

富营养化河水灌溉对稻田土壤氮磷养分贡献的影响 ——以太湖地区黄泥土为例

谢迎新^{1,2}, 熊正琴², 赵 旭², 邢光熹^{2,*}, 郭天财¹

(1. 河南农业大学国家小麦工程技术研究中心, 郑州 450002;

2. 中国科学院南京土壤研究所土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 南京 210008)

摘要:以太湖地区主要稻田土壤类型黄泥土为对象,利用当地富营养化河水对回填土柱和植稻原状土渗漏池进行模拟稻田灌溉试验,系统研究了灌溉水对稻田土壤氮磷营养的贡献。在回填土柱灌溉试验中,在试验初期,不同形态的氮素均有较高的淋失量,以后逐渐降低,表明初期淋失的氮素主要来自土壤,而不是灌溉河水。在整个水稻生长季,均观测到有可溶性有机氮淋失,表明富营养化河水灌溉条件下可溶性有机氮是稻田土壤主要的氮素淋失形态。在本试验中,磷素的淋失动态与氮素的淋失动态截然相反,淹水后很长一段时间内均没有土壤磷素淋失,但在淹水灌溉后期有大量的土壤磷素淋失损失,这可能是淹水后期土壤对磷的吸持已达到饱和状态,不能继续固持土壤中多余的磷所致。与回填土柱模拟灌溉淋洗试验相比,在当前供肥条件下,原状土渗漏池试验氮磷淋失量远低于回填土柱试验,而灌溉水对土壤氮磷养分的贡献远高于回填土柱。通过富营养化河水灌溉带入当季稻田的 N 量达到每公顷 56.3 kg,其中有 55.8 kg N 可被土壤吸持和作物吸收,表明太湖地区稻田土壤对氮磷养分来说是一个环境友好的生态系统。在利用当地富营养化河水进行稻田土壤灌溉时可适量减少肥料施用量、优化氮磷肥料管理。

关键词:水体富营养化;氮磷淋失;渗漏池;稻田;太湖地区

文章编号:1000-0933(2008)08-3618-08 中图分类号:S273.2; S157.9 文献标识码:A

Contribution of nitrogen and phosphorus on eutrophied irrigation water in a paddy Soil: a case study in taihu Lake Region

XIE Ying-Xin^{1,2}, XIONG Zheng-Qin², ZHAO Xu², XING Guang-Xi^{2,*}, GUO Tian-Cai¹

1 National Engineering Research Center for Wheat, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3618 ~ 3625.

Abstract: In the Taihu Lake region, the neighboring eutrophied river water is widely used to irrigate the paddy field. Both refilled and monolith lysimeter experiments were adopted to simulate the irrigation system to study the contribution of eutrophied irrigation water to nitrogen (N) and phosphorus (P) in a paddy soil. In the repacked soil column experiment with regular irrigations, N leaching losses were high in the beginning of the flooding period, and decreased gradually to around zero indicating that N leaching at the beginning flooding stage came mostly from native soil N not N in the irrigation water. The dissolved organic nitrogen (DON), however, was steadily detected throughout the whole flooding period

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30390081);河南农业大学博士科研启动基金资助项目(30200240)

收稿日期:2007-04-27; **修订日期:**2007-10-22

作者简介:谢迎新(1976~),男,河南西平人,博士,主要从事农业生态系统氮素循环和水体氮磷污染研究. E-mail: xieyingxin@tom.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xinggx@issas.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30390081) and Scientific Research Foundation for Doctor of Henan Agricultural University(No. 30200240)

Received date: 2007-04-27; **Accepted date:** 2007-10-22

Biography: XIE Ying-Xin, Ph. D., mainly engaged in nitrogen cycle in agroecosystem and pollution of nitrogen and phosphorus in water body. E-mail: xieyingxin@tom.com

indicating that the leaching loss of DON was mainly from the input from river water irrigation. Contrary to the N leaching pattern, an obvious P leaching loss was observed only after a long time of flooding indicating that continuous P input from eutrophied irrigation water led to saturation of soil P absorption after a long time flooding treatment. In comparison to the repacked soil column experiment, with local fertilizer application rate, the leaching losses of N and P were lower in the undisturbed lysimeter experiment and the contributions of eutrophied irrigation water were higher to the N and P in paddy soil. Among the 56.3 kg N/hm² of input from irrigation water, there was totally 55.8 kg N/hm² could be attributed to soil retention and rice plant uptake, indicating that paddy soil might serve as an environmentally friendly ecosystem in N and P absorption as eutrophied irrigation water in Taihu region concerned. Furthermore, N and P fertilizer application rate could be decreased accordingly to optimize fertilizer management when contributions from eutrophied irrigation water were taken into consideration.

