

太湖地区稻季的氮素径流损失研究*

田玉华^{1,2} 尹斌^{1†} 贺发云¹ 张启明¹ 朱兆良¹

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

(2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 采用田间小区试验, 连续三年研究了太湖地区稻季的氮素径流损失及影响因素, 暴雨导致的田面水高度超过土面 7 cm 后通过管道流入径流收集池。结果表明: 稻田氮素径流损失的主要形态是溶解态氮(DN), DN 中的 NH_4^+ -N 浓度基本低于 NO_3^- -N 浓度, NH_4^+ -N 浓度受施氮水平的影响, 而 NO_3^- -N 浓度不受施氮水平的影响。稻田氮素的径流损失量为 $\text{N } 1.0 \sim 17.9 \text{ kg hm}^{-2}$, 占稻季施氮量的 0.3% ~ 5.8%。氮素径流损失量年际差异很大, 在同一个稻季损失量随施氮量的增加而增加。氮素径流损失量与径流发生前田面水中氮浓度间的关系可用方程式 $y = ax + b$ 表示。通过调节施肥与暴雨的间隔时间、控制施氮量以及抬高田埂高度等措施, 可以降低稻田氮素的径流损失风险。

关键词 氮素损失; NO_3^- -N; NH_4^+ -N; 径流; 尿素

中图分类号 S143.1; S147.2; S157

文献标识码 A

太湖是我国第三大淡水湖, 在该地区的经济发展、工农业生产中均扮演着重要角色。然而, 从 20 世纪 80 年代起, 太湖及其周边地表水体的富营养化程度逐步加剧, 使得太湖地区的环境问题日益突出并导致严重的经济损失^[1]。国家环境保护总局 2004 年报告显示: 太湖整体水质低于 Ⅲ 类, 总氮(TN) 达 $1.9 \sim 7.0 \text{ mg L}^{-1}$ 。该地区近 20 年来农田氮肥施用量保持在较高的水平, 导致农田氮素大量盈余, 而农田氮素随径流进入环境是造成水体质量退化、产生富营养化的重要因素之一^[2,3]。许多研究者在该地区采用了不同的方法, 研究了稻田氮素的径流损失, 如邱卫国等^[4]与 Guo 等^[5]采用人工降雨试验, 研究了稻田径流流失特征, 王小治等^[6]采用原状土柱研究了稻田施用不同尿素品种的氮素径流流失, Guo 等^[7]研究了白土稻田氮素的径流流失特点, 等等。为深入了解这一地区稻田氮素径流损失的过程与影响因素、损失量及其对环境污染的负荷等问题, 自 2002 年稻季开始, 采用田间小区试验, 连续三年对三个稻季稻田氮素的径流损失进行了连续和系统的研究, 为合理使用氮肥、减少氮素对地表水环境的污染提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在中国科学院常熟农业生态试验站(31°32'45" N, 120°41'57" E) 进行, 位于太湖流域, 属阳澄湖低洼湖荡平原。年均气温 15.5℃, 年降水量 1 038 mm, 无霜期 224 d。供试土壤为湖积物上发育的潜育型水稻土(乌栅土), 0~15 cm 层深土壤的基本性状为: pH(H_2O) 7.36, 有机质 35 g kg^{-1} , 全氮 2.09 g kg^{-1} , 全磷 0.93 g kg^{-1} , 速效磷 5.0 mg kg^{-1} , 速效钾 121.3 mg kg^{-1} 。

1.2 试验设计

试验于 2002 年稻季开始, 设置 6 个处理, 具体施肥量见表 1。4 个重复, 随机区组排列, 小区面积 40.8 m^2 (6 m × 6.8 m)。在小区周围修建水泥池以收集径流液, 根据当地农民种植水稻和水分管理的经验, 确定以土表上方 7 cm 为当地水稻田排水口的平均高度, 各小区的径流液通过出口在土表上方 7 cm 的 PVC 管道出口流入相应的水泥池中。管道出口平时用橡皮塞塞紧, 待暴雨导致水面高度超过出口时, 拨开塞子让其流向水泥池。水稻生长期间, 除分

