,15]</sup>,这是鸡粪处理在 120 天后正磷酸单酯含量明显降低的原因。

表 4 施肥后潮土 NaOH-EDTA 浸提液中的各形态磷及其百分比

Table 4 Phosphorus functional classes and percentage(%) of the total P in NaOH-EDTA extracts of the calcareous soil after fertilization

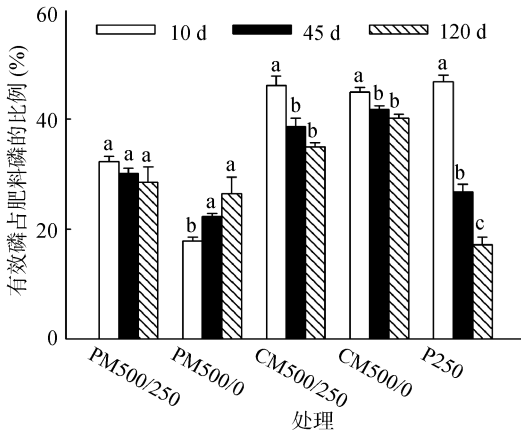
| 处理        | 无机正磷酸盐 (%) |       | 正磷酸单酯 (%) |       | 正磷酸双酯 (%) |       |
|-----------|------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
|           | 10 d       | 120 d | 10 d      | 120 d | 10 d      | 120 d |
| PM500/250 | 86.0       | 92.9  | 14.0      | 7.1   | ND        | ND    |
| PM500/0   | 81.4       | 88.9  | 18.6      | 11.1  | ND        | ND    |
| CM500/250 | 97.3       | 82.0  | 2.7       | 14.5  | ND        | 3.5   |
| CM500/0   | 88.4       | 81.1  | 10.2      | 13.6  | 1.4       | 5.2   |
| P250      | 100        | 90.0  | ND        | 7.5   | ND        | 2.5   |
| CK        | 100        | 90.5  | ND        | 7.7   | ND        | 1.8   |

注:ND 表示未检出。

2.4 施肥后土壤有效磷含量的变化

图 4 显示了施肥后各处理土壤有效磷随培养时间的变化规律。培养 10 天后,单施无机磷处理和牛粪处理的磷的有效性相当;鸡粪处理的有效磷占肥料磷的比例明显低于牛粪处理,这是因为两种粪肥的 NaHCO<sub>3</sub>-P 占全磷的比例不同造成的,该比例在鸡粪中为 30.2%,远低于牛粪的 53.6%,见表 1。随培养时间延长,单施无机磷处理的土壤有效磷急剧降低,由 10 天时的 46.8% 降低到 120 天后的 17.1% ( $P < 0.05$ )。施加牛粪延缓了无机磷在潮土中的固定,CM500/250 和 CM500/0 的有效磷所占肥料磷的比例分别由 10 天时的 46.1% 和 44.9% 降低到 120 天后的 34.9% 和 40.1% ( $P < 0.05$ )。与牛粪处理不同,PM500/250 的有效磷变化不大 ( $P > 0.05$ ),PM500/0 的有效磷反而明显升高 ( $P < 0.05$ ),由 10 天时的 17.8% 升高到 120 天后的 26.4%。该变化规律与 Azeez和 Van Averbek<sup>[17]</sup>基本一致。

Qiu 等<sup>[18]</sup>的研究表明施加碳源后随着微生物活性的升高,土壤水溶性磷含量随之降低。由<sup>31</sup>P-NMR



(柱形图上方不同小写字母表示同一处理不同时间差异(在 $P < 0.05$ 水平显著))

图 4 施肥不同时间对潮土有效磷含量的影响

Fig. 4 Effects of fertilization during different time on available P in calcareous soil

结果可以推断,牛粪处理和单施无机磷处理的有效磷的不断降低,一方面是由于磷被土壤固定或沉淀,另一方面,作为活性较高的土壤磷素,有效磷更易被微生物固持而形成有机磷;对于鸡粪处理而言,有机磷经过矿化后形成的无机磷可能首先进入了活性较高的磷库,土壤有效磷的变化是无机磷的固定沉淀和有机磷的矿化这两方面综合的结果。

3 结论

- (1) 不同粪肥所含磷的形态和含量不尽相同。鸡粪含有大量的肌醇六磷酸,有机磷含量明显高于牛粪。
- (2) 粪肥的施加丰富了土壤磷的形态。施入土壤的各形态磷发生互相转化,一方面正磷酸单酯不断矿化为无机态磷,另一方面土壤无机磷被微生物固持后形成核酸类的正磷酸双酯进入有机磷库。
- (3) 在 120 天的培养周期内,施加 2 种粪肥后的土壤有效磷表现出不同的变化规律,这可能是无机磷在土壤中的固定或沉淀,有机磷的矿化和无机磷被微生物的固持这三方面综合作用的结果。

参考文献:

[1] 马红亮,高明,魏朝富. 农艺措施对紫色水稻土无机磷形态的影响[J]. 土壤, 2003, 35(3): 248-254

[2] Newman RH, Tate KR. Soil phosphorus characterization by <sup>31</sup>P nuclear magnetic resonance[J]. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 1980, 11(9): 835-842

