

裂缝对稻田土壤溶液中氮运移的影响

黄树辉, 吕 军

(浙江大学环境资源学院, 浙江 杭州 310029)

摘 要:采用温室中土柱培养试验方法,研究了裂缝对稻田土壤溶液中 N 元素动态运移规律。结果表明,青紫泥和黄斑田从开裂到稳定,土壤溶液中的硝态氮浓度随着时间的延长而降低,亚硝态氮浓度随时间而波动,而这 2 种氮的浓度在没有开裂的小粉土中却随着时间而呈乘幂增加。在自然干燥过程中产生的裂缝性质对土壤溶液中的硝态氮和亚硝态氮浓度变化有显著影响,但是对铵态氮浓度的变化没有影响。裂缝从产生到稳定的过程中,深层土壤中的硝态氮浓度一直在减少,这样有利于减少硝态氮的下渗,减少硝态氮对地下水的污染。

关键词:裂缝;水稻土;氮;运移

中图分类号:S151.93 **文献标识码:**A **文章编号:**1672 – 2043(2004)03 – 0499 – 04

Effect of Cracks on Nitrogen Transport in Paddy Soil Solutions

HUANG Shu-hui, LÜ Jun

(College of Nature Resource and Environmental Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: Three kinds of paddy soils were added enough water, then dried under natural condition in a greenhouse in the soil columns incubation experiments. The experiments showed Qingzini and Huangbantian with high clay contents produced cracks, but the cracks didn't appear in Xiaofentu with low clay contents. The concentrations of total nitrogen and nitrate decreased with the incubation time, and the nitrite concentration fluctuated in cracked Qingzini and Huangbantian 0.9m depth soil solution; while, in no cracked Xiaofentu 0.9m depth soil solution, their concentrations increased by power curves. The important properties of soil cracks, namely volume of cracks, internal crack surface and soil – crack depth had significant effects on the change of nitrate and nitrite concentrations but not ammonium in the soil solutions. From cracks producing to stabilizing, the concentration of nitrate in the deep depth soil decreased continually, which was helpful to decrease the leakage of nitrate and pollution of groundwater.

Keywords: cracks; paddy soil; nitrogen; transport

水稻土在烤田的情况下容易产生裂缝,裂缝的存在常常会导致优先水流和溶质优先迁移的发生,溶质的优先迁移会导致溶质大量淋失。如优先水流只占排水体积的 1.6% 和 0.9%,但却携带了灌溉水中 Br⁻ 的 12% ~ 24% 和 NO₃⁻ 的 9% ~ 20%^[1]。而 NO₃⁻、NO₂⁻、NH₄⁺ 进入地下水体可能污染饮用水及导致水体富营养化。故研究伴随着裂缝产生过程中的 N 元素在土表下某一位置的演变,对于了解不同 N 形态在土壤中的迁移转化规律,减少氮素的流失和环境污染都是很有意义的。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自嘉兴双桥农场脱潜潜育型水稻土青紫泥,潜育型水稻土黄斑田和浙江大学农场潜育型水稻土小粉土。其理化性质见表 1。

1.2 土柱试验

选取水稻土青紫泥、黄斑田和小粉土表层 0 ~ 30

表 1 3 种土壤的基本理化性质

Table 1 Basic properties of three kinds of paddy soils

土样	pH(2.5:1)	有机质/%	TN _g /N · kg ⁻¹ 土	粘粒含量/%
青紫泥	6.89	2.713 2	2.747	22.4
黄斑田	6.30	4.588 5	3.818	35.5
小粉土	5.64	0.601 9	0.922 8	17.8

收稿日期: 2003 – 09 – 24

基金项目: 国家 973 项目(2002CB410807)

作者简介: 黄树辉(1977—),女,湖南长沙人,在读博士生,主要从事环境工程和氮循环方面的工作。E – mail: hshuhui@sohu.com

cm 鲜土样,风干磨细,过筛,装入土柱中,在浙江大学温室中培养,培养期间温度为 32℃~34℃。土柱的高度为 95 cm,直径 30 cm。在 90 cm 深度处取水样,此外底部有排水口。先在土柱底部装入过筛,洗净,烘干的石英砂 10 cm 高,然后装土 80 cm 高。每种土样 3 个重复。装土后浸水 2 d,然后在底部排水口排水,并监测其第 1 次出水,各项指标值见表 2。将水排干后第 2 次

