

蚯蚓活动对麦田生态系统中土壤氮素渗漏的影响*

王霞 李辉信 胡锋[†] 王丹丹

(南京农业大学资源与环境学院, 南京 210095)

EFFECTS OF EARTHWORMS ON NITROGEN LEACHING IN WHEAT FIELD AGRO ECOSYSTEM

Wang Xia Li Huixin Hu Feng Wang Dandan

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

关键词 蚯蚓; 渗漏水; 氮素; ¹⁵N 示踪; 有机物料

中图分类号 S154.1 文献标识码 A

随着化学氮肥的大量施用, 氮素的渗漏(淋溶)损失及其对地下水的影响以及由此造成的环境问题越来越受到重视^[1~3]。但有关土壤动物活动, 尤其是蚯蚓活动对氮素渗漏影响的研究少有报道。蚯蚓是陆地生态系统中最为重要的大型土壤动物, 能影响土壤的形成发育, 改变土壤的理化性质^[4~7], 加速土壤养分的循环^[8~10], 促进有机物的分解矿化^[11~13]。蚯蚓的活动可能通过改变土壤物理性质、参与氮素的转化进而影响氮素的渗漏损失。国外一些学者已意识到该问题, 并对蚯蚓活动对地表径流以及渗漏水的影响进行了模拟研究^[14, 15], 但尚缺乏田间条件下的资料, 且关于蚯蚓活动能否造成地下水的污染也未明确。而这些问题对于理解生物活动参与的氮素渗漏过程及其对环境的影响非常重要。为此, 我们利用田间接种蚯蚓长期定位试验现场, 初步研究了蚯蚓活动对稻麦轮作农田土壤麦季氮素渗漏损失的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

本试验在南京农业大学网室进行。供试土壤为江苏省如皋县长江冲积物形成的高砂土, 基本理化

性质为: 有机 C 5.86 g kg⁻¹, 全 N 0.70 g kg⁻¹, 全 P 0.66 g kg⁻¹, 速效 P 6.0 mg kg⁻¹, 速效 K 47.1 mg kg⁻¹, pH 8.25。供试小麦品种为宁麦 9 号。于 2001 年 11 月 8 日播种, 2002 年 5 月 28 日收获。肥料品种为尿素、过磷酸钙和氯化钾, 微区中所用氮肥为丰度 10.59% 的¹⁵N 尿素(上海化工研究院产)。施用的有机物料为粉碎至 2 cm 左右的玉米秸秆(以下皆简称秸秆), 秸秆的 N、P 和 K 的含量分别为 7.96 g kg⁻¹、2.85 g kg⁻¹和 10.67 g kg⁻¹, C/N 比为 56.8。供试蚯蚓为土壤采样地的优势种, 是环毛蚓(*Pheretima*)的一种。

1.2 实验设计

本实验设置在长期稻-麦轮作的试验小区中(小区处理及实施情况请参阅已发表论文^[16])。微区试验共设 4 个处理, 4 次重复: (1) 秸秆混施, 不接种蚯蚓(Incorporation, I); (2) 秸秆混施, 接种蚯蚓(Incorporation + Earthworm, IE); (3) 秸秆表施, 不接种蚯蚓(Mulch, M); (4) 秸秆表施, 接种蚯蚓(Mulch + Earthworm, ME)。每 4 只 PVC 钵(30 cm × 20 cm × 35 cm) 随机埋入相同处理的 3 个小区, 以取得与田间试验极为相近的条件。钵子底部设置 30 cm × 20 cm × 5 cm 空间盛渗漏水, 每次降水事件后及时由导管抽出全部渗漏水。钵子上缘留 5 cm 高出地表, 防止

* 国家自然科学基金项目(30370286)

† 通讯作者, E-mail: fenghu@njau.edu.cn

作者简介: 王霞(1978~), 女, 博士研究生, 主要从事土壤生态学和恢复生态学研究。E-mail: xxw7811@yahoo.com.cn

收稿日期: 2003-11-13; 收到修改稿日期: 2004-04-29

^{15}N 随水流失。按土壤容重为 1.12 kg m^{-3} 装钵(每钵合干土 15.68 kg)。每隔 2 cm 播一粒种子,每钵播种两行。

1.3 肥料施用

钵内肥料施用量和施用方法与小区相同: N、P 和 K 肥分别按 210 kg hm^{-2} (纯 N 计), 105 kg hm^{-2} (P_2O_5) 和 105 kg hm^{-2} (K_2O) 的用量施用; 秸秆用量为 7500 kg hm^{-2} 。秸秆混施时, 装钵时与土壤充分混合; 表施时, 均匀覆盖于土表。

