

淹水稻田中氮素损失及其对水环境影响的试验研究

高效江¹, 胡雪峰², 王少平², 贺宝根², 沈铭能²

(1. 复旦大学环境科学与工程系, 上海 200433; 2. 华东师范大学地理系, 上海 200062)

摘要: 采用野外田间试验方法,研究了淹水稻田施用碳铵后,氮素的转化、运移和损失的作用过程。结果表明,田间水中氮素以氨氮为主,淹水稻田剖面土壤溶液中氨氮和硝态氮的含量随深度增加而降低。土壤 0.5 m 深度以下,淋溶液中硝态氮和氨氮水平较低,在 0.6—4.8 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 之间,对地下水环境有一定影响。模拟暴雨径流试验表明,田间氮素径流损失负荷随施肥与降雨间隔时间延长而明显降低,施肥后短时间内暴雨径流导致的氮肥损失较大,对地表水环境污染严重,必须加强科学合理的田间水肥管理。

关键词: 淹水稻田; 氮素; 损失; 影响

中图分类号: S13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2001)04 – 0196 – 03

Loss of Nitrogen in Rice Field and its Influence on Water Environment

GAO Xiao-jiang¹, HU Xue-feng², WANG Shao-ping², HE Bao-gen², SHEN Ming-neng²

(Department of Environmental Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433 China)

Abstract: An Experiment was done to assess the loss of nitrogen in rice field during tillering stage of paddy rice at a farm water conservancy test station in Qingpu, Shanghai. After application of ammonium bicarbonate, to rice field with drowned water, it has been found that most of nitrogen was in $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, with a large variation of concentrations by the time. In soil solution of vertical profile, the concentration levels of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ and $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ were not high under the conditions of drowned and anaerobic reduction, in an range of from 0.6mg $\cdot \text{L}^{-1}$ to 4.8 mg $\cdot \text{L}^{-1}$, decreasing with depth. In addition, there still existed a certain contamination on the groundwater. Simulated rainmaking tests showed that the nitrogen loss load of runoff in rice field was closely related to the interval time between applying fertilizer and rainfall. When rainfall occurred briefly after applying fertilizer, the runoff loss of nitrogen in rice field may be up to about 10%, which considerably affect on surface water quality.

Keywords: drowned rice field; nitrogen; loss; influence

太湖流域水网密布,但随着工业化、城市化和农业现代化的发展,水环境质量日益恶化^[1]。在工业点源污染得到基本控制的同时,该地区农业面源污染问题普遍比较突出,特别是农田化肥流失及其对环境的影响日益严重并受到人们的关注^[2-7]。上海位于太湖流域的下游,市郊广大地区农业生产中化肥用量是我国最高的地区之一。化肥的长期大量施用和流失,已导致浅层地下水水质的恶化、地表水体富营养化,对上海水环境影响严重^[8]。上海地区大部分降雨集中在6—8月,此时正值水稻施基肥、分蘖或拔节期的追肥阶段,田间碳铵、尿素施用量很大。大量氮肥特别容易通过降雨径流和渗滤淋溶作用损失,污染地表和浅

层地下水。因此,本文开展夏季集中降雨季节稻田中氮肥的运移和损失过程的试验研究,探讨其对水环境的影响,对制定科学合理的水肥管理措施、保护农业水环境具有重要意义。

1 试验研究方法

本研究于1999年8月在上海青浦农田水利试验站野外测坑中进行。试验测坑土壤为青紫泥水稻土,耕层土壤的pH值为7.7—8.2,有机质含量1.0%—1.97%,全氮为0.05%—0.11%。在测坑土壤剖面的不同深度设置有采水装置,不同深度的土壤溶液和地下水可在重力作用下自然排出。测坑净面积6 m²,土层深度2.1 m。测坑池壁为混凝土结构,池壁超高15 cm,径流管高7.5 cm。