Key Words: eutrophied water; N and P Leaching loss; lysimeter; paddy soil; Taihu region

太湖地区在历史上就素有“鱼米之乡”的美称,是我国工农业最发达的地区之一,稻米生产在该地区农业甚至全国的农业中占有重要地位,但该地区目前也是我国地表水污染和水体富营养化严重的地区之一。据调查,目前几乎所有的河流水质均已达到水体富营养化的标准^[1~3]。水体富营养物质氮、磷的来源主要有城镇生活污水、含氮含磷的工业废水和农田氮磷肥,其中农田氮、磷的流失是引起水体富营养化的重要原因^[4~6]。

目前,中国水资源受到污染的状况愈来愈严重。由于大面积的水体污染,导致目前许多灌溉水源受到严重污染,甚至在水资源较为丰沛的南方地区也因污染导致缺水而不得不采用富营养化河水灌溉^[7]。稻田习惯采用淹灌(水层灌溉),即在水稻整个生育期间维持一定水层,所利用的水源通常来自临近的河流沟渠,且这些河水均已遭受严重污染^[2,3,8,9]。由于土壤中 N、P 的淋失与环境保护密切相关,因此,灌溉后土壤中 N、P 的淋洗特征如何,在稻田富营养化河水灌溉过程中究竟有多少被带入稻田土壤,又有多少经过淋洗损失重新进入水体环境,这是目前利用富营养化水体进行稻田灌溉的地区亟待回答和解决的问题。本文利用富营养化河水灌溉稻田后对土壤氮磷养分淋失特征以及对稻田土壤氮磷养分的贡献进行探索,这将为这一地区工农业持续发展和稻田氮磷肥料的优化管理提供帮助。

1 材料与方法

1.1 试验处理

该试验在中国科学院常熟生态试验站(31°31.93' N, 120°41.88' E)进行,供试土壤为太湖地区最常见的微酸性黄泥土,基本理化性质为有机质 27.8 g/kg,速效氮 14.2 mgN/kg,速效磷 14.9 mg P/kg,全氮 1.81 g N/kg,全磷 0.54 g P/kg,CEC 15.0 cmol/kg,pH6.05。供试水源为附近河水。整个水稻生育期间,定点利用河水进行稻田灌溉和水样采集分析。

该试验分为模拟回填土柱试验和大型原装土渗漏池试验,每个试验均重复 3 次。

1.1.1 回填土柱试验

该模拟稻田灌溉回填土柱试验于 2005 年 7 月~2005 年 11 月进行,淋洗柱为透明有机玻璃柱,内径 20cm,高 1m,顶部在灌水后盖上,可防止雨水等外界来源氮输入。底部有出水口,与硅胶管连接,供采集渗漏水,并调节渗漏水流量所用,每昼夜 24h 连续收集渗漏水,平均 3d 左右测定一次渗漏水中氮磷浓度。整个模拟稻田灌水期间淋洗柱用黑色帆布遮蔽,防止藻类生长。

在淋洗柱中按照黄泥土的发生层次填装土壤,加入河水至土壤达到饱和状态,模拟稻田水深,保持淋洗柱土壤表面水层 5cm 左右。淹水 1d 后,打开并调节回填土柱底部出水口,开始收集淋洗液。

1.1.2 原状土渗漏池试验

该原状土渗漏池河水灌溉试验于 2006 年 6 月~2006 年 10 月进行,渗漏池面积为 1m²,深 1m,底部有出水口供收集和调节渗漏水流量所用。同模拟稻田淋洗柱试验取样原理相同,连续 24h 不间断收集渗漏水,平

均 3d 左右测定一次渗漏水中氮磷浓度。

为了使试验更接近现实大田情况,各处理按照当地水稻生长季每公顷施 N 300kg, P_2O_5 60kg 和 K_2O 120kg 的肥料用量进行施肥。同时安排了相应的利用自来水灌溉的等施氮量处理作为对照,重复 3 次,水稻全生育期管理同当地大田。

1.2 样品的收集与分析

记录每次淋洗液流量,并取 100ml 左右淋洗液于塑料瓶中冰冻保存,供以后 NO_3^- 、 NH_4^+ 、总氮和总磷分析用。同时,采集每次灌溉所利用的河水样品供 NO_3^- 、 NH_4^+ 、总氮和总磷分析用。