1.4 蚯蚓接种

每钵蚯蚓接种量为: 成蚓 2 条 (5.52 g), 小蚯蚓 6 条 (2.40 g), 与小区蚯蚓接种比例相同。

1.5 采样及分析方法

从播种开始, 每次降水事件结束后, 采集全部水样, 直到 2002 年小麦收获为止。测定渗漏水中的总 N 及 ^{15}N 含量。小麦收获后测定钵内土壤的全氮、矿质氮及其 ^{15}N 含量。

渗漏水中矿质氮 [$(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-) - \text{N}$] 的含量的测定用 MgO -一代氏合金蒸馏法; 土壤中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 用靛酚兰比色法测定; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 用 $\text{Cr}-\text{Cd}$ 还原法; 土壤全氮用半微量开氏法; 有机碳用 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 氧化法; ^{15}N 丰度用质谱法^[17]。

2 结果与分析

2.1 蚯蚓活动对土壤总渗漏氮量的影响

由于渗漏水中的氮素形态多以矿质态为主^[18, 19], 因此测定渗漏水中的矿质总氮 ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- - \text{N}$) 来代表氮的总渗漏量是可行的。每次降水事件后收集总降水量, 进行体积、浓度测定, 然后计算总渗漏氮量。前 4 次皆测出渗漏氮量的数据(每次降水事件分别用 A、B、C、D 表示), 4 次之后渗漏氮量浓度过低, 所以不计算在内。

从 4 次采样氮素渗漏总累积量来看(图 1), 不论是秸秆混施, 还是表施, 蚯蚓活动都使得渗漏氮量有所升高, 分别比不接种蚯蚓处理提高 12.0% 和 16.9% 。其中第一次降水事件(A)氮素渗漏量最大, 约占氮素渗漏氮总量的 $92.0\% \sim 95.6\%$ 。

蚯蚓对氮素渗漏损失的影响与秸秆施用方式有关。秸秆表施时, 蚯蚓活动对渗漏氮量的提高达到显著水平 ($p < 0.05^*$), 而当秸秆混施时, 差异不显著。蚯蚓对氮素渗漏的影响在秸秆表施时比秸秆混施时大, 原因可能是由于秸秆表施为蚯蚓提供了较

好的庇护条件, 有助于保持蚯蚓的活性, 且表施时蚯蚓向上取食秸秆的活动更加频繁, 促进了土壤大孔隙的形成及孔隙的上下贯通。

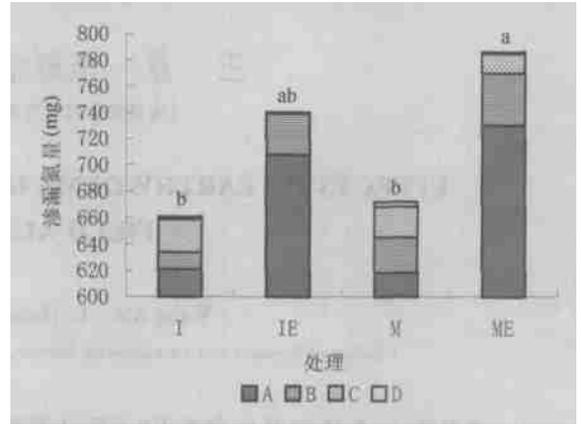


图 1 蚯蚓活动对氮素渗漏量的影响
(A~D 依次代表 4 次降水事件)

具体而言, 蚯蚓活动提高渗漏氮量可能有以下几种机制: (1) 蚯蚓活动形成的土壤大孔隙提供了水分优先通道^[14], 在降低土表径流量的同时增加了水分渗漏量^[15], 从而导致渗漏氮量的增加; (2) 蚯蚓活动可加速土壤或秸秆中有机氮素的矿化和无机氮的释放^[20], 增加了可随水渗漏的总氮量; (3) 蚯蚓活动可通过对有机物料的破碎等途径提高土壤可溶性有机氮的含量, 导致氮素的向下运移或流失^[16, 21]。

