

秸秆还田情况下蚯蚓活动对稻麦轮作土壤磷素的影响

王霞, 胡锋, 李辉信, 沈其荣, 王丹, 刘永刚

(南京农业大学资源与环境学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 通过长期田间小区试验研究发现, 在稻麦轮作土壤中, 蚯蚓活动并不降低土壤全磷含量, 有效磷含量呈直线上升趋势。在秸秆混施时, 蚯蚓活动提高了树脂磷、NaOH 磷含量, 而超声磷含量降低, 就总体而言, 易于作物吸收的无机磷(如树脂磷和 NaHCO_3 磷)含量有所升高。

关键词: 蚯蚓; 全磷; 有效磷; 磷酸酶; 秸秆还田

中图分类号: X131 文献标识码: A 文章编号: 1672 - 2043(2004)02 - 0341 - 04

Effects of Earthworm Activity on Soil Phosphorus in Wheat - Rice Soil Receiving Corn Straw

WANG Xia, HU Feng, LI Hui-xin, SHEN Qi-rong, WANG Dan, LIU Yong-gang

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: We have studied effects of earthworm activity on soil phosphorus in a wheat - rice soil in enclosures for a long period. It was found that earthworm had no significantly influence on total P, but available P raised steadily. When corn straw was incorporated into surface soil, both Resin - P and NaOH - P increased, while supersonic - P decreased. In a simply word, the content of inorganic phosphorus absorbed easily by crop increased such as Resin - P and NaHCO_3 - P.

Keywords: earthworm; total phosphorus; available phosphorus; phosphatase; returning corn straw

磷是植物生长发育不可缺少的营养元素之一^[1], 对提高植物的抗病性、抗寒性和抗旱能力有良好的作用^[2]。但在诸多省份的耕地中, 大约 75% 的土壤存在缺磷现象, 这就是磷肥成为我国第二大化肥工业的根本原因^[3]。由于磷肥的利用率相当低, 大体在 10% ~ 25% 之间^[4, 5], 因而增大了磷肥的损失以及土壤磷流失的可能性, 甚至造成水体富营养化^[6]。因此, 改善土壤供磷性能, 提高磷肥利用率有非常重要的意义。

对于如何提高土壤供磷性能以及磷肥利用率, 国内外已有很多论述^[7, 8], 却鲜见土壤动物对土壤磷素转化的研究。资料表明^[2], 凡是影响土壤微生物活性的因素, 都影响土壤磷素的转化速度。在温带土壤中, 蚯蚓是生物量最大的无脊椎动物, 成为影响土壤微生物数量和活性的主要因素之一^[9]。微生物活性的提高

则可能加速土壤磷素的转化^[10, 11], 因此我们作出蚯蚓能够提高土壤中磷素有效性的假设。通过长期小区定位试验研究了蚯蚓活动对土壤磷素转化及其形态的影响, 从而证明了该假设的正确性。

1 材料和方法

1.1 试验材料

供试土壤为江苏省如皋县搬经镇的高砂土。网室内用混凝土砌成 2.8 m × 1 m × 0.6 m 的池子, 填入深 50 cm 的供试土壤。作物种植制度为稻 - 麦轮作(已有 4 年 7 季稻麦轮作历史)。水稻采用旱作栽培, 即旱育旱栽, 全生育期不建立水层, 灌水保持土壤在 80% 田间持水量附近。水稻品种为武育粳 3 号, 行株距为 25 cm × 22 cm; 供试小麦品种为宁麦 9 号, 行距为 20 cm, 精量稀播。

1.2 肥料施用

N, P, K 分别为 210 kg · hm⁻²(纯 N 计), 105 kg · hm⁻²(P₂O₅) 和 105 kg · hm⁻²(K₂O), 肥料品种为尿素

收稿日期: 2003 - 07 - 01

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(39830220)