水样中 NO_3^- 、 NH_4^+ 及总氮的含量采用日本岛津 UVmini-1240 紫外分光光度计分析测定。仪器最低检测限为 0.001 mg/L。 NO_3^- 直接在 220nm 和 275nm 双波长下比色测定,总氮由过硫酸钾和 1:1 硫酸消煮处理转变为 NO_3^- 后也在 220nm 和 275nm 双波长下比色测定, NH_4^+ 经过靛酚蓝显色后在 635nm 下比色测定^[10]。总磷的测定用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法在 660nm 波长下测定磷含量^[10]。可溶性有机氮(dissolved organic nitrogen, DON)根据差减法计算,即 $DON = TN - (NO_3^- + NH_4^+)$ 。

2 结果与分析

2.1 回填土柱模拟稻田灌溉土壤氮磷淋洗特征

从图 1 可以看出,该供试土壤黄泥土的各种氮素组分淋失动态趋势基本相同:均是在开始淹水期间淋失量较高,在淹水后 7d 内淋失量较高,淋失峰值多出现在淹水后的第 3 天,以后淋洗量趋于稳定并逐渐降低。这一现象可能表明,初期淋出的氮磷除少部分来源于灌溉河水外,大部分主要还是来自土壤自身氮磷养分的淋失。

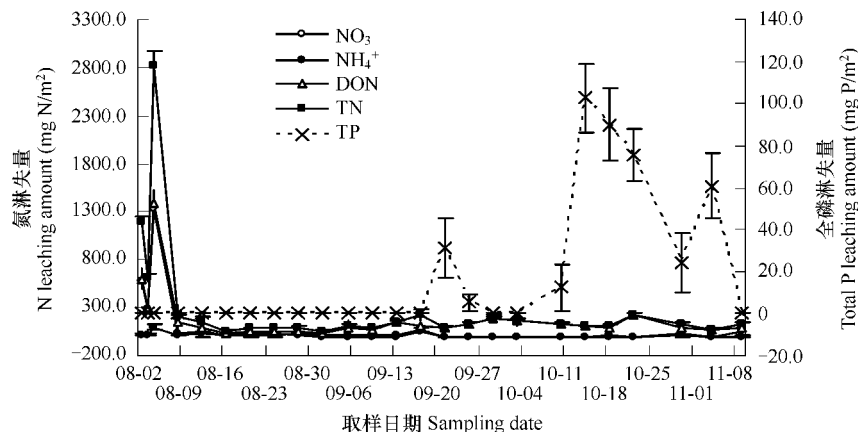


图 1 回填土柱富营养化河水灌溉稻田土壤氮磷淋洗动态

Fig. 1 Leaching dynamics of N and P from the repacked Huangni soil in eutrophied irrigation water

为了计算整个模拟灌溉期间河水灌溉对稻田土壤的贡献,并且尽可能排除土壤氮的影响,根据模拟河水灌溉回填土柱淋出的氮量主要集中 7d 内(7 月 29 ~ 8 月 4 日)的观测结果,将整个模拟灌溉时期分为淹水初期(7 月 29 日 ~ 8 月 4 日)和淹水后期(8 月 5 日 ~ 11 月 5 日)。因此,灌溉河水带入的氮素淋失量也从 8 月 5 日后开始计算,结果见表 2。从表 2 可以看出,在 8 月 5 日前,黄泥土 NO_3^- 、 NH_4^+ 、DON 和总氮的淋失量远高于通过模拟灌溉加入的河水氮量,但在 8 月 5 日后,情况正好相反,各个氮组分远低于通过模拟灌溉加入的河水氮量。这种事实与上述结果共同表明,模拟灌溉初期淋洗的氮素主要来自土壤氮,而加入的河水氮很少发生淋洗损失,大部分可能被土壤固持和转化。

DON 的淋失量虽然也是在淹水后前 7d 内较高,以后逐渐下降,但在整个模拟灌水期间一直存在着淋洗损失,并不像 NO_3^- 和 NH_4^+ 那样到淹水后期接近零淋失量(图 1)。另外,在模拟河水灌溉淋失氮组分中,从各个淋失氮组分的总量结果看(表 1),DON 是稻田土壤氮素淋失的主要组分, NO_3^- 次之, NH_4^+ 淋失最少。

总磷的淋失动态与氮素淋失动态不同,在模拟淹水之后较长一段时间磷素保持较低的淋洗损失量,但到淹水后期有相对较高的淋洗量(表 1)。这一现象表明,在模拟灌溉前期,土壤中的磷及灌溉水带入土壤的磷几乎全部被土壤固定,但到后期当土壤对磷的吸持达到饱和状态时,磷素淋失损失才有可能发生(图 1)。因此,根据这一事实,以 9 月 17 日开始出现总磷淋失峰值开始,把总磷淋失分也为两个时期(7 月 19 ~ 9 月 16 日的淹水前期和 9 月 17 日 ~ 11 月 5 日的淹水后期)进行淋失量的汇总计算(表 1)。