水肥管理条件:按当地常规,水稻分蘖期追施氮肥为碳铵,表施于田面水中。试验测坑中碳铵施用量

收稿日期: 2000 – 09 – 06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49831070)和上海市教委重点学科项目资助

作者简介: 高效江(1969—),男,复旦大学环境科学与工程系副教授,从事水、土环境地球化学方面科研教学工作。

高于大田,折纯氮为 117 kg · hm⁻²。施肥时田面水深 70 mm。测坑渗漏强度控制为 3 mm · d⁻¹。施肥后除大的暴雨径流外,不田面排水。

模拟暴雨径流试验:测坑暴雨径流采用人工模拟降雨进行。模拟雨水引自天然降雨汇水池,用可动多孔喷头均匀降雨。降雨强度为 15 mm · h⁻¹,总降雨量 40 mm。按施肥与降雨的时间间隔不同,分别在施肥后 17 h、48 h、96 h 开始降雨。

水样采集及分析:施肥和模拟降雨前后,定期采集田间淹水、不同深度土壤溶液、雨水和降雨径流水样,并按环境监测国家标准方法及时测定水样中的 NH₄⁺ - N、NO₃⁻ - N 和 NO₂⁻ - N 含量。

2 结果与讨论

2.1 田间水中氮素的含量变化

表 1 为施肥后田间水三态无机氮含量的变化情

况。由此可见,碳铵表施于田间淹水中,在短时间内即可溶解,释放出大量的氨态氮,田间水中 NH₄⁺ - N 含量快速上升,在施肥后 5 h 可达最高值 (148.6 μg · mL⁻¹);10 h 左右又迅速降低,随后氨氮含量变化随时间增加呈降低趋势。这可能主要由于试验时温度和风等环境条件促使 NH₃ 挥发作用强烈,消耗损失大量的氨态氮的缘故。虽然 NH₃ 挥发过程十分复杂,且受许多因素的影响,在自然条件下估算其损失非常困难,但是可以肯定 NH₃ 挥发是稻田氮素损失的主要途径之一。另外,氨氮通过渗滤作用被土壤吸附、作物吸收以及硝化作用的进行也是田间水中氨氮降低的重要原因。另外,在施肥 1 周后田面水中氨氮仍然保持一定浓度 (17.0 μg · mL⁻¹),未达到安全水平,若田间排水或降雨径流,势必影响附近河道水环境质量。

淹水稻田表施碳铵后,田间水中硝态氮和亚硝态氮的含量较低 (表 1)。硝态氮含量在 1.81—5.11

表 1 施碳铵后田面水中硝态氮和亚硝态氮含量变化

Table 1 Change of contents of nitrate - N and nitrite - N in water from the rice field after application of ammonium bicarbonate

施肥后时间/h	1	5	10	22	34	58	82	118	142	166
NH ₄ ⁺ - N/μg · mL ⁻¹	31.9	148.6	71.3	68.4	72.9	89.2	86.2	41.9	32.9	17.0
NO ₃ ⁻ - N/μg · mL ⁻¹	3.78	5.11	2.21	2.45	3.18	1.85	1.81	2.45	2.90	5.11
NO ₂ ⁻ - N/μg · mL ⁻¹	0.06	0.07	0.05	0.04	0.04	0.05	0.08	0.10	0.23	0.40

μg · mL⁻¹ 范围,一定程度上说明稻田长期施用无机肥,田间硝化细菌相对不活跃,硝化过程比较缓慢。田间水中亚硝态氮的含量很低,在 0.04—0.40 μg · mL⁻¹ 变化,只占氮素的很少比例。总之,碳铵在田间表施,水层中以 NH₄⁺ - N 为主,NO₃⁻ - N 次之,NO₂⁻ - N 只占很小比例。