* 国家自然科学基金项目(40571077, 30390080)和中国科学院知识创新工程项目(KZCX-413)资助

† 通讯作者: E-mail: byin@issas.ac.cn

作者简介: 田玉华(1980~), 女, 河南夏邑人, 博士研究生, 研究方向为氮素植物营养与环境。E-mail: yhtian@issas.ac.cn

收稿日期: 2006-07-31; 收到修改稿日期: 2006-11-17

蘖末期烤田(抑制无效分蘖和藻类繁殖)及成熟前 1 周不灌水,其他时间保持 3~5 cm 深的水层,当水层低于 2 cm 时,小区通过单独的进水口灌水,根据天气预报情况,若第 2 天有明显降雨,则不进行灌水。氮肥品种为尿素,分 3 次施用,2002 和 2003 年稻季分配比例 处理 N_3P_2K 为 0.5 0.3 0.2;其他处理为 0.45 0.30 0.25,2004 年比例均为 0.4 0.3 0.3,基肥施用后将表层土耙匀,其余两次均是表施,磷钾肥做基肥一次性施入。

表 1 试验处理及施肥量

Table 1 Treatments and fertilization rates

处理代号 Treatment code	N(kg hm ⁻²)	P ₂ O ₅ (kg hm ⁻²)	K ₂ O(kg hm ⁻²)
CK	0	0	0
N ₁ P ₂ K	180	90	90
N ₂ P ₂ K	255	90	90
N ₂ P ₁ K	255	30	90
N ₂ P ₃ K	255	180	90
N ₃ P ₂ K	330	90	90

1.3 样品采集与分析

在施肥后每天早晨采集田面水,每个小区选 5 个采集点,混合为该小区的一个水样,田面水氮浓度降至稳定后隔 3~5 d 采集一次。径流产流停止后,立即测量径流体积,混匀后每个径流池取样 500 ml,装入塑料瓶中带回实验室。

测定径流液过滤前和过滤后的总氮,过滤后的总氮为溶解态氮(DN),其差值即为颗粒态氮(PN),过滤液测定 NH_4^+-N 和 $NO_3^- -N$ 浓度。总氮(TN)采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法测定, NH_4^+-N 采用靛酚蓝-紫外分光光度法测定, $NO_3^- -N$ 则直接采用紫外分光光度法测定^[8]。稻季氮素径流损失的计算方法为每次径流体积与浓度乘积之和。

2 结果与讨论

2.1 稻季径流量及对应的降雨量

该地区强降雨多集中在 6~7 月,而 2002 年稻季的暴雨发生在 8~9 月,与该地区的降雨趋势有所不同,共产生 3 次径流。2003 年和 2004 年稻季的暴雨则分布在 6 月底 7 月初,分别产生 2 次径流。径流量和对应的降雨量见表 2。

表 2 2002、2003 和 2004 年稻季径流量及对应的降雨量

Table 2 Event-based runoff and corresponding rainfall during 2002, 2003 and 2004 rice seasons

年份 Year	径流收集日期 Runoff date	径流量 Runoff (mm)	降雨量 ¹⁾ Rainfall (mm)
2002	08/ Aug	16.0	46.3
	17/ Aug	64.0	91.2
2003	16/ Sep	51.5	74.5
	29/ Jun	53.0	88.1
2004	06/ Jul	23.0	58.7
	24/ Jun	76.7	122
	03/ Jul	21.2	75.1

1) 该降雨量包括连续 1~3 d 的降雨 The rainfall included rainfall for one to three successional days