灌水,水淹至离表土 5 cm 高。然后不加水,让土柱中的水在环境中自然蒸发。在土壤含水量达到一定程度,青紫泥和黄斑田将自然产生裂缝,而小粉土不开裂。观察裂缝的总长,平均宽度,平均深度,然后计算出裂缝的平均体积和平均面积。第 2 次淹水的第 2 d 开始记作培养的第 1 d。每天在 90 cm 深度处取土壤溶液中的水样监测 NO_3-N 、 NO_2-N 、 NH_3-N 、 TN 、 pH

表 2 第一次排水后水样的基本性质
Table 2 Basic properties of soil solution after the first drainage

土样	$\text{NO}_3-\text{N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NO}_2-\text{N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{NH}_3-\text{N}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	$\text{TN}/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	Eh/mV
青紫泥	0.0607 54	0.789 752	2.729 732	8.130 435	171
黄斑田	0.011 944	0.038 199	4.034 206	5.326 087	-23
小粉土	9.583 73	0.438 82	14.566 62	26.417 35	205

和 Eh 等值,在土柱表面取土样监测土样的含水量。

2 结果与分析

2.1 水稻土的裂缝产生与含水量的变化

青紫泥和黄斑田在培养的第 2 d 时,土柱表面水深 1 cm,小粉土的表面已经无水了。青紫泥在第 3 d 开始出现裂缝,在第 4 d 时,黄斑田也开始出现裂缝。小粉土在整个过程中没有出现裂缝。在干湿交替过程中,土壤随水分增加或减少发生膨胀或收缩,膨胀与收缩的程度与土壤质地有关。粘质土干燥时,土体收缩会产生裂缝或裂隙状的大孔,在土表产生宽而深的裂隙(fissures)。质地越粘的土,产生的裂缝越明显,由于小粉土的粘粒含量非常低,所以在整个过程中没有开裂。青紫泥和黄斑田在裂缝生成过程中,裂缝总长度、平均宽度和平均深度的演变可用表 3 来模拟。青紫泥和黄斑田的裂缝平均体积、平均面积及平均深度两两之间随着时间的演变规律存在着极显著的相似性,这也说明裂缝随着时间的演变有一定的规律性。

青紫泥和黄斑田由于粘粒含量和有机质含量的差异导致了它们的裂缝演变有一些差异。青紫泥土的裂缝平均体积和深度都比黄斑田的值要大,而平均面积要比黄斑田的值小。因而青紫泥田最终形成短、粗、深的裂隙,黄斑田生成长、窄、浅的裂隙。青紫泥田的裂缝形状在裂缝出现第 6 d(培养的第 8 d)开始稳定,而黄斑田的裂缝形状在裂缝出现第 5 d(培养的第 8 d)就开始稳定。

3 种土壤含水量的变化主要是随着培养时间的增加而减少。裂缝的出现并没有影响含水量的变化,它们与时间的变化关系可以用乘幂曲线来模拟。土壤

表 3 青紫泥和黄斑田的裂缝性质
Table 3 Characters of cracks in two different paddy soils

时间 /d	平均体积/ cm^3		平均面积/ cm^2		平均深度/cm	
	青紫泥	黄斑田	青紫泥	黄斑田	青紫泥	黄斑田
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	54.395	0	23.65	0	2.3	0
4	140.456 3	125.712	31.212 5	34.92	4.5	3.6
5	212.058	186.543	39.27	44.415	5.4	4.2
6	267.057 6	286.272	45.264	59.64	5.9	4.8
7	372.794 5	269.88	44.915	51.9	8.3	5.2
8	373.334	271.44	44.98	52.2	8.3	5.2
9	373.334	271.44	44.98	52.2	8.3	5.2
10	373.334	271.44	44.98	52.2	8.3	5.2
11	373.334	271.44	44.98	52.2	8.3	5.2

裂缝表面的蒸发并不会显著影响含水量的损失,除非出现了特别大的裂缝^[2]。

2.2 氨态氮浓度随时间的演变

从图 1 中可看出氨态氮浓度的变化,青紫泥和小粉土在第 3 d 有 1 个高峰,黄斑田在第 5 d 达到 1 个高峰。在第 7 d 3 种土壤的氨态氮浓度最低,又继续上升。黄斑田和小粉土在第 9 d 达到最大值。青紫泥在第 10 d 达到最大值。裂缝的存在与否对土壤水溶液中的氨态氮浓度演变没有影响。土壤溶液中的铵态氮运移主要以扩散为主,随着培养时间的增长,土壤含水量在不断减少,铵离子的扩散速度也渐渐减慢。而到了第 7 d 由于土壤含水量已经很低,土壤中释放和交换置换出来的铵很少,故到了第 7 d 土壤溶液中的铵态氮很低。第 7 d 以后,由于阳离子的交换反应,以及交换性阳离子的水解,土壤交换性铵则可能进入液相,此外有机氮的不断矿化,都保证了土壤溶液中有铵离子存在,且不断积累^[3]。