表 1 模拟稻田灌溉条件下黄泥土氮磷累积淋失量

Table 1 The amounts of leaching N and P from repacked Huangni soil (mg/m²)

氮磷组分 Forms of N and P	淹水初期 Early flooding stage		淹水后期 Late flooding stage	
	加入量 ^① Input	淋失量 ^② Leaching	加入量 Input	淋失量 Leaching
NO ₃ ⁻	264 ± 9 ^③	2220 ± 3.75	608 ± 91	267 ± 194
NH ₄ ⁺	68 ± 5	148 ± 21	1366 ± 192	197 ± 060
DON	856 ± 96	2451 ± 337	4953 ± 1340	2104 ± 541
TN	1194 ± 111	4822 ± 735	6926 ± 1620	2572 ± 754
TP	淹水前期 Former flooding stage		淹水后期 Late flooding stage	
	加入量 Input	淋失量 leaching	加入量 Input	淋失量 leaching
	420 ± 58	2	129 ± 21	401 ± 188

① “加入量”指通过河水灌溉带入土壤的氮磷量 “Input” indicates rates of N and P brought from river water irrigation; ② “淋失量”指通过河水灌溉土壤后,土壤淋出液中淋出的氮磷量 “Leaching” indicates N and P leaching rates after irrigation; ③ 3 个重复平均值 ± 标准差,下同 Each value was the average ± SE of three replicates, the same below

2.2 原状土渗漏池稻田灌溉土壤氮磷淋洗特征

由图 2 可以看出,在原状土壤渗漏池种植水稻的富营养化河水灌溉情况下,与回填土柱模拟灌溉试验相比,具有相似氮磷养分淋洗特征,均表现在可溶性有机氮为水稻生长季稻田土壤主要氮素淋失组分,NO₃⁻ 次之,NH₄⁺ 淋失量最低。

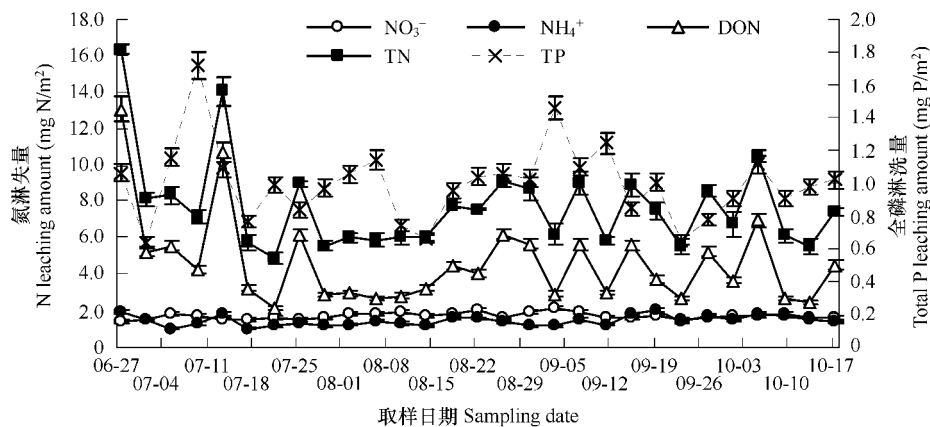


图 2 原状土渗漏池富营养化河水灌溉稻田土壤氮磷淋洗动态

Fig. 2 Leaching dynamics of N and P from undisturbed Huangni soil in eutrophied irrigation water

通过比较原状土渗漏池和回填土柱试验结果,发现它们之间明显存在着氮磷淋失量上的差异。在原状土渗漏池试验条件下,即使按照当地氮磷肥料供应水平对每个处理施肥,在整个渗漏池种植水稻试验期间,不论河水灌溉还是自来水灌溉处理,NO₃⁻、NH₄⁺、DON、TN 和 TP 的淋失量均低于没有肥料供应的回填土柱试验相应氮磷淋失量,并且净淋失损失的各氮磷组分量均很低(表 1,表 2)。这主要是由于原状土渗漏池试验相对接近现实情况,而回填土柱试验破坏了土壤层次结构从而导致氮素淋失量加剧造成的。这说明在从事农事活动过程中,要尽量避免扰动土层结构,实行少耕免耕技术,从而减少土壤的氮磷等养分淋失损失,提高养分利