作者简介: 王霞(1978-), 女, 博士生, 研究方向为恢复生态学。

E-mail: xxw7811@yahoo.com.cn

(70%作基肥,30%作穗肥),过磷酸钙和氯化钾(全部作基肥施用)。有机物料为玉米秸秆残茬,以下皆简称秸秆,用量为 $4.2 \text{ kg} \cdot \text{小区}^{-1}$ (约 $7500 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),使用时与基肥一起施入,混施时与表层土(0~20 cm)混合均匀,表施时应均匀覆盖于田面。

1.3 蚯蚓接种

1999年稻季第一次接种蚯蚓,蚓种为在土壤采样地获得的优势种(环毛蚓),按照计划量接种蚯蚓,接种之后浇适量水,促进蚯蚓尽快适应环境。直到2001年稻季,用手捡出小区内所有蚯蚓,重新接种,依然进行稻麦轮作。

1.4 试验处理

本实验1999—2001年前四季主要设3个处理:(1)对照,即不施秸秆,不接种蚯蚓;(2)秸秆混施,不接种蚯蚓;(3)秸秆混施,接种蚯蚓10条 $\cdot \text{m}^{-2}$ 。各3次重复。

2001—2002年共设5个处理,在前两年试验基础上增设2个处理。(1)对照,即不施秸秆,不接种蚯蚓;(2)秸秆混施,不接种蚯蚓;(3)秸秆混施,接种蚯蚓;(4)秸秆表施,不接种蚯蚓;(5)秸秆表施,接种蚯蚓。每小区接种成蚓21条45.8g,小蚯蚓38.5g,合计84.3g。各处理3次重复。

分别在水稻和小麦成熟期采集土壤表层(0~20 cm)样品,采样时间分别为:A为1999.10;B为2000.6;C为2000.10;D为2001.6;E为2001.10;F为2002.5;G为2002.10,A~G分别代表7季土壤样品。土样风干,测定土壤全磷、有效磷、各级无机磷、磷酸酶活性。

土壤全磷用 $\text{HClO}_4 - \text{H}_2\text{SO}_4$ 消化、钼锑抗比色法;土壤有效磷用Olsen法;磷酸酶用磷酸苯二钠比色法;磷素分级方法参考Hedley法^[12]和Guppy^[13]法测定。

2 结果与讨论

2.1 秸秆还田情况下蚯蚓活动对土壤全磷的影响

由图1(图1~图7中,A~G分别代表7季土壤样品;CK为对照;I为秸秆混施;IE为秸秆混施+蚯蚓;M为秸秆表施;ME为秸秆表施+蚯蚓)可知秸秆施用后土壤全磷量逐年显著提高,蚯蚓的正效应也有所体现,但不十分明显。在第5季(E)和第7季(G)中,不论何种秸秆还田方式蚯蚓对土壤的影响趋势一致见图2,均高于单施秸秆,且2种施用方式间没有显著差别;但在第6季土壤(F)中,蚯蚓均降低了全磷

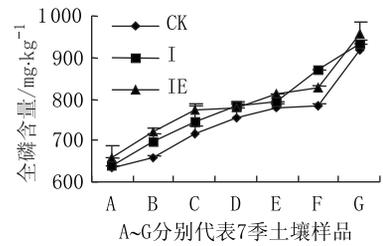


图1 1999—2002年7季作物成熟期土壤全磷量

Figure 1 Contents of soil total phosphorus in 7 crops during ripening season from 1999 to 2002

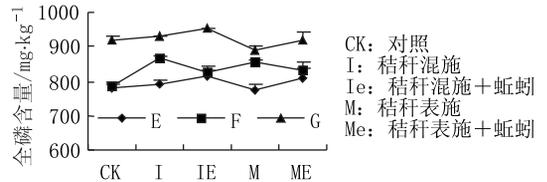


图2 后三季作物成熟期土壤全磷含量

Figure 2 Contents of soil total phosphorus during ripening seasons for the last three - crop season A ~ G