2.2 土壤剖面中氮素的变化动态及对地下水的影响

相对旱地土壤氮肥淋溶损失,淹水稻田氮肥淋溶损失对地下水的影响目前没有得到人们足够的重视。施入淹水稻田中的氮肥,通过渗滤作用在土壤剖面中向下运移,也可能对地下水造成污染。因此,监测稻田深层土壤溶液和浅层地下水中氮素的变化是十分必要的。

由于稻田土壤中的有机无机组分对氨氮具有较强的吸附性能,所以 0.5 m 以下的渗滤土壤溶液中的氨氮相对田间水中大大降低,在 0.8—4.8 μg · mL⁻¹ 之间。随着深度的增加,氨氮的含量明显减少 (图 1)。随着施肥后时间的延长,氨氮在 0.5—0.8 m 深度的土壤溶液的含量变化较大,在施肥后 94 h 时,土壤溶液中氨氮含量的增高,可能是由于上层土壤对氨氮的吸附趋于饱和的缘故。而在 1 m 以下的土层中氨氮

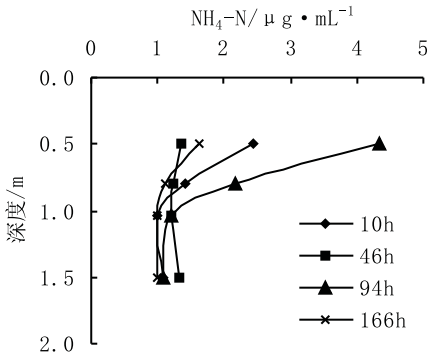


图 1 测坑剖面不同深度土壤溶液中氨氮的变化
Figure 1 Change of NH₄⁺ - N in soil solution of vertical profile at different depth

含量较低,在 1.0 μg · mL⁻¹ 左右,随时间变化不大,趋于稳定。

淹水稻田表层土壤系统硝化作用缓慢,土壤溶液中硝态氮含量不高,在 0.6—4.5 μg · mL⁻¹ 范围。在不同深度土壤溶液中的含量见图 2。随着深度的增加,土壤剖面氧化还原条件发生变化,以还原条件为主,硝态氮渗滤到还原层中则同时发生反硝化损失,硝态氮含量逐渐降低。施肥后时间的增加对硝态氮的垂向分布也有一定影响 (图 2)。与氨氮不同,硝态氮

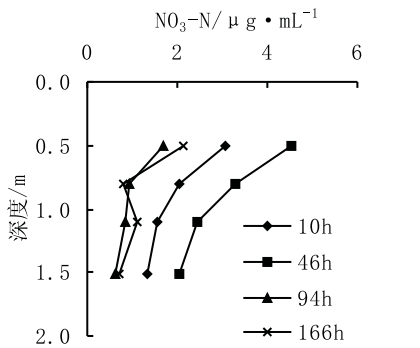


图 2 测坑剖面不同深度土壤溶液中硝态氮的变化
Figure 2 Change of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in soil solution of vertical profile at different depth

不易被土壤吸附,垂向淋溶作用较强,因而在施肥后的开始阶段,土壤剖面中硝态氮含量均呈增加趋势;但在施肥后 50 h 左右,可能由于很强烈的反硝化脱氮作用含量明显降低;之后随着时间的延长,硝态氮含量变化不大(图 2)。

不同深度的土壤溶液中亚硝态氮含量极低,表明氮素主要以氨氮和硝态氮形式向下迁移损失。图 1、2 可见,土壤淋滤溶液中氨氮和硝态氮大致相当,各占 50% 左右。氨氮和硝态氮在垂向渗漏淋失量不高,但对浅层地下水还是有一定的影响。一般来讲,旱地土壤系统中主要是硝态氮淋失污染地下水,但在淹水稻田试验条件下氨氮在土壤中迁移深度较深,其对地下水的影响不容忽视。这一方面是因为供试土壤对氨氮的吸附容量可能不高,一定的排水条件下又使得氨氮易于向下迁移;另一方面淹水稻田土壤系统中氮素与大气氧交换作用受到限制,硝化作用较弱,硝态氮含量较低,氨氮在未转化为硝态氮之前便可能被淋失了。其次,淹水稻田深层土壤还原条件下强烈的反硝化脱氮作用,对缓解硝态氮污染地下水具有重要意义。不同的土壤类型、水动力条件和氧化还原条件等诸多因素都可能对氮素垂向迁移具有重要影响。

