

太湖地区氮肥用量对土壤供氮、水稻吸氮和地下水的影晌*

闫德智^{1,2} 王德建¹ 林静慧¹

(1 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 利用矿化培养与田间试验的方法, 探讨了太湖地区长期施氮条件下, 氮肥用量对土壤供氮、水稻吸氮与环境的影响。初步试验结果表明: 多年施用氮肥能够提高土壤的供氮能力, 并随施 N 量的增加而增加。增加氮肥用量能够提高稻株含氮量和吸氮量, 但氮素向谷粒的转移率降低, 试验区水稻氮肥用量以 225 ~ 270 kg hm⁻² 左右为佳。稻田田面水和渗漏液的 N 素养分动态变化显示, 施 N 会造成田面水 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量的短暂升高, 但不同施 N 量之间相差并不显著。稻田渗漏液中的氮以硝态氮为主, 通常在淹水泡田后的 7 d 内有一个 NO₃⁻-N 含量的峰值期, NO₃⁻-N 含量在 1.62~ 2.75 mg L⁻¹ 之间, 约 10 d 后降至 0.5 mg L⁻¹ 以下; NH₄⁺-N 含量变化有随施 N 量而增加的趋势, 高峰期通常出现在分蘖末期, 其余时间 NH₄⁺-N 含量在 0.2 mg L⁻¹ 以下。

关键词 氮肥用量; 土壤矿化; 水稻吸氮; 渗漏液

中图分类号 S147.2 文献标识码 A

氮素是作物生长发育所需的重要营养元素, 而多数土壤的含氮量较低, 施用氮肥为作物补充氮素是保证作物高产的重要措施。但氮肥的不合理施用会造成利用率降低^[1,2], 经济效益下降, 并引起地下水、地表水和大气污染^[3,4], 影响人体健康。在实践上有效的解决途径是根据土壤供氮能力和水稻吸氮规律确定合理施肥量和施肥时期, 使之既能满足作物生长发育的需要, 保证作物高产丰产, 又能提高氮肥利用率, 避免对地表水和地下水的潜在威胁。本研究通过对氮肥效应试验中土壤矿化氮量、各时期水稻吸氮量和稻田田面水、渗漏液的测定, 探讨了在现有的施肥制度下, 氮肥用量对经济效益和环境效益的双重意义, 以便为太湖地区的氮肥合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验以太湖平原地区有代表性的普通筒育水耕人为土(竖头乌栅土)作为供试土壤, 在常熟市辛庄

镇中国科学院常熟农业生态站上进行。氮肥效应试验始于 1998 年稻季, 包括 N0、N1、N2、N3 和 N4 五个处理, 其水稻(小麦)的氮肥(N)用量分别为 0(0)、180(135)、225(180)、270(225)、315(270) kg hm⁻², 磷肥(P₂O₅)用量均为 60(90) kg hm⁻², 钾肥(K₂O)均为 112.5 kg hm⁻², 每个处理重复 4 次, 随机区组排列, 小区面积为 32.5 m²。

施肥与管理: 氮肥品种为尿素, 50% 作基肥(插秧前一天施入), 20% 作分蘖肥(7 月 11 日左右施用), 30% 作穗肥(8 月 10 日左右施用); 磷肥(过磷酸钙)全部作基肥; 钾肥(氯化钾) 50% 作基肥, 50% 作穗肥。栽插密度约为 30 穴 m⁻², 基本苗约为 120 株 m⁻², 其他管理措施同大田生产。水稻通常在 6 月 20 日左右插秧, 10 月 25 日左右收获。

1.2 土壤供氮能力的测定

在 2003 年小麦收获后, 采集各处理 0~ 15 cm 的新鲜土样, 各处理土壤的基本理化性质如表 1。采用淹水密闭培养法^[5]测定土壤供氮能力: 称取一定量的新鲜土样于 50 ml 广口瓶中, 按烘干土与水的比例约 1: 1.3 左右加入蒸馏水, 瓶口用橡皮塞塞

* 中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-413-6)、国家科技攻关课题(2004BA516A02-5)资助