含量,原因不明。可能是2001年夏季的大量降水使经蚯蚓作用后转化而成的有效磷淋失,从而造成全磷量的降低。

2.2 秸秆还田情况下蚯蚓活动对土壤有效磷的影响

如图3所示,土壤有效磷与全磷量的总体变化趋势是一致的,相关性为0.9571。秸秆还田处理的有效磷含量与对照相比显著增高,也就是说秸秆肥和化肥配合施用对提高土壤有效磷含量有积极作用。由图4可知秸秆不同施用方式下蚯蚓都能提高土壤有效磷的含量,且2种施用方式间并没有表现出显著差异(第5季IE除外)。研究7季成熟期土壤发现,接种蚯蚓后土壤有效磷含量几乎呈直线上升趋势,而单施秸秆处理(I)在第5季后不再升高,基本在 $25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时达到稳定。据此推断蚯蚓对土壤中的有效磷含量的提高表现出正效应,但有效磷含量将为何种走势还未能确定。有效磷含量上升的原因可能是:

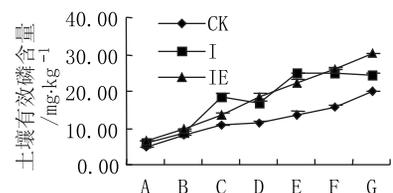


图3 1999—2002年稻麦轮作土壤有效磷动态变化

Figure 3 Dynamics of soil available phosphorus contents in the soils with rice - wheat rotation from 1999 to 2002

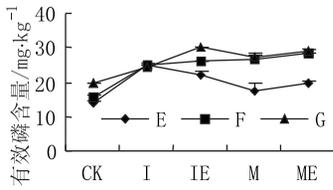


图 4 不同处理后下 3 季作物成熟期土壤有效磷含量

Figure 4 Contents of soil total phosphorus in the last three crop ripening seasons under different manipulations A ~ G

(1) 蚯蚓在大量吞吐植物残体以及土壤的时候, 有机磷的矿化发生在其肠道之中^[14], 使部分不易分解的磷矿化为有效磷, 提高了有机物料中 P 的有效性^[15,16], 从而提高了土壤有效磷的含量。

(2) 由于蚯蚓体内产生酸性和碱性磷酸单酯酶以及磷酸双酯酶^[9], 促使土壤磷向有效磷方向转化。但测定了 7 季土壤碱性磷酸酶的活性, 发现蚯蚓的引入并没有带来显著性变化, 从第 4 季开始蚯蚓活动对土壤磷酸酶的活性才略表现出增强作用见图 5。可能由于田间自然水平上, 酶受各种因素的影响比较多, 所以变化不明显。

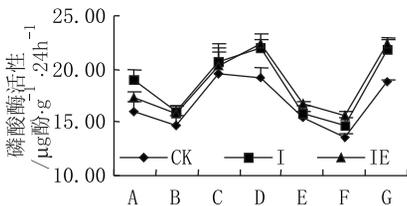


图 5 1999—2002 年稻麦轮作土壤碱性磷酸酶活性

Figure 5 Activity of soil alkaline phosphatase in the soil with rice - wheat rotation from 1999 to 2002

2.3 秸秆还田情况下蚯蚓活动对土壤各种无机磷的影响

树脂交换态磷 (Resin-P)、NaHCO₃ 提取态磷 (NaHCO₃-P)、NaOH 溶性磷和土壤团聚体内磷 (超声 NaOH-P) 是作物可以利用的 4 级无机磷, 包括速效态和缓效态磷, 可用以评价土壤有效磷库大小和土壤磷素供应状况^[11], 因此用于判断蚯蚓对土壤有效态磷的影响比较可靠。

在秸秆混施情况下, 2002 年第 7 批土壤与 1999 年第一批土壤相比, 以上 4 级无机磷的总量是升高的, 见图 6, 这与前述有效磷量的升高相吻合, 且各级磷的变化趋势基本相同: Resin-P 和 NaOH-P 含量升高, 超声 NaOH-P 有所下降, NaHCO₃-P 变化不确定。蚯蚓在秸秆混施情况下促进作用更突出。但在表施情

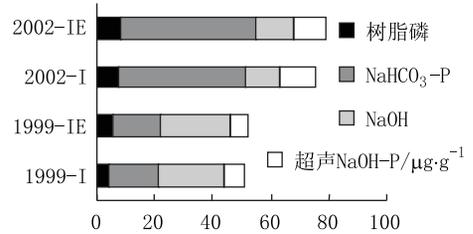


图 6 蚯蚓活动对 1999 年和 2002 年土壤无机磷的影响

Figure 6 Effects of earthworm activity on soil inorganic phosphorus from 1999 to 2002