2.2 蚯蚓活动对肥料 ^{15}N 渗漏量的影响

^{15}N 示踪结果显示(图 2), 蚯蚓活动使得肥料氮渗漏损失降低, 秸秆混施和表施处理接种蚯蚓后肥料氮渗漏损失分别降低了 16.4% 和 16.6% , 但差异未达到显著水平 ($p < 0.05$)。以上结果说明蚯蚓活动造成的氮的渗漏损失主要来源不是肥料氮, 而可能来源于土壤本体和秸秆氮素。

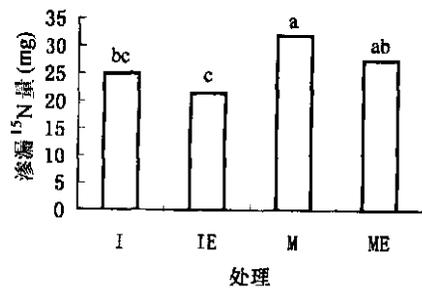


图 2 肥料 ^{15}N 渗漏量

虽然蚯蚓活动提高了总渗漏氮量, 但并未造成肥料氮渗漏损失的增加, 原因可能有以下 3 个方面: (1) 蚯蚓粪一般具有很高的阳离子交换量^[22], 对铵

离子有较强的吸附能力,对肥料氮有保蓄作用,且蚯蚓粪的水稳性高不易于被降水破坏;(2)蚯蚓粪的微生物量及活性往往也明显高于本体土壤^[11],而微生物对无机氮的生物固持作用也可减少部分肥料氮的损失;(3)蚯蚓可分泌某些激素类物质刺激作物的生长,有助于养分的吸收和利用^[23]。

2.3 蚯蚓活动对土壤全氮和矿质氮的影响

蚯蚓活动提高了渗漏氮量,是否会造成土壤氮素的匮乏?为此,测定了土壤全氮和矿质氮含量的变化。结果显示:虽然在蚯蚓的作用下渗漏氮量有所增加,但是土壤全氮含量并没有呈现降低趋势。尤其是在秸秆表施处理中,蚯蚓活动反而使全氮含量显著增加($p < 0.05$) (图3)。土壤矿质氮含量也没有因为蚯蚓的加入而降低(图4)。该结果说明蚯蚓活动不会降低土壤氮素含量,但是土壤氮素是否为渗漏氮量的主要来源仍不能确定。

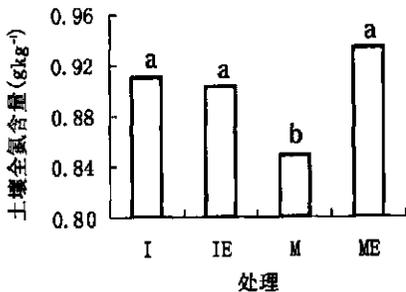


图3 蚯蚓活动对土壤全氮的影响

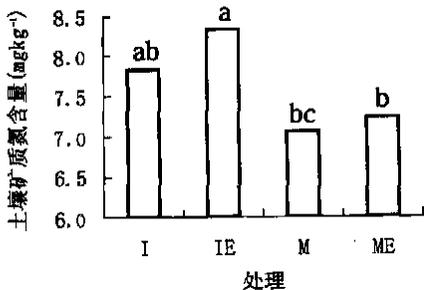


图4 蚯蚓活动对土壤矿质氮的影响

接种蚯蚓处理土壤氮素含量未降低的原因可能是:(1)蚯蚓的取食活动加速了秸秆的分解和矿化,秸秆中的氮素大量地释放到土壤中;(2)蚯蚓排出的物质含较丰富的 IAA 等激素^[24],可能促进植物根系的生长,增加了土壤氮素的补给;(3)蚯蚓会牧食少量植物根系,而适度地牧食可能对植物生长产生刺激作用^[8, 25, 26],从而加速植物残体的归还,补充了体内的氮素。总体而言,蚯蚓活动能增加有机残体的归还并加速有机残体的分解,使得土壤氮素含量