用率,减轻对地下水体的环境威胁。

表2 原状土渗漏池稻田土壤灌溉氮磷淋洗量

Table 2 Leaching loss of N and P from eutrophied irrigation in undisturbed Huangni soil (mg/m²)

氮磷组分 Forms of N and P	河水灌溉淋失量 Leaching loss from eutrophied irrigation	自来水灌溉淋失量(对照) Leaching loss from control	净淋失损失 Net leaching loss
NO ₃ ⁻	48.8 ± 0.40	33.9 ± 0.23	14.9 ± 0.34
NH ₄ ⁺	41.2 ± 0.24	40.7 ± 0.56	0.5 ± 0.40
DON	133.7 ± 1.51	121.0 ± 3.26	12.7 ± 1.05
TN	223.7 ± 1.48	195.6 ± 2.9	28.1 ± 2.19
TP	28.9 ± 0.94	15.8 ± 0.52	13.1 ± 0.73

2.3 河水灌溉对稻田土壤氮、磷养分的贡献

根据以上分析,结合表1、表2中氮磷淋洗量结果,计算出河水灌溉对稻田土壤氮磷养分的贡献(表3、表4)。从表3可以看出,在整个模拟回填土柱试验期间,淋失损失的NO₃⁻、NH₄⁺、DON、TN和TP量分别占由河水灌溉带入相应氮磷量的285.6%、24.7%、78.3%、91.0%和73.4%,相应被土壤固持转化的量分别占由灌溉水带入相应氮磷量的-185.6%、75.3%、21.7%、9.0%和26.6%。该试验结果表明,在稻田富营养化河水灌溉条件下,回填土柱试验破坏了土壤结构,极易发生土壤氮磷养分淋洗损失,甚至淋失的硝态氮量超过了灌溉加入的硝态氮量,出现了被土壤固持转化硝态氮占灌溉加入量的负固持。

表3 回填土柱试验条件下模拟河水灌溉对稻田土壤氮磷营养贡献

Table 3 Contribution of N and P to paddy soil by eutrophied irrigation in the repacked soil experiment

氮磷组分 Forms of N and P	灌溉加入总量 Input by irrigation (kg N or P /hm ²)	淋失量 Leaching loss (kg N or P /hm ²)	占灌溉加入氮磷的比率 Percents of N and P occupying up input by irrigation (%)	
			淋失 Leaching	土壤固持 Soil hold
NO ₃ ⁻	8.72 ± 0.95	24.9 ± 4.64	285.6	-185.6
NH ₄ ⁺	14.4 ± 1.93	3.55 ± 0.78	24.7	75.3
DON	58.1 ± 13.6	45.5 ± 5.73	78.3	21.7
TN	81.2 ± 16.4	73.9 ± 10.4	91.0	9.0
TP	5.49 ± 0.77	4.03 ± 1.88	73.4	26.6

表4 原状土渗漏池条件下河水灌溉对稻田土壤氮磷营养贡献

Table 4 Contribution of N and P to paddy soil by river water irrigation in the lysimeter experiment

氮磷组分 Forms of N and P	加入总量 Input by irrigation (kg/hm ²)	净淋失量 Net leaching by irrigation (kg/hm ²)	作物吸收 和土壤固持 Rice utilization and soil hold (kg/hm ²)	占灌溉加入氮磷的比率 Ratios of N and P occupying up input by irrigation (%)	
				淋失 Leaching	作物吸收和土壤固持 Rice utilization and soil hold
NO ₃ ⁻	4.95 ± 0.13	0.149 ± 0.003	4.80 ± 0.06	3.02	96.98
NH ₄ ⁺	2.66 ± 0.09	0.005 ± 0.004	2.65 ± 0.05	0.18	99.82
DON	26.29 ± 0.66	0.127 ± 0.011	26.16 ± 0.35	0.48	99.52
TN	33.90 ± 0.88	0.281 ± 0.022	33.62 ± 0.45	0.83	99.17
TP	3.36 ± 0.06	0.131 ± 0.007	3.23 ± 0.04	3.90	96.10

通过原状土渗漏池试验,在种植水稻以及每公顷300kg N和60kg P₂O₅的供肥条件下,NO₃⁻、NH₄⁺、DON、TN和TP淋失损失量分别仅占由河水灌溉带入相应氮磷量的3.02%、0.18%、0.48%、0.83%以及3.90%,相应被土壤固持转化的量分别占由灌溉水带入相应氮磷量的96.98%、99.82%、99.52%、99.17%和96.10%(表4)。该试验结果也表明,在种植作物的原状土情况下,由灌溉加入的氮磷养分绝大部分被稻田土壤固定和作物吸收利用,发生淋洗损失的量很小。

