

太湖地区稻麦轮作农田氮素淋洗特点*

王德建 林静慧 夏立忠

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 通过排水采集器模拟试验研究了太湖地区不同施肥水平下农田 N 素淋洗特点。结果表明, N 的渗漏损失以硝态氮(NO_3^- -N)为主, 并发生在麦季, 铵态氮(NH_4^+ -N)淋洗量则很少, NO_3^- -N 的量占渗漏液总 N 量的 43%~72%, 浓度为 20~110 mg/kg, 渗漏水中 N 的含量与土壤 N 的淋洗量随施肥量的增加而增加, 麦季土壤中 NO_3^- -N 的总淋洗量为 17.8~58.5 kg/hm², 平均为 39.2 kg/hm², 净淋洗量为 5.5~40.7 kg/hm², 平均为 21.4 kg/hm², 占施肥量的 3.7%~12.2%; 与纯化肥处理比较, 化肥+猪粪处理增加了农田 N 的淋失, 化肥+秸秆处理减少了土壤中 N 的淋失。与麦田渗漏水相比较, 稻田渗漏水除水稻生长早期的部分样品外, NO_3^- -N 和 NH_4^+ -N 含量均很低, 分别在 1 mg/kg 和 0.5 mg/kg 以下。

关键词 稻麦轮作 农田 N 素淋洗 模拟试验

Characteristics of nitrogen leaching of rice-wheat rotation field in Taihu Lake area. WANG De-Jian, LIN Jing-Hui, XIA Li-Zhong (Nanjing Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008), *CJEA*, 2001, 9(1), 16~18

Abstract A lysimeter experiment was conducted in Taihu Lake area to study nitrogen leaching of rice-wheat rotation under different nitrogen application rates. The results showed that nitrogen was leached away mainly in the form of NO_3^- -N, not NH_4^+ -N, and it occurred in the wheat growing stage. Of the total nitrogen leached, 43%~72% was NO_3^- -N with a concentration range from 20 to 110 mg/kg. Nitrogen content in the solution and loss from leaching increased gradually with fertilizer applications. The amount of total NO_3^- -N loss from tested land was 17.8~58.5 kg/hm², its average loss was 39.2 kg/hm² and net NO_3^- -N loss was 5.5~40.7 kg/hm², which accounted for 3.7%~12.2% of total fertilizer applied. Compared with using fertilizer only, straw combined fertilizer can reduce the nitrogen leaching while fertilizer combined manure can increase the nitrogen leaching in soil. Except for few samples taken at early rice growing stage, the concentrations of NO_3^- -N and NH_4^+ -N in leaching from rice field were 1 mg/kg and 0.5 mg/kg, which were lower than those from the wheat field.

Key words Rice-wheat rotation, Field, Nitrogen leaching, Lysimeter experiment

过量使用化肥对浅层地下水硝酸盐污染和地表水富营养化的影响已引起广泛关注^[1]。太湖地区是我国化肥用量最高的地区之一, 也是我国地表水污染和富营养化严重的地区之一。本研究采用模拟试验与田间试验相结合的方法, 用生态系统网络建设的大型排水采集器模拟太湖地区主要土壤类型(黄泥土), 进行稻麦轮作农田不同施肥水平下养分淋洗特点, 为定量评估施肥对水环境的影响与制定治理措施提供理论依据。

1 试验材料与方法

试验在中国科学院常熟农业生态试验站进行, 共设 12 个处理(见表 1)。试验用的排水采集器为长 2m×宽 2m×深 1m 的水泥池, 在池中按黄泥土的发生层次填入土壤, 分别在 20cm、60cm、80cm 土体深处安置 1 个 10cm×15cm 的渗漏水采集盒, 通过侧向管收集盒中的渗漏水。施 N 肥比例和施用时间为水稻基肥占 50%(6 月 18~20 日施用); 拔节肥占 20%(7 月 18~20 日施用); 穗肥占 30%(8 月 10 日施用)。小麦基肥占 50%(10 月 25~28 日施用); 分蘖肥占 20%(12 月初施用); 拔节孕穗肥占 30%(3 月 15 日左右施用)。所施基肥为碳酸氢铵、猪粪、秸秆、过磷酸钙, 追肥为尿素、氯化钾。土壤渗漏水样品稻季每 15d 采集 1 次, 麦季采样频率依降雨情况而定, 所采水样经过滤处理后立即分析铵态氮(NH_4^+ -N)、硝态氮(NO_3^- -N)、总 N、总 P 和 K 的含量。 NH_4^+ -N 分析用靛酚蓝比色法^[2], NO_3^- -N 用紫外分光光度法, 总 N 含量用过硫酸钾氧化-紫