维持较高水平,不会造成土壤氮素的匮乏。但是,这部分氮素在被作物吸收利用的同时,也提高了氮素淋失和地下水污染的可能性。蚯蚓作用利弊的权衡仍需要进一步研究和探讨。

参考文献

- [1] 杨学云,张树兰,袁新民,等.长期施肥对土壤硝态氮分布、累积和移动的影响.植物营养与肥料学报,2001,7(2):134~138
- [2] 孙志梅,薛世川,彭正萍,等.影响土壤 NO⁻³N 淋失的因素及预防措施.河北农业大学学报,2001,24(3):95~99
- [3] 朱安宁,张佳宝.黄潮土的土壤水渗漏及硝态氮淋溶研究.农村生态环境,2003,19(1):27~30
- [4] 尹文英等主编.中国土壤动物.北京:科学出版社,2000.1~4
- [5] 胡锋,吴珊眉,黄瑞采.蚯蚓活动在红壤生态系统物质循环中的作用.见:张先婉主编.土壤肥力研究进展.北京:中国科学技术出版社,1992.176~183
- [6] 胡锋,李辉信.蚯蚓和蚁类活动对红壤性质的影响.见:中国科学院红壤生态实验站编.红壤生态系统研究(第五集).北京:中国农业科技出版社,1998.276~285
- [7] 李辉信,胡锋,沈其荣,等.接种蚯蚓对秸秆还田土壤 C, N 动态和作物产量的影响.应用生态学报,2002,13(12):1637~1641
- [8] Werner M R. Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. Applied Soil Ecology, 1997, 5: 151~167
- [9] Quideau S A, Graham R C, Chadwich O A, et al. Organic carbon sequestration under chaparral and pine after four decades of soil development. Geoderma, 1998, 83: 227~242
- [10] Andr en O, K tterer T, Hyvonen R. Projecting soil fauna influence on long term soil carbon balances from faunal exclusion experiments. Applied Soil Ecology, 2001, 18: 177~186
- [11] 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):105~110
- [12] Parkin T B, Berry E. Microbial nitrogen transformations in earthworm burrows. Soil Biol. Biochem., 1999, 31: 1765~1771
- [13] Subler S, Kirsch A S. Spring dynamics of soil carbon, nitrogen, and microbial activity in earthworm middens in a no till cornfield. Biology & Fertility of Soils, 1998, 26(3): 243~249
- [14] Pitk nen J, Nuutinen V. Earthworm contribution to infiltration and surface runoff after 15 years of different soil management. Applied Soil Ecology, 1998, 9: 411~415
- [15] Shuster W D, McDonald L P, McCartney D A, et al. Nitrogen source and earthworm abundance affected runoff volume and nutrient loss in a tilled corn agroecosystem. Biol. Fertil. Soils, 2002, 35: 320~327
- [16] 王霞,胡锋,李辉信,等.秸秆不同还田方式下蚯蚓对旱作稻田土壤碳、氮的影响.生态环境,2003,12(4):462~466
- [17] 鲁如坤主编.土壤农业化学分析方法.北京:中国农业科技出版社,1999
- [18] 王家玉,王胜佳,陈义,等.稻田土壤中氮素淋失的研究.土壤学报,1996,33(1):28~36

- [19] 刘培斌, 丁跃元, 张瑜芳. 田间一维饱和-非饱和土壤中氮素运移与转化的动力学模式研究. 土壤学报, 2000, 37(4): 490~498
- [20] Cortez J, Billes G, Bouché M B. Effect of climate, soil type and earthworm activity on nitrogen transfer from a nitrogen 15 labelled decomposing material under field conditions. Biol. Fertil. Soils, 2000, 30: 318~327
- [21] Subler S, Baranski C M, Edwards C A. Earthworm additions increased short term nitrogen availability and leaching in two grain crop agroecosystems. Soil Biol. Biochem., 1997, 29: 413~421
- [22] Materechera S A. Nutrient availability and maize growth in a soil amended with earthworm casts from a South African indigenous species. Bioresource Technology, 2002, 84: 197~201
- [23] Brown G G, Hendrix P F, Beare M H. Earthworms (*Lumbricus rubellus*) and the fate of 15 N in surface applied sorghum residues. Soil Biol. Biochem., 1998, 30(13): 1701~1705
- [24] 胡佩, 刘德辉, 胡锋, 等. 蚯蚓粪中的植物激素及其对绿豆插条不定根发生的促进作用. 生态学报, 2002, 22(8): 1211~1214
- [25] Manuel C M. Ecology: Concepts and Applications. McGraw-Hill, 2000. 150~153
- [26] Brussaard L. On the mechanisms of interactions between earthworm and plants. Pedobiologia, 1999, 43(6): 880~885