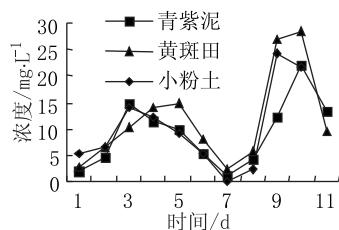


图 1 土壤溶液中氨氮浓度随时间的演变

Figure 1 Changes of the ammonium concentration in the soil solutions

2.3 裂缝与硝态氮浓度演变的关系

从图 2 可以看出开裂土壤青紫泥和黄斑田的硝态氮浓度变化规律与小粉土存在显著差别。小粉土由于质地的原因导致硝态氮特别易淋溶,随着时间的变化,土壤水溶液中的硝态氮浓度不断上升可用乘幂曲线 $y = 0.096 2x^{0.687 7}$, $r = 0.917$ 来模拟小粉土溶液中的硝态氮浓度变化。在青紫泥土壤溶液中的硝态氮浓度从裂缝出现第 3 d 到稳定的第 8 d,一直在线性减少。从裂缝出现到稳定青紫泥土壤溶液中的硝态氮浓度可用 $y = -9E-05x + 0.049 8$, $r^2 = 0.994 4$ 来模拟。在黄斑田土壤溶液中的硝态氮浓度从裂缝出现第 4 d 到稳定的第 8 d,一直在减少,从裂缝出现到稳定黄斑田土壤溶液中的硝态氮浓度可用 $y = -0.000 2x + 0.091 7$, $r^2 = 0.903 3$ 来模拟。数据分析表明,青紫泥和黄斑田的硝态氮浓度与裂缝的体积、面积、平均深度的变化都呈显著负相关。因为这两种土壤的裂缝产生,虽然增加了土壤中气体与大气气体的交换,增加了土壤的氧气,增大了土壤中的硝化反应速度,但是我们从表 3 可以看出裂缝的深度最大也不到 9 cm,所以裂缝的产生对于 90 cm 深度处的土壤中的硝化反应速度没有激发作用,而深层土壤仍然进行着反硝化还原反应。此外由于这两种水稻土的粘粒含量较高,土壤硝化率与土壤粘粒含量呈明显负相关^[4],而粘粒含量与土壤裂缝性质呈正相关,故土壤溶液中的硝态氮浓度随时间的动态变化与土壤开裂程度呈负相关也是可以解释的。此外粘质土壤有利于反硝化作用,并且在粘质土壤中 NO_3^- 下渗速度很慢^[5],故青紫泥和黄斑田的硝态氮浓度不如粘粒含量低的小粉土易迁移到土层深处^[6,7]。所以在裂缝从生成到稳定的这个过程硝态氮含量在逐渐减少。裂缝变化稳定后,土壤中的含水量也趋近于稳定,土壤中的氧气也加快了与大气交换的速率,硝化反应的速率呈上升趋势,土壤溶液中的硝态氮浓度从第 8 d 后呈上升趋势。从土壤裂缝产生到稳定的这段时期,硝态氮

浓度一直在下降这一规律可以得出,水稻种植期间适当的烤田并不会增加硝态氮的浓度,反而会减少硝态氮的淋失损失,故适当的烤田有利于合理利用氮肥,减少氮肥的损失和氮素的淋失。

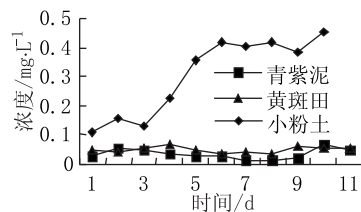


图 2 土壤溶液中硝态氮浓度随时间的演变

Figure 2 Changes of the nitrate concentration in the soil solutions

2.4 亚硝态氮浓度随时间的演变

由图 3 可见开裂土壤青紫泥和黄斑田的硝态氮变化规律与小粉土存在显著差别。小粉土随着时间的变化趋势可以用乘幂关系表示 $y = 0.026 x^{1.175 5}$, $r^2 = 0.926 8$,亚硝态氮在小粉土溶液中的浓度呈增加趋势。在青紫泥土壤溶液中的或硝态氮浓度分别于第 2, 5, 9 d 有高峰出现,第 1, 7, 8 d 值为零。在黄斑田土壤溶液中的亚硝态氮浓度分别于第 3, 5, 7, 10 d 出现高峰,第 5 d 为高峰的最大值。第 1 d 为最低值零。由于 NO_2^- 在反硝化反应中处于中间状态,所以有时在土壤溶液中检测不到它的存在,它的值随着土壤溶液中的硝态氮含量、氧气含量的多少进行着不同强度的硝化与反硝化反应,故亚硝态浓度随着时间而波动变化。青紫泥硝态氮与亚硝态之间存在线性正相关,黄斑田硝态氮与亚硝态之间存在抛物线正相关。硝酸根离子的含量决定着土壤溶液中亚硝酸根离子含量的多寡。