2.2 田面水中氮浓度动态变化

田面水中的氮浓度影响稻田径流液中氮浓度,因为,田面水是径流液的来源之一。田面水 TN 浓度在施肥当天即达到最大,可达 100 mg L⁻¹,而 NH_4^+-N 有一个先升后降的过程,一般在第 2~3 天达到峰值(图 1~图 3),主要是由于施用的氮肥为尿素,施入稻田后有一个水解过程。田面水 TN 和 NH_4^+-N 降低很快,一般在施肥后 3~5 d 降至 10 mg L⁻¹ 以下,其降低的原因主要包括:尿素水解及藻类生长使田面水 pH 值上升, NH_4^+-N 在较高 pH 值和温

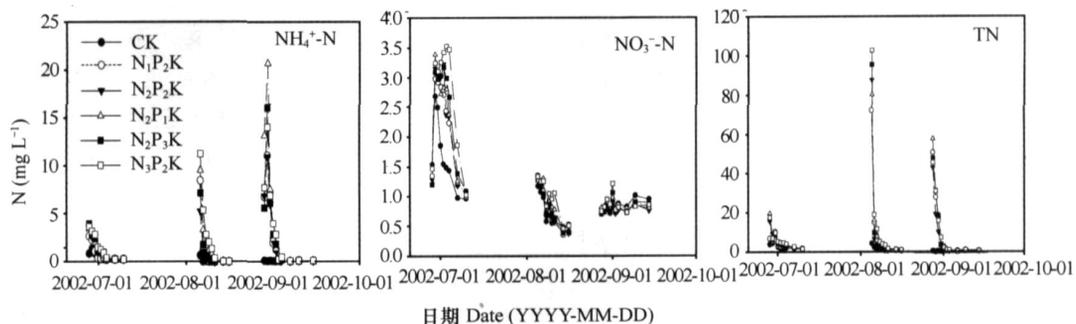


图 1 2002 年稻季田面水 NH_4^+-N 、 $NO_3^- -N$ 和 TN 浓度

Fig. 1 NH_4^+-N , $NO_3^- -N$ and TN concentrations of the flooded water in paddy fields in 2002 rice season

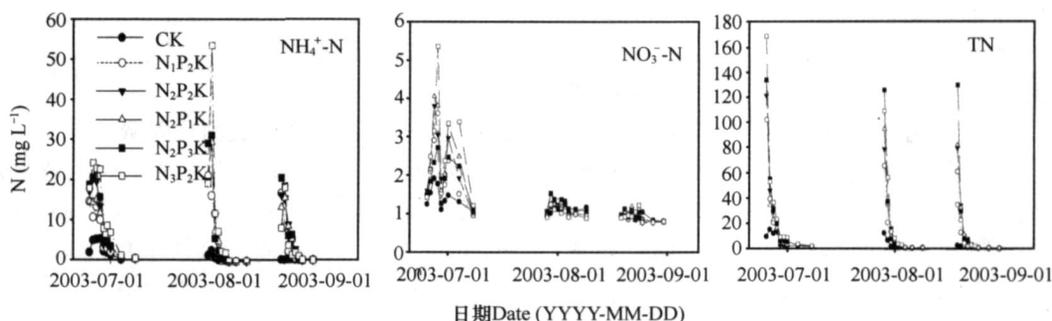
图 2 2003 年稻季田面水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 TN 浓度

Fig. 2 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and TN concentrations of the flooded water in paddy fields in 2003 rice season

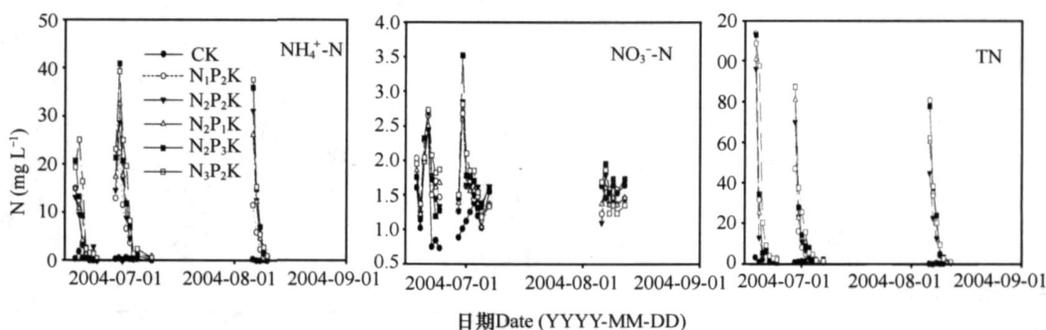
图 3 2004 年稻季田面水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 TN 浓度