* “九五”中国科学院重大项目(KZ951-A1-301)和特别支持项目(KZ95T-04-01)共同资助

收稿日期: 2000-08-28 改回日期: 2000-09-28

外分光光度法,总 P 含量用过硫酸钾氧化-钼蓝比色法,K 用火焰光度法。每年采集 1 次耕层土壤样品,分析其速效养分的变化。

表 1 排水采集器模拟试验的施肥量

Tab. 1 Fertilizer rate in the lysimeter experiments

处 理 Treatments	稻 季 Rice growth stage				麦 季 Wheat growth stage				处 理 Treatments	稻 季 Rice growth stage				麦 季 Wheat growth stage			
	N	P	K	猪粪或秸秆 Pig manure or straw	N	P	K	猪粪或秸秆 Pig manure or straw		N	P	K	猪粪或秸秆 Pig manure or straw	N	P	K	猪粪或秸秆 Pig manure or straw
CK	0	0	0	—	0	0	0	—	Ⅳ	300	24.6	93.4	—	300	39.3	93.4	—
I	150	16.4	62.3	—	150	26.2	62.3	—	Ⅴ	225	32.7	93.4	—	225	52.4	93.4	—
Ⅱ	225	24.6	93.4	—	225	39.3	93.4	—	Ⅵ	225	24.6	124.5	—	225	39.3	124.5	—
Ⅲ	300	32.7	124.5	—	300	52.4	124.5	—	Ⅶ	300	32.7	124.5	15000	300	52.4	124.5	15000
Ⅳ	450	49.1	186.8	—	450	78.6	186.8	—	Ⅷ	150	16.4	62.3	3000*	150	26.2	62.3	3000*
V	150	16.4	62.3	30000	150	26.2	62.3	30000	Ⅷ	300	32.7	124.5	1500*	300	52.4	124.5	1500*

* 表示秸秆。

2 结果与讨论

2.1 麦田渗漏水的 N 素淋洗特点

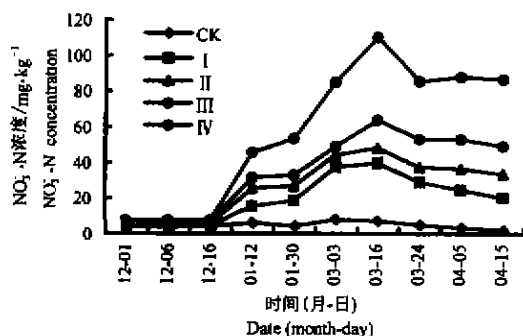
渗漏液的 N 素组成。以 80cm 深土层渗漏液作为 N 素养分淋洗到地下水的量(因该区地下水水位在 80cm 左右)。在测定的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 和总 N 中 14 次水样分析结果表明,渗漏液中可溶解的 N 以 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 为主,占总 N 含量的 43%~72%,而渗漏液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的含量很低,低于检测下限,部分渗漏液分析结果见表 2。渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 占总 N 含量的比例随时间的变化特点是两头高中间低,越冬前占 50%~60%,越冬后下降到 40%~50%,翌年开春后增加到 70%~74%,显示出与温度变化的一致性,即温度升高渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 比例增加,温度降低 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 比例下降。导致麦季渗漏液 N 素以 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 为主的原因一是旱季有利于好气的消化细菌活动,使土壤中 N 素易转化为 $\text{NO}_3^+\text{-N}$;二是与 2 种离子的电荷特性有关, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 带正电,易被土壤胶体吸附,不易随水淋洗,而 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 则相反。