此外,从以上两种试验结果还可以看出,各种淋洗氮组分量占灌溉加入相应氮组分量的比率高低分别是 $\text{NO}_3^- > \text{DON} > \text{NH}_4^+$,且回填土柱试验淋洗氮磷所占加入氮磷比率远高于原状土渗漏池试验;富营养化河水灌溉对土壤氮磷营养的贡献为原状土渗漏池试验高于回填土柱试验。

从以上结果可以看出,在目前灌溉条件下,稻田土壤具有很强的氮磷等养分吸持能力,由此看来,稻田对于氮磷来说是一个环境友好的生态系统。

2.4 灌溉水带入稻田的氮

为了探讨太湖地区富营养化河水灌溉对稻田土壤氮磷贡献的影响,著者分别于 2004 年 7 月丰水期和 2005 年 1 月枯水期对太湖地区的一个重要集水区——常熟地区的全部 12 条河流和 3 个湖荡水体氮磷污染状况进行了系统调查(表 5)。从氮磷浓度调查结果看,该地区所有河湖水体水质均已超过富营养化的标准(总磷 $0.01 > \text{mg P/L}$,总氮 $0.1 > \text{mg N/L}$),若按照国家环境保护总局制定的地表水环境质量标准(GB 3838-2002)限值,该地区所有河流和湖荡氮的污染比较严重,氨氮和总氮均已超过 V 类水质标准,湖荡也达到 IV 类;水体总磷含量也已超过 II 水质限值。另外,调查还发现,在利用富营养化河水灌溉的水稻生长季(即丰水期)常熟地区河流水体总氮平均浓度为 $(8.66 \pm 14.00) \text{ mg N/L}$ 。若按照太湖地区水稻生长季平均每公顷 6500 m^3 的灌水量,通过灌溉带入稻田土壤的氮量每公顷将达到 56.3 kg N ,相当于当季水稻施氮量 (300 kg N/hm^2) 的 $1/5$ 左右。灌溉水带入稻田的氮,若再按照上述原状土渗漏池富营养化河水灌溉对稻田土壤总氮 99.17% 的贡献率计算,灌溉水带入每公顷稻田的 56.3 kg N 中有 55.8 kg 左右的氮被土壤固持和转化,仅有极少部分通过淋洗途径再次进入环境。

表 5 常熟地区河湖水体氮磷浓度状况

Table 5 Concentrations of N and P in the rivers and lakes in Changshu region

水系 Water system	取样时期 Sampling period	NO_3^-	NH_4^+	$\text{DIN}^{①}$	DON	TN	TP	pH
mg/L								
12 条河流 Twelve rivers	丰水期 High water level	1.61 ± 0.59	2.65 ± 3.80	4.27 ± 3.93	4.39 ± 10.51	8.66 ± 14.00	0.092 ± 0.144	7.79 ± 0.60
($n=110$)	枯水期 Low water level	0.87 ± 0.75	2.18 ± 1.15	3.05 ± 1.31	3.39 ± 3.25	6.44 ± 4.01	0.146 ± 0.279	8.40 ± 0.55
3 个湖荡 Three lakes	丰水期 High water level	1.07 ± 0.97	1.33 ± 2.29	2.41 ± 2.92	2.05 ± 4.87	4.46 ± 7.28	0.034 ± 0.061	8.16 ± 0.33
($n=8$)	枯水期 High water level	0.53 ± 0.63	1.16 ± 1.60	1.69 ± 2.15	1.43 ± 2.03	3.12 ± 3.81	$0.082 \pm .060$	8.47 ± 0.39

① $\text{DIN}(\text{可溶性无机氮}) = \text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N}$ Dissolve inorganic nitrogen(DIN) = $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$

3 结论与讨论

回填土柱试验结果表明,在灌溉(淹水)初期,黄泥土淋失的氮素并非主要来自富营养化河水灌溉,而是主要来自土壤自身氮素的淋洗损失,并且土壤氮素淋失峰值通常出现在淹水后 7d 内,在淹水后期,除了可溶性有机氮外,其它氮组分很少发生淋失,这与前人在大田条件下稻田氮素淋失研究结果基本一致^[11~13],在水稻种植初期均具有较高的氮素淋洗量,这部分氮素可能主要来自土壤自身固持的氮素。