Fig. 3 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and TN concentrations of the flooded water in paddy fields in 2004 rice season

度下, NH_3 挥发损失严重, 可占施氮量的 18% ~ 39%^[9~11]; 淹水稻田硝化-反硝化损失也是一个重要的损失途径^[12]。在施肥 1 周后田面水氮浓度降至稳定, 甚至低于灌溉水中氮浓度 (数据未列出)。可见, 在施肥后几天内, 大量的化肥氮保留在田面水中, 若在这几天内遇到暴雨并产生径流, 氮素流失会很严重。如 2002 年稻季第 1 次, 2003 年稻季第 1 次和第 2 次, 以及 2004 年稻季第 2 次等径流产生前的田面水 TN 浓度分别为 2.8 ~ 11.6、14 ~ 19.5、2.2 ~ 3.7 及 5.6 ~ 16.1 mg L^{-1} , 而其他 3 次径流发生前的田面水 TN 浓度为 1 ~ 2 mg L^{-1} , 接近或低于灌溉水中的氮浓度。

2.3 径流液中氮浓度

2002 年稻季第 1 次径流发生在分蘖肥施入后的第 4 天, 其余两次分别发生在施分蘖肥及孕穗肥后的第 15 天和第 20 天; 2003 年稻季的两次径流发生在基肥后第 4 天和第 11 天; 2004 年稻季两次径流分别发生在基肥和分蘖肥后的第 7 天和第 4 天。

表 3 ~ 表 5 显示了 2002、2003 和 2004 年稻季径

流液中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 TN 浓度, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度范围在 0.05 ~ 3.94 mg L^{-1} 之间, 除 2002 年 8 月 17 日及 9 月 16 日的两次径流外, 其余径流发生均在施肥时期, 径流液中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TN 浓度受施氮影响, 各施氮处理明显高于对照处理, 高氮 (N_3) 处理高于 N_1 和 N_2 处理, 但 N_1 和 N_2 处理之间差异不明显, 表明过量施氮情况下, 氮素径流流失风险增加。其他研究结果也表明, 若在施肥后短时间内发生径流, 径流液及稻田周围河水中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度便会升高^[5,7,13]。然而, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度基本不受施氮水平的影响, 表明径流液中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的主要来源不是当季施入的肥料, 可能来源于灌溉水及雨水。

径流液中氮主要是 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (表 3 ~ 表 5), 以溶解态氮 (DN) 为主, 这与 Gao 等^[7] 在水稻季节得出的结果一致, 原因主要是稻田土壤上面覆盖了一层 3 ~ 5 cm 的田面水, 它可以保护表层土免受雨水的直接打击, 同时水稻冠层覆盖也减弱了雨水的冲击。而与 Gao 等^[5] 在混合土地利用方式 (包括稻田) 上得出的结果有所不同, 这可能与径流发生时

表 3 2002 年稻季径流液中的 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和 TN 浓度Table 3 N concentrations in runoff in 2002 rice season (N mg L^{-1})