表 2 麦季渗漏液中不同形态 N 素含量

Tab. 2 Content of various form nitrogens in the leaching solution in wheat field

处 理 Treatments	不同形态 N 素含量/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时 间(月·日) Time (month-day)						Content of various form nitrogens		
	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	12-01 $\text{NO}_3^+\text{-N}$	T-N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	01-12 $\text{NO}_3^+\text{-N}$	T-N	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	03-16 $\text{NO}_3^+\text{-N}$	T-N
CK	0	4.37	9.29	0	6.19	37.76	0	7.08	27.48
I	0	3.98	10.10	0	15.51	45.72	0	39.82	55.41
Ⅱ	0	3.21	9.21	0	16.62	45.31	0	40.35	57.38
Ⅲ	0	7.14	11.15	0	31.54	61.00	0	63.87	79.27
Ⅳ	0	7.55	10.85	0	45.86	70.70	0	110.24	121.52
V	0	10.10	13.54	0	13.67	40.39	0	34.24	50.68
Ⅵ	0	7.77	13.33	0	29.55	58.39	0	95.83	99.22
Ⅶ	0	5.49	11.45	0	17.98	47.05	0	37.76	57.22
Ⅷ	0	7.93	11.41	0	45.90	72.74	0	53.49	73.36

化肥处理渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量的变化。麦季渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量随施肥量和时间的变化见图 1。试验结果表明,施肥处理渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量随施 N 肥量的增加而增加,依次为 $\text{Ⅳ} > \text{Ⅲ} > \text{Ⅱ} > \text{Ⅰ} > \text{CK}$ 。不

图 1 化肥处理麦季渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量的变化Fig. 1 Change of $\text{NO}_3^+\text{-N}$ in leaching solution in wheat field under different applied nitrogens

同施肥水平渗漏液的 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量随时间变化的特点是开始阶段曲线变化平缓,之后大致呈抛物线分布;而无肥处理渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量一直很低且曲线变化平缓,其原因是在开始采样阶段的 11 月底~12 月初连续降雨,渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 浓度很低,掩盖了不同施肥处理间的差异;在 12 月 26 日第 1 次追肥后,加大了不同处理土壤中养分含量的差异,加之冬季气温低,小麦吸收养分少,使渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 的含量增加;在 3 月份以后随着气温的回升,小麦进入拔节阶段,对养分吸收迅速增加,土壤中易淋洗的 N 素含量随之下降。除无肥处理外,小麦生长期不同施肥处理的渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量绝大部分超过 20mg/kg ,最高达 110mg/kg ,这表明小麦生长期土壤中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 的淋洗是显著的。

有机肥对渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量变化的影响。化肥与有机肥配合施用下土壤渗漏液中 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 含量的变化特点见图 2,其总的变化趋势与纯化肥处理大致相同。施 N 肥量为 150kg/hm^2 处理(I、V、X)中纯化肥(I)、化肥+猪粪(V)、化肥+秸秆(X)处理渗漏液 $\text{NO}_3^+\text{-N}$ 浓度差异不大,曲线重合在一起;而施 N 肥量为

300kg/hm² 处理(Ⅲ、Ⅳ、Ⅺ)中不同处理间在第1次追肥后差异变大,Ⅲ处理渗漏液中NO₃⁻-N含量高于Ⅺ处理,而低于Ⅳ处理,这是由于微生物分解C/N高的秸秆固定N,减少了土壤中无机N;分解C/N低的猪粪释放N,增加了土壤中无机N。Ⅲ与Ⅺ、Ⅳ及Ⅰ与Ⅳ、Ⅴ处理差异较小,表明N肥易转化为NO₃⁻-N随渗漏水淋洗,秸秆与化肥混施有利于减少土壤中无机N渗漏损失。

渗漏水中总N含量的变化。渗漏水中总N含量与NO₃⁻-N的变化趋势一致,但其含量显著高于NO₃⁻-N,连无肥处理总N含量的最高浓度也达40mg/kg。化肥+有机肥处理前期(2000年3月3日前)Ⅺ、Ⅳ处理的N浓度高于Ⅲ处理,后期渗漏水总N浓度为Ⅳ>Ⅲ>Ⅺ处理。