2.5 土壤溶液中 Eh 与各 N 元素的关系

图 4 表明了 3 种土壤溶液中 Eh 的变化,可以看出, Eh 的值除了第 1 d 外,都为负值,但最低不低于 -100 mV,这表明在 90 cm 深处,土壤呈较强还原状态。故在此处的土壤能发生较强的反硝化反应,这也是土壤溶液中能检测到 NO_2^- 的原因。

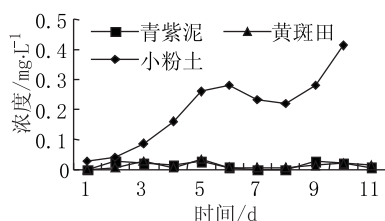


图 3 土壤溶液中亚硝态氮浓度随时间的演变

Figure 3 Changes of the nitrite concentration in the soil solutions

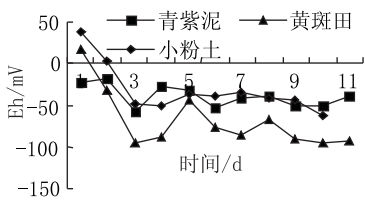


图 4 土壤溶液中 Eh 的变化

Figure 4 Changes of Eh in the soil solutions

小粉土土壤溶液中的 Eh 值与硝态氮、亚硝态氮和总氮之间存在较强的负相关性,但是 Eh 与铵态氮浓度之间并不存在这种相关关系。这说明硝化反硝化反应控制着土柱中土壤溶液中氮元素的运移。此外 Eh 与开裂土壤青紫泥、黄斑田土壤溶液中各种 N 元素之间的相关性并不明显。除了硝化反硝化影响 N 元素在这两种土壤土壤溶液中的运移外,与铵有关的反应以及氮溶质在土壤溶液中的扩散也影响着氮的运移。

3 小结

土壤在自然干燥过程中产生的裂缝对土壤溶液中的硝态氮和亚硝态氮浓度变化有显著影响,但是对铵态氮浓度的变化没有影响。裂缝的出现并没有影响土壤含水量的变化。裂缝的平均体积、平均面积、平均深度与土壤溶液中的硝态氮浓度之间存在线性负相关。硝态氮浓度的变化影响着土壤溶液中亚硝态氮浓度。裂缝的产生影响着土体的氧化还原状态,改

变着土壤溶液中的 Eh 值。没有裂缝产生的小粉土土壤溶液中的 Eh 值与硝态氮、亚硝态氮和总氮之间存在较强的负相关性。有裂缝产生的青紫泥和黄斑田中的土壤溶液中的 Eh 值与硝态氮、亚硝态氮和总氮之间没有明显的相关关系。

水稻种植期间烤田产生的裂缝,对深层土壤溶液中的硝态氮浓度并没有增加,有利于减少硝态氮的下渗,有利于防止硝态氮对地下水的污染。

参考文献:

[1] Everts C J, Kanwar R S, Estimating preferential flow to a subsurface drain with tracers[J]. *Trans ASAE*, 1990, 33(2): 451 – 457.

[2] Adams J E, Hanks R J, Evaporation from soil shrinkage cracks[J]. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1964, 28: 281 – 284.

[3] 朱兆良,文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京:江苏科学技术出版社, 1992. 70 – 72.

[4] Li Liangmo, Pan Yinghua, Zhou Xiuru, et al. Nitrification and nitrogen loss in different soils. *Soil Science Society of China(ed), Current Progress in Soil Research in People’s Republic of China*, Jiansu Science and Technology Publishing House, 1986. 135 – 143.

[5] 杨 林, Henry C L. 生物固体对土壤氮循环和硝态氮淋洗的影响[J]. *农业环境保护*, 1997, 16(4): 182 – 186.

[6] 贾良清, 区自清. 污染物在土壤—植物系统中迁移规律的数字模拟研究: II. 大孔隙和优先水流[J]. *资源生态环境网络研究动态*, 1995, 6(2): 16 – 19.

[7] Thomas G E, Philips R E, Consequences of water movement in macropores[J]. *J Environ Qual*, 1979, 8(2): 149 – 152.