处理代号 Treatment code	08/ Aug			17/ Aug			16/ Sep		
	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	TN	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	TN	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	TN
CK	0.09 ±0.01	1.15 ±0.57	1.76 ±0.56	0.09 ±0.08	0.48 ±0.05	0.74 ±0.31	0.12 ±0.07	0.86 ±0.09	1.75 ±0.60
$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}$	0.52 ±0.48	0.83 ±0.18	2.16 ±0.68	0.09 ±0.07	0.41 ±0.04	0.69 ±0.22	0.14 ±0.07	0.70 ±0.06	1.16 ±0.15
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}$	0.49 ±0.36	1.23 ±0.37	2.74 ±0.46	0.09 ±0.06	0.44 ±0.07	0.64 ±0.24	0.31 ±0.28	0.81 ±0.25	1.65 ±0.79
$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}$	1.50 ±1.17	1.55 ±0.76	3.21 ±0.32	0.07 ±0.02	0.43 ±0.04	1.45 ±1.47	0.29 ±0.22	1.04 ±0.47	2.37 ±1.12
$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}$	0.63 ±0.37	1.14 ±0.17	2.80 ±0.53	0.11 ±0.03	0.48 ±0.21	0.89 ±0.65	0.17 ±0.03	0.70 ±0.05	1.13 ±0.11
$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}$	3.32 ±0.63	1.14 ±0.17	6.51 ±1.01	0.05 ±0.03	0.45 ±0.08	0.58 ±0.29	0.20 ±0.04	0.74 ±0.02	1.31 ±0.28

表 4 2003 年稻季径流液中的 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和 TN 浓度Table 4 N concentrations in runoff in 2003 rice season (N mg L^{-1})

处理代号 Treatment code	29/ Jun			06/ Jul		
	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	TN	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	TN
CK	0.43 ±0.29	3.41 ±1.08	4.51 ±2.01	0.49 ±0.02	2.95 ±0.30	3.99 ±1.28
$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}$	0.37 ±0.11	6.21 ±2.55	7.30 ±3.03	1.18 ±0.58	1.33 ±0.18	2.56 ±0.29
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}$	0.31 ±0.04	6.74 ±2.46	7.46 ±3.29	1.07 ±0.57	1.62 ±0.48	2.72 ±0.67
$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}$	0.58 ±0.52	8.50 ±1.57	9.80 ±3.66	0.68 ±0.14	2.27 ±0.41	3.17 ±1.08
$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}$	0.46 ±0.20	7.29 ±2.32	8.02 ±3.31	1.53 ±1.00	2.58 ±0.85	4.14 ±0.91
$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}$	3.94 ±2.43	7.99 ±2.57	16.76 ±0.27	2.54 ±2.22	1.85 ±0.62	5.19 ±3.15

表 5 2004 年稻季径流液中的 NH_4^+ -N、 NO_3^- -N 和 TN 浓度Table 5 N concentrations in runoff in 2004 rice season (N mg L^{-1})

处理代号 Treatment code	24/ Jun			03/ Jul		
	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	TN	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	TN
CK	0.52 ±0.12	0.44 ±0.19	1.80 ±0.27	0.65 ±0.23	0.82 ±0.17	2.25 ±0.21
$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}$	0.73 ±0.04	0.83 ±0.53	2.66 ±0.55	1.68 ±0.66	1.42 ±0.26	3.70 ±0.69
$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}$	0.81 ±0.20	0.77 ±0.53	2.23 ±0.63	1.62 ±0.48	1.33 ±0.33	3.50 ±0.59
$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}$	1.46 ±0.20	0.70 ±0.00	3.40 ±1.90	2.00 ±0.50	1.56 ±0.33	4.44 ±0.42
$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}$	0.81 ±0.20	0.50 ±0.10	2.08 ±0.53	2.52 ±0.85	1.36 ±0.21	4.09 ±0.33
$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}$	1.30 ±0.52	1.06 ±0.19	3.08 ±0.52	1.74 ±1.59	2.34 ±0.61	6.75 ±1.96

间和田地管理有关,若径流发生在耙田翻耕后,土壤颗粒还没有充分沉积,颗粒态 N 就会流失严重。 NO_3^- -N 浓度大体较 NH_4^+ -N 浓度高,原因可能是 NH_4^+ -N 容易被土壤颗粒固定而且水稻偏好吸收 NH_4^+ -N^[14],同时,灌溉水中的 NO_3^- -N 基本上较 NH_4^+ -N 浓度高(数据未列出)。

根据地表水质量划分标准(GB3838-2002),相当一部分径流液中 TN 和 NH_4^+ -N 浓度超标,例如,88.4%的 TN 以及 35.7%的 NH_4^+ -N 超过 Ⅲ类水标准(表 6)。