[3] Turner BL, Mahieu N, Condrón LM. Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectral assignments of phosphorus compounds in soil NaOH-EDTA extracts[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2003, 67(2): 497-510

[4] McDowell RW, Stewart I. Phosphorus in fresh and dry dung of grazing dairy cattle, deer, and sheep: Sequential

- fraction and phosphorus-31 nuclear magnetic resonance analyses[J]. *J. Environ. Qual.*, 2005, 34(2): 598–607
- [5] Turner BL, Cade-Menun BJ, Condron LM, Newman S. Extraction of soil organic phosphorus[J]. *Talanta*, 2005, 66(2): 294–306
- [6] Cade-Menun BJ. Characterizing phosphorus in environmental and agricultural samples by  $^{31}\text{P}$  nuclear magnetic resonance spectroscopy[J]. *Talanta*, 2005, 66(2): 359–371
- [7] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [8] McDowell RW, Stewart I, Cade-Menun BJ. An examination of spin lattice relaxation times for analysis of soil and manure extracts by liquid state phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy[J]. *J. Environ. Qual.*, 2006, 35(1): 293–302
- [9] 彭喜玲, 方海兰, 占新华, 郝冠军, 吕子文, 马光军, 顾兵. 利用  $^{31}\text{P}$  核磁共振技术研究污泥中磷在土壤中的形态转换[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(10): 2 104–2 110
- [10] Bowman RA, Moir JO. Basic EDTA as an extractant for soil organic phosphorus[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1993, 57(6): 1 516–1 518
- [11] Turner BL, Mahieu N, Condron LM. The phosphorus composition of temperate pasture soils determined by NaOH-EDTA extraction and solution  $^{31}\text{P}$  NMR spectroscopy[J]. *Org. Geochem.*, 2003, 34(8): 1 199–1 210
- [12] Hansen JC, Cade-Menun BJ, Strawn DG. Phosphorus speciation in manure-amended alkaline soils[J]. *J. Environ. Qual.*, 2004, 33(4): 1 521–1 527
- [13] Turner BL. Optimizing phosphorus characterization in animal manures by solution phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy[J]. *J. Environ. Qual.*, 2004, 33(2): 757–766
- [14] McDowell RW, Dou Z, Toth JD, Cade-Menun BJ, Kleinman PJA, Soder K, Saporito L. A comparison of phosphorus speciation and potential bioavailability in feed and feces of different dairy herds using  $^{31}\text{P}$  nuclear magnetic resonance spectroscopy[J]. *J. Environ. Qual.*, 2008, 37(3): 741–752
- [15] Turner BL, Papházy MJ, Haygarth PM, Mckelvie ID. Inositol phosphates in the environment[J]. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 2002, 357(1420): 449–469
- [16] Stewart JWB, Tiessen H. Dynamics of soil organic phosphorus[J]. *Biogeochemistry*, 1987, 4: 41–60
- [17] Azeez JO, Van Averbek W. Fate of manure phosphorus in a weathered sandy clay loam soil amended with three animal manures[J]. *Bioresource Technol.*, 2010, 101(16): 6 584–6 588
- [18] Qiu S, McComb AJ, Bell RW. Ratios of C, N and P in soil water direct microbial immobilisation-mineralization and N availability in nutrient amended sandy soils in southwestern Australia[J]. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 2008, 127(1/2): 93–99

## Transformation of Phosphorus Forms in Calcareous Soils with Manure Application

XING Lu<sup>1,2</sup>, WANG Huo-yan<sup>1</sup>, CHEN Yu-dong<sup>1,2</sup>, ZHOU Jian-min<sup>1\*</sup>

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)*, Nanjing 210008, China; 2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, China)

**Abstract:** Manure application is an important management practice to improve soil fertility. In order to understand the phosphate chemistry in manure-amended calcareous soil, the extractant of NaOH-EDTA and  $^{31}\text{P}$  nuclear magnetic resonance( $^{31}\text{P}$ -NMR)spectroscopy were conducted to study and compare phosphorus forms and contents in poultry manure, cattle manure and manure-amended soils. Moreover, effects of manure application on soil available phosphorus were also investigated. The results showed that large percentage of the phosphorus in manure was in the inorganic form. The two manures differed in their P composition. Much more phytate was detected in poultry manure compared with cattle manure. Application of manure changed the organic phosphorus forms in soil. Additionally, transformation of phosphorus forms in soils was observed with incubation time. Content of orthophosphate monoester such as phytate decreased while orthophosphate diesters such as nucleic acid increased obviously. With incubation time, the content of soil available phosphorus increased in poultry manure treatment while it declined in cattle manure treatment. Different variations of soil available phosphorus after manure application might be the synthesis results of phosphorus fixation-precipitation, mineralization and immobilization.

**Key words:** Manure,  $^{31}\text{P}$  nuclear magnetic resonance, Organic phosphorus, Available phosphorus, Calcareous soil