磷素易被土壤固定,磷的淋溶损失很小。据英国洛桑试验站 100 多年的研究结果表明,磷的移动每年不超过 $0.1 \sim 0.5 \text{ mm}$,它只能从施肥点向外移动 $1 \sim 3 \text{ cm}$ 的距离^[5, 14]。国内更多的研究认为长期施用磷肥可使磷素淋洗量增加^[15~19]。本研究表明,在不种植水稻模拟稻田回填土柱条件下,利用富含磷素的河水灌溉,初期磷素淋失量很低,但长时间灌溉后可能造成土壤磷素达到饱和状态,从而产生磷素淋失损失。同时,本研究又在每公顷 300 kg N 和 $60 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ 的供肥水平以及种植水稻情况下,通过原状土渗漏池灌溉试验进行了氮磷养分的淋失研究,结果表明,淋失损失的氮磷养分在富营养化河水灌溉加入氮磷量的 5% 以下,而对土壤和作物的贡献可达 95% 以上。该试验结果进一步表明,目前,在太湖地区利用富营养化河水灌溉对黄泥土稻田土壤氮磷养分淋失损失的影响不大,但对土壤和水养作物的贡献较大。因此,为了优化氮磷等肥料管理,在利用

富营养化河水进行稻田土壤灌溉时,可适量减少肥料施用量,以起到节本增效的作用。

研究还发现,在目前通常施肥条件下,稻田淋失的氮素组分中以 DON 损失量最高, NO_3^- 次之, NH_4^+ 淋失量最低,这可能主要与可溶性有机氮也是富营养化灌溉河水的主要氮素组分有关。

通过比较富营养化河水灌溉条件下回填土柱淋洗试验和原状土渗漏池试验结果,发现,在原状土种植水稻条件下,淋失的氮磷量远低于回填土柱试验相应结果,即在原状土条件下富营养化河水灌溉远高于回填土柱模拟试验对土壤及作物的氮磷贡献率。另外,通过对太湖地区的主要集水区——常熟地区河湖地表水体氮磷养分状况调查以及稻田原状土氮磷养分淋洗试验结果,估算出在太湖地区的水稻生长季通过灌溉带入稻田的每公顷 56.3 kg N 中有 55.8 kg 左右的氮可被土壤固持和转化,只有极少部分氮素通过淋洗途径重新进入环境,该计算结果与曹志洪等^[6]专家认为是“太湖平原稻田是水循环中氮素的汇”的提法一致。这些结果表明,虽然稻田土壤对氮磷等养分来说是一个友好的生态系统,但仍要注意长期施肥条件下或耕作措施不当可能对稻田氮磷养分淋失损失所产生的影响。

References:

- [1] Ma L S, Qian M R. Nitrate-N and nitrite-N pollution of the water environment of the Taihu Lake Valley. *Environmental Science*, 1987, 8(2): 60—65.
- [2] Ma L S, Wang Z Q, Zhang S M, *et al.* Pollution from agricultural non point sources and its control in river system of Taihu Lake, Jiangsu. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1997, 17(1): 39—47.
- [3] Xing G X, Cao Y C, Shi S L, *et al.* N pollution sources and denitrification in waterbodies in Taihu Lake region, *Science in China, Ser. B*, 2001, 44(3): 304—314.
- [4] Hessen D O, Hindar A, Holtan G. The significance of nitrogen runoff for eutrophication of freshwater and marine recipients. *Ambio*, 1997, 26(5): 312—320.
- [5] Si Y B, Wang S Q, Chen H M. Water eutrophication and losses of nitrogen and phosphates in farm land. *Soils*, 2000, 32(4): 188—193.
- [6] Cao Z H, Lin X G, Yang L Y, *et al.* Ecological function of “paddy field ring” to urban and rural environment II. Characteristics of nitrogen accumulation, movement in paddy field ecosystem and its relation to environmental protection. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(2): 256—260.
- [7] Zhou W B, Li P C. Water environment problem of irrigation in China. *Advances In Water Science*, 2001, 12(3): 414—417.
- [8] Xie Y X, Xing G X, Xiong Z Q, *et al.* Sources of nitrogen pollution in water bodies of rivers and lakes in Changshu region. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(3): 766—771.
- [9] Xie Y X, Xiong Z Q, Xing G X, *et al.* Assessment of nitrogen pollutant sources in surface water of Taihu Lake region. *Pedosphere*, 2007, 17(2), 200—208.
- [10] Lu R K. *Analytical Methods of Soil and Agro-Chemistry*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [11] Wang D J, Lin J H, Xia L Z. Characteristics of nitrogen leaching of rice-wheat rotation field in Taihu Lake area. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(1): 16—18.
- [12] Lu M, Liu M, Mao G F, *et al.* Study on nitrogen leaching of paddy soil in the field experiments. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2006, (4): 71—77.
- [13] Chen Z H, Chen L J, Wu Z J, *et al.* Inorganic nitrogen leaching from meadow brown rice field on lower Liaohe River plain as affected by chemical N fertilization. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(1): 59—62.
- [14] Lian G, Wang D J, Lin J H, *et al.* Characteristics of nutrient leaching from paddy field in Taihu Lake area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1879—1883.
- [15] Liu J L, Zhang F S, Yang F H. Fractions of phosphorus in cultivated and vegetable soils in northern China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(2): 179—186.
- [16] Zhen L, Liao W H, Liu J L. A study on phosphorus movement in soil and phosphorus pollution from agricultural non-point sources in water environment. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2002, 25(Sup.): 55—59.
- [17] Liu S T, Han X R, Chi R, *et al.* Effects of long-term located fertilization on status of phosphorus in non-calcareous fluoro-aquic soil. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 43—46, 60.
- [18] Lehmann J, Lan Z, Hyland C, *et al.* Long-term dynamics of phosphorus forms and retention in manure-amended soils. *Environmental Science & Technology*, 2005, 39: 6672—6680.