表 6 根据 GB3838-2002,径流液中 TN 和 NH_4^+ -N 超过不同标准的百分数Table 6 Percentage of runoff water samples that exceeded the limits of different grades of GB3838-2002 for TN and NH_4^+ -N concentration in runoff (%)

指标 Parameters	Ⅲ类 Grade	Ⅳ类 Grade	Ⅴ类 Grade	Ⅵ类 Grade
TN	100	95.9	88.4	78.5
NH_4^+ -N	78.9	55.6	35.7	29.2

2.4 稻季氮素径流损失量

表 7 列出了 2002 ~ 2004 年连续三个稻季的氮

素径流损失量。不同年份之间氮素径流损失量差异很大,2002、2003 和 2004 年稻季损失量分别为 N 1.0~2.6、4.8~17.9 和 1.7~4.8 kg hm⁻²。结合表 2 中的径流量可以看出,2002、2003 和 2004 年稻季径流量分别为 122、76 和 98 mm,虽然 2003 年稻季径流量最小,但氮素径流损失量却最高,原因主要是径流液中氮浓度较高(表 4),在同一个稻季,氮素的径流损失大体上随施氮量的增加而增加。

稻季氮素径流损失量与径流发生前田面水中 TN 浓度显著相关($P < 0.05$),二者之间的关系可用方程 $y = ax + b$ 表示,模拟结果见图 4。a 值随施氮量的增加而增加,表明径流产生前田面水 TN 浓度是预测水稻季氮素径流流失的一个重要指标。

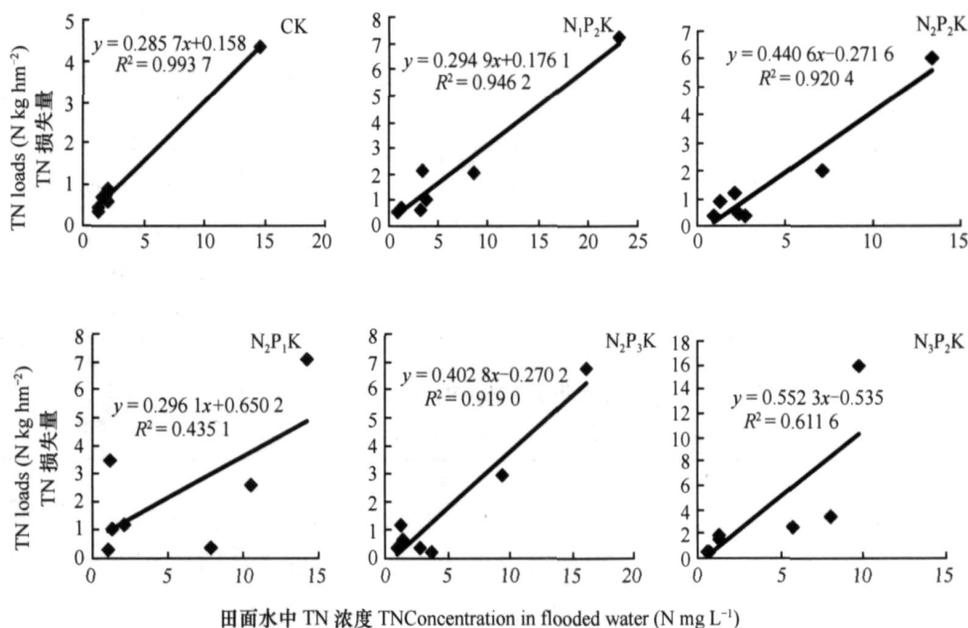


图 4 TN 径流损失量与径流产生前田面水 TN 浓度之间的关系

Fig. 4 Relationship between TN load in runoff water and TN concentration in the flooded water in each event