况下土壤中有有效态磷的含量有下降趋势见图 7。原因是在蚯蚓的作用下, 大量秸秆有机磷被矿化为有效磷, 一方面被作物充分吸收和利用, 另一方面可能随降水或灌溉而流失, 造成该四级无机磷总量的降低。总体而言在秸秆混施时, 蚯蚓能够提高速效性和缓效性磷的总量, 其中树脂磷和 NaOH 磷升高, 超声 NaOH 磷有所降低, NaHCO₃ 磷在第 7 批土壤上表现出明显增高。可见速效态磷含量是升高的, 这对于作物生长非常有利, 但这是否会引起地下水的污染还有待于进一步研究和探讨。

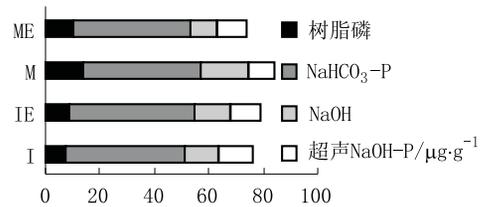


图 7 2002 年不同处理下土壤各级磷含量

Figure 7 Contents of soil inorganic phosphorus under different manipulations in 2002

参考文献:

- [1] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1994. 26 - 27.
- [2] 刘克锋, 韩 劲, 刘建斌. 土壤肥科学[M]. 北京: 气象出版社, 2001. 131 - 133.
- [3] 鲁如坤, 等. 土壤 - 植物营养学原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998. 49 - 50.
- [4] 熊 毅, 等. 中国土壤(第 2 版)[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 39 - 66.
- [5] 胡泽友, 郭朝晖, 周作明, 等. 湖南省稻田化肥施用与氮磷流失状况的研究[J]. 湖南农业大学学报, 2000, 26(4): 264 - 266.
- [6] 王凤鸣, 唐如玉, 王莉莉, 等. 浅谈湖泊富营养化日趋严重的有关问题[J]. 环境与开发, 1996, 11(4): 5 - 7.
- [7] 罗 明, 文启凯, 蔡玉俊, 等. 不同施肥措施对棉田土壤磷细菌及磷转化强度的影响[J]. 土壤与环境, 2001, 10(4): 316 - 318.
- [8] 高亚军, 朱培立, 王志明, 等. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对磷、钾和 pH 的影响[J]. 土壤, 2000, 5: 257 - 261.

- [9] 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): 105 - 111.
- [10] 李辉信,胡 锋,沈其荣,等. 接种蚯蚓对秸秆还田土壤碳、氮动态和作物产量的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1637 - 1642.
- [11] Bao - Gui Zhang, Gui - Tong Li, Tian - Shou Shen, etc. Changes in microbial biomass C, N, and P and enzyme activities in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia fetida*[J]. *Soil biology & biochemistry*, 2000, 32 : 2055 - 2062.
- [12] Guppy C N. Menzies N W. Moody P W. et al. A simplified, sequential, phosphorus fractionation method[J]. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, 2000, 31(11 - 14): 1981 - 1991.
- [13] Hedley M J, Steward J W B, Chauhan B S. Changes in inorganic and organic soil phosphorous fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1982, 46: 970 - 976.
- [14] lydie Chapis - Lardy, Michel Brossard, Patrick Lavelle, et al. Phosphorus transformations in a ferralsol through ingestion by *Pontoscolex corethrurus*, a geophagous earthworm[J]. *Eur J Soil Biol*, 1998, 34 (2): 61 - 67.
- [15] Caroline C. MBA. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management[J]. *Soil Biol Biochem*, 1997, 29: 381 - 385.
- [16] Mansell G P, Syers J K and Gregg P E H. Plant availability of phosphorus in dead herbage ingested by surface - casting[J]. *Soil Biol Biochem*, 1981, 13: 163 - 167.