- [19] Wang J G, Yang L Z, Chan Y H, *et al.* Phosphorus distribution in paddy soil and its pollution risk to water body in long-term experiments. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2006, 22(3): 88—92.
- [20] Wang J Y, Wang S J, Chen Y, *et al.* Study on the nitrogen leaching in rice field. *Acta Pedologica Sinica*, 1996, 33(1): 28—36.
- [21] Baker J L, Campbell K L, Johnson H P, *et al.* Nitrate, phosphorus, and sulfate in subsurface drainage water. *Journal of Environmental Quality*, 1975, 4, 406—412.
- [22] Jacinthe P A, Dick W A, Brown L C. Bioremediation of nitrate-contaminated shallow soils using water table management techniques: Nitrate removal efficiency. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1999, 42: 1251—1259.

参考文献:

- [1] 马立珊, 钱敏仁. 太湖流域水环境硝态氮和亚硝态氮污染的研究. *环境科学*, 1987, 8(2): 60~65.
- [2] 马立珊, 汪祖强, 张水铭, 等. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究. *环境科学学报*, 1997, 17(1): 39~47.
- [5] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化. *土壤*, 2000, (4): 188~193.
- [6] 曹志洪, 林先贵, 杨林章, 等. 论“稻田圈”在保护城乡生态环境中的功能 II. 稻田土壤氮素养分的累积、迁移及其生态环境意义. *土壤学报*, 2006, 43(2): 256~260.
- [7] 周维博, 李佩成. 我国农田灌溉的水环境问题. *水科学进展*, 2001, 12(3): 414~417.
- [8] 谢迎新, 邢光熹, 熊正琴, 等. 常熟地区河湖水体氮污染源研究. *农业环境科学学报*, 2006, 25(3): 766~771.
- [10] 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, 2000.
- [11] 王德建, 林静慧, 夏立忠. 太湖地区稻麦轮作农田氮素淋洗特点. *中国生态农业学报*, 2001, 9(1): 16~18.
- [12] 陆敏, 刘敏, 茅国芳, 等. 大田条件下稻田土壤氮素淋失研究. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2006, (4): 71~77.
- [13] 陈振华, 陈利军, 武志杰, 等. 下辽河平原潮棕壤稻田的无机态氮淋溶. *水土保持学报*, 2006, 20(1): 59~62.
- [14] 连纲, 王德建, 林静慧, 等. 太湖地区稻田土壤养分淋洗特. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1879~1883.
- [15] 刘建玲, 张福锁, 杨奋翮. 北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(2): 179~186.
- [16] 甄兰, 廖文华, 刘建玲. 磷在土壤环境中的迁移及其在水环境中的农业非点源污染研究. *河北农业大学学报*, 2002, 25(Sup.): 55~59.
- [17] 刘树堂, 韩晓日, 迟睿, 等. 长期定位施肥对无石灰性潮土磷素状况的影响. *水土保持学报*, 2005, 43~46, 60.
- [19] 王建国, 杨林章, 单艳红, 沈明星, 路长缨. 长期施肥条件下水稻土磷素分布特征及对水环境的污染风险. *生态与农村环境学报*, 2006, 22(3): 88~92.
- [20] 王家玉, 王胜佳, 陈义, 等. 稻田土壤中氮素淋失研究. *土壤学报*, 1996, 33(1): 28~36.