太湖地区水稻生长期间一般要施 3 次氮肥或更多,氮肥发生径流流失的风险较大。施氮量以及施氮后的时间间隔决定田面水中的氮浓度,进而影响氮素径流损失量,因此,适当降低施氮量及避免在暴雨前施氮是减少稻田氮素径流流失的有效手段。另外,灌溉水及雨水中的氮浓度也可影响氮素径流流失量,因为它们也是径流液的来源。田面水层的高度以及田埂高度直接影响径流产流量,适当筑高田埂高度可以显著降低稻田氮素径流流失量^[15]。

3 结论

水稻季节氮素径流流失量年际之间变幅很大,

表 7 2002~2004 年稻季氮素径流损失量

Table 7 N losses with runoff during 2002~2004 rice seasons (N kg hm⁻²)

处理代号 Treatment code	2002 年稻季 Rice season in 2002	2003 年稻季 Rice season in 2003	2004 年稻季 Rice season in 2004
CK	1.34	4.81	1.70
N ₁ P ₂ K	1.91 (0.97)	10.4 (5.79)	2.81 (1.56)
N ₂ P ₂ K	1.02 (0.31)	6.49 (2.54)	2.75 (1.08)
N ₂ P ₁ K	1.56 (0.48)	7.93 (3.57)	3.83 (1.50)
N ₂ P ₃ K	1.22 (0.44)	8.56 (3.36)	3.68 (1.44)
N ₃ P ₂ K	2.57 (0.73)	17.9 (5.42)	4.80 (1.46)

注:括号内数值为氮素径流损失占当季施氮量的百分数
Note: The numbers in parentheses indicated the percentage of N loss in runoff against the total N applied

施肥量及施肥与暴雨发生的时间间隔是影响径流损失量的主要因素,若暴雨发生在刚施肥后的几天内,氮素径流流失严重。溶解态氮(DN)是稻田氮素径流流失的主要形态。径流产生前田面水中氮浓度与氮素径流损失量呈正相关关系,可用于预测氮素径流流失量。适当降低施氮量、避免在暴雨前几天施肥可降低稻田氮素的径流损失风险。

参考文献

- [1] 范成新,羊向东,史龙新,等. 江苏湖泊富营养化特征成因及解决途径. 长江流域资源与环境, 2005, 14(2): 218~223.
Fan C X, Yang X D, Shi L X, et al. Characteristics and cause of lake eutrophication in Jiangsu Province with suggestions on its control