NO₃⁻-N的淋洗量。试验结果表明,NO₃⁻-N淋洗量随施肥量的增加而增加,依次为Ⅳ>Ⅲ>Ⅲ>Ⅺ>Ⅲ>Ⅰ>CK处理,变化范围为17.8~58.5kg/hm²;扣除无肥处理每hm²有17.80kgNO₃⁻-N淋洗量外,每hm²麦田由施肥而导致的NO₃⁻-N净淋洗量分别为Ⅰ处理5.52kg,Ⅲ处理14.71kg,Ⅺ处理20.26kg,Ⅲ处理31.57kg,Ⅳ处理36.69kg,Ⅳ处理40.69kg,占总施N肥量的3.7%~12.2%,平均6.9%。施N肥量越高,NO₃⁻-N淋失的比例越高。

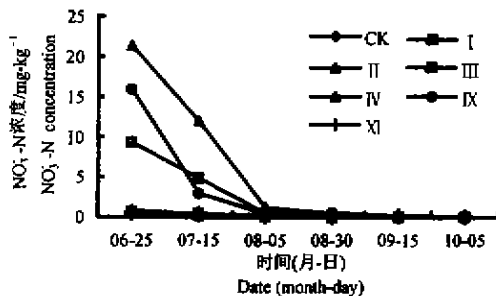


图3 稻季渗漏水中NO₃⁻-N浓度的变化(1999)

Fig. 3 Change of NO₃⁻-N in leaching solution in rice field in 1999

的原因是施肥量高的处理水稻基肥N肥用量占总施N肥量的50%,而水稻苗期吸收养分少,多余N肥易转化为NO₃⁻-N随水流失,但随着水稻植株的长大,尤其是进入拔节~孕穗期对养分吸收增多,土壤中可供淋洗的速效氮含量下降,故渗漏水中的NO₃⁻-N浓度低。渗漏水中NH₄⁺-N含量在水稻生长期均很低,1998年稻季为0~0.5mg/kg,1999年由于改用自来水作灌溉水源,除个别样品外,其含量均低于检测下限,表明稻田由渗漏水淋洗的NO₃⁻-N和NH₄⁺-N量均很少。

3 小 结

稻麦轮作农田中N的渗漏损失以NO₃⁻-N为主并发生在麦季,渗漏水中NO₃⁻-N占总N含量的比例为43%~72%,其比例随温度的升降而增减,浓度为20~110mg/kg, NH₄⁺-N则很少;而稻季除施肥量高的处理在水稻生长早期NO₃⁻-N含量较高外,稻田渗漏水中NO₃⁻-N和NH₄⁺-N含量均很低,分别为1mg/kg、0.5mg/kg以下;渗漏水中N的含量与淋洗量随施肥量的增加而增加,施N肥量为150~450kg/hm²,麦季NO₃⁻-N总淋洗量为17.8~58.5kg/hm²,平均为39.2kg/hm²,净淋洗量为5.5~40.7kg/hm²,平均为21.4kg/hm²,占施肥量的3.7%~12.2%;与纯化肥比较,化肥+猪粪处理增加了N的淋失,化肥+秸秆处理减少了化肥N的淋失。

参 考 文 献

- 1 张国良,章 申. 农田氮素淋失研究进展. 土壤, 1998 (6): 291~296
- 2 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
- 3 崔玉亭等. 苏南太湖流域水稻氮肥利用率及氮肥淋洗量的研究. 中国农业大学学报, 1998, 3(5): 51~54

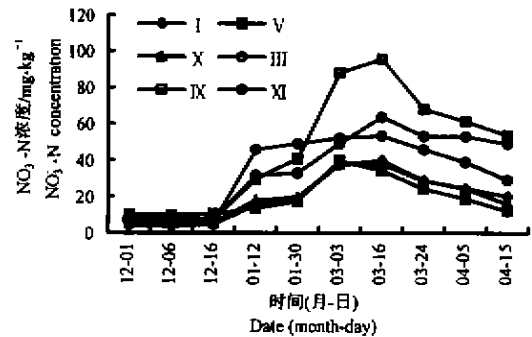


图2 化肥+有机肥处理麦田渗漏水中NO₃⁻-N含量的变化

Fig. 2 Change of NO₃⁻-N in leaching solution in wheat field applying nitrogen and manure