2.3 模拟暴雨条件下稻田氮素径流损失及影响

在夏季多雨季节,时有突发暴雨或连雨天气来临,因此降雨径流是氮素损失的主要途径之一,氮素含量高的田间径流水进入附近河道,可导致地表水水体富营养化,水环境质量下降。对施碳铵后的测坑进行模拟暴雨径流试验,结果如表 2 所示,在施肥后 17 h、48 h 和 96 h 时遭遇暴雨(降雨量 40 mm),测坑径流深度分别为 32.6 mm、21.0 mm、6.0 mm;通过降雨径流损失的氮素负荷分别占所施氮肥的 9.72%、5.55% 和 1.66%。显然,淹水稻田施肥后如果短时间

表 2 测坑模拟降雨径流损失的氮素负荷						
Table 2 Nitrogen loss load in runoff by simulated rainmaking tests						
降雨与施肥 间隔时间/h	径流深度 /mm	$\text{NH}_4^+ - \text{N}$ /g	$\text{NO}_3^- - \text{N}$ /g	$\text{NO}_2^- - \text{N}$ /g	TN /g	占施氮量 的百分数
17	32.6	6.72	0.56	0.016	7.29	9.72%
48	21.0	3.81	0.34	0.009	4.16	5.55%
96	6.0	1.12	0.12	0.003	1.24	1.66%

突降暴雨,氮素径流损失较大,对地表水环境影响严重;随着间隔时间的延长,稻田的氮素径流损失就会大大降低。田间水和土壤溶液中氮素的转化和运移不断进行,实质上,在同等水肥管理条件下,间隔时间的长短决定了降雨当时的田间水位高低和田间水中氮素含量的多少,而氮素径流损失直接受这两个因素水平的控制。

模拟降雨径流中三态氮的分析结果表明,稻田施碳铵后,降雨径流损失的氮 90% 以上为氨氮,硝态氮和亚硝态氮含量都很低,这与田间水中氮素的形态分布是一致的。对整个降雨径流过程进行监测,发现在径流产生的初期,氨氮的含量随着径流量的增大而升高;之后,变化不大,呈降低趋势。氨氮是影响地表水水质的重要指标,因此,必须采取有效措施尽量减少和避免田间水中的氨氮进入沟渠、河道,污染地表水环境。

3 结论和建议

试验研究表明,淹水稻田表施氮肥(碳铵),田间水中以氨氮为主,硝态氮次之,亚硝态氮比例极低。田间氨挥发作用强烈,硝化过程比较缓慢,氮素损失严重,说明传统的有水层表施氮肥的方法,氮素难以有效利用。淹水稻田剖面土壤溶液中氨氮和硝态氮的含量随深度增加而降低。由于在淹水稻田中反硝化脱氮作用强烈,深层土壤溶液的硝态氮和氨氮水平不高,但对地下水也有一定的影响。

淹水稻田表施碳铵后,田间水中的氮素要经过较长的时间才能达到安全水平。夏季多雨时期,暴雨径流导致的氮素损失对地表水环境造成污染。氮素径流损失负荷随施肥与降雨间隔时间延长而大幅降低,因此,建议在多雨季节淹水稻田施肥时必须关注未来几天的天气情况预报,避免施肥后短时间降雨。其次,如采用节水灌溉降低田间水位或加高加固田埂,提高田间持水量,是预防施肥后短时间内产生大量降雨径流、减少化肥流失的有效措施。另外,如果对富含营养