- measures (In Chinese). Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2005, 14(2): 218 ~ 223
- [2] 高超,朱建国,窦贻俭. 农业非点源污染对太湖水质的影响: 发展态势与研究重点. 长江流域资源与环境, 2002, 11(3): 260 ~ 263. Gao C, Zhu J G, Dou Y J. Contribution of agricultural non-point sources pollution to water quality deterioration in Taihu Lake watershed: recent trends and research priorities (In Chinese). Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2002, 11(3): 260 ~ 263
- [3] 全为民,严力蛟. 农业面源污染对水体富营养化的影响及其防治措施. 生态学报, 2002, 22(3): 291 ~ 299. Quan W M, Yan L J. Effects of agricultural non-point source pollution on eutrophication of water body and its control measure (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(3): 291 ~ 299
- [4] 邱卫国,唐浩,王超. 水稻田面水氮素动态径流流失特性及控制技术的研究. 农业环境科学学报, 2004, 23(4): 740 ~ 744. Qiu W G, Tang H, Wang C. Rule of loss of nitrogen in the surface water of rice fields and the control technology (In Chinese). Journal of Agri-Environment Science, 2004, 23(4): 740 ~ 744
- [5] Gao X J, Hu X F, Wang S P, *et al.* Nitrogen losses from flooded rice field. Pedosphere, 2002, 12(2): 151 ~ 156
- [6] 王小治,高人,朱建国,等. 稻季施用不同尿素品种的氮素径流和淋溶损失. 中国环境科学, 2004, 24(5): 600 ~ 604. Wang X Z, Gao R, Zhu J G, *et al.* Nitrogen loss via runoff and leaching from employ different urea bleeds in paddy season (In Chinese). China Environmental Science, 2004, 24(5): 600 ~ 604
- [7] Guo H Y, Zhu J G, Wang X R, *et al.* Case study on nitrogen and phosphorus emissions from paddy field in Taihu region. Environ. Geochem. Health, 2004, 26: 209 ~ 219
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水检测分析方法. 北京: 中国环境科学出版社, 1997. State Environmental Protection Administration of China. ed. Methods of Water and Waste Water Supervise (In Chinese). Beijing: China Environmental Science Publishing House, 1997
- [9] 宋勇生,范晓晖,林德喜,等. 太湖地区稻田氨挥发及影响因素的研究. 土壤学报, 2004, 41(2): 265 ~ 269. Song Y S, Fan X H, Lin D X, *et al.* Ammonia volatilization from paddy fields in the Taihu Lake region and its infecting factors (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(2): 265 ~ 269
- [10] 田光明,蔡祖聪,曹金留,等. 镇江丘陵区稻田化肥氮的氨挥发及其影响因素. 土壤学报, 2001, 38(3): 324 ~ 332. Tian G M, Cai Z C, Cao J L, *et al.* Ammonia volatilization from paddy field and its affecting factors in Zhenjiang hilly region (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(3): 324 ~ 332
- [11] 邓美华,尹斌,张绍林,等. 不同施氮量和施肥方式对稻田氨挥发损失的影响. 土壤, 2006, 38(3): 263 ~ 269. Deng M H, Yin B, Zhang S L, *et al.* Effects of rate and method of N application on ammonia volatilization in paddy fields. Soils, 2006, 38(3): 263 ~ 269
- [12] Hofstra N, Bouwman A F. Denitrification in agricultural soils: Summarizing published data and estimating global annual rates. Nutrients Cycling in Agroecosystem, 2005, 72(3): 267 ~ 278
- [13] Gao C, Zhu J G, Zhu J Y, *et al.* Nitrogen export from an agriculture watershed in the Taihu Lake area, China. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26: 199 ~ 207
- [14] 何文寿,李生秀,李辉桃. 水稻对铵态氮和硝态氮的吸收特征的研究. 中国水稻科学, 1998, 12(4): 249 ~ 252. He W S, Li S X, Li H T. Characteristics of ammonium and nitrate in rice (In Chinese). Chinese J. Rice Sci., 1998, 12(4): 249 ~ 252
- [15] Mishra A, Ghorai A K, Singh S R. Rainwater, soil and nutrient conservation in rainfed rice lands in Eastern India. Agricultural and Water Management, 1998, 38: 45 ~ 57

NITROGEN LOSS WITH RUNOFF IN RICE SEASON IN THE TAIHU LAKE REGION, CHINA

Tian Yuhua^{1,2} Yin Bin^{1†} He Fayun¹ Zhang Qiming¹ Zhu Zhaoliang¹

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

(2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract In order to evaluate nitrogen loss with runoff from paddy field and its affecting factors in the rice season, field experiments were carried out for three years in succession in the Taihu Lake region. When heavy rain shower brought water table of the flooded water 7 cm above the land overflow was piped to a runoff pooling pond. Results of the experiments show that dissolved N (DN) was the main form of N lost with runoff. Among the DN concentration of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ was lower than that of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ in general, and the former was correlated with N fertilization rate but the latter was not. Seasonal TN loads in runoff ranged between 1.0 and 17.9 kg hm^{-2} during the rice seasons, accounting for 0.3% ~ 5.8% of the applied N. N loss with runoff differed greatly between rice seasons and increased with the N rate in the same rice season. The relationship between TN loads in runoff and N concentrations in surface water before runoff could be expressed by equation $y = ax + b$. The risk of N losses through runoff in the rice season could be minimized by reducing fertilization rate, avoiding fertilization just before heavy rainfall and heightening the ridges of the paddy field.

Key words N losses; $\text{NO}_3^-\text{-N}$; $\text{NH}_4^+\text{-N}$; Runoff; Urea