作者简介: 闫德智(1978~), 男, 博士研究生, 从事土壤、植物氮素方面的研究。E-mail: yan3st@sohu.com

收稿日期: 2004-04-05; 收到修改稿日期: 2004-11-26

紧,置于 30 ℃培养箱中培养,每处理 3 次重复。分别在培养 0、7、21、35、49、70 d 时,用 2.5 mol L⁻¹氯化

钾溶液提取,测定滤液中 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量,并换算成烘干土含量。

表 1 供试土壤的基本性状

Table 1 Some basic properties of soils used for experiments

处理代号 Treatment code	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	有机质 O. M.	碱解氮			速效磷 Rapidly available P	速效钾 Rapidly available K	代换量 CEC (mol kg ⁻¹)	pH (H ₂ O)
					(g kg ⁻¹)						
N0	2.22	0.71	18.72	38.26	160.2	4.07	122	20.48	7.63		
N1	2.24	0.74	18.67	40.28	160.8	8.43	123	21.14	7.46		
N2	2.44	0.69	18.94	43.84	170.3	7.12	115	21.75	7.29		
N3	2.37	0.74	18.65	43.21	174.6	6.13	113	21.19	7.52		
N4	2.44	0.72	19.01	42.95	176.1	5.76	115	20.81	7.34		

1.3 水稻吸氮动态的测定

在 2002 年水稻移栽一个月后,每隔 15 d 采一次水稻植株样,烘干后称重,磨碎,测定植株含氮量,并计算水稻不同时期的吸氮量。

1.4 稻田渗漏液的测定

在每个小区中央埋设一 60 cm 深的 PVC 渗漏水采集管,用来采集渗漏液,采样时间在施肥后的 1、3、5、7 d (即每 2 d 取一次样)连续 4 次采样,之后每 7 d 取一次样,并在施用基肥和穗肥后采取表层水(田面水)水样,测定其中的 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量。NH₄⁺-N 分析用靛酚蓝比色法,NO₃⁻-N 用紫外分光光度法。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对土壤供氮能力的影响

淹水密闭培养试验中,N0、N1、N2、N3 和 N4 处理的 NO₃⁻-N 含量在 7 d 内迅速下降,分别从 24.20、22.98、21.22、23.42、22.90 mg kg⁻¹ 下降为 0.94、0.88、0.98、0.94、1.38 mg kg⁻¹,以后变化不大。各处理土壤起始 NH₄⁺-N 含量均较低,分别为 0.82、0.79、0.60、0.48 和 0.61 mg kg⁻¹,培养开始后迅速累积,随着培养时间的延长而增长,第 49 天后下降,各处理铵态氮累积量如图 1 所示。

矿化培养法在一定程度上改变了土壤有机氮库的转化过程或是引起了土壤微生物群的变化,淹水培养时 NO₃⁻-N 的反硝化、NH₄⁺-N 的负反馈等又会强烈影响土壤的氮矿化过程,因此矿化培养法并不能真实地反映田间条件下土壤的氮矿化过程,使用

培养矿化氮量作为土壤基础供氮量时,必须综合考虑其他因素的影响。但由于培养条件的可控性,使用矿化培养法对不同土壤的供氮能力进行比较却是非常合适的。从图 1 可以看出:高施 N 量处理的土壤氮矿化量高于低施 N 处理,且随施 N 量的增加而增加,说明经过 6 年稻麦轮作施肥后,增加氮肥用量提高了土壤可矿化氮含量,提高了土壤氮素供应能力。

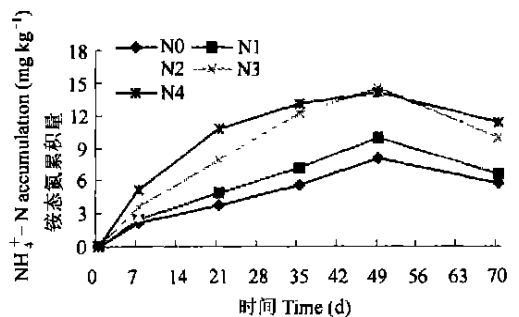


图 1 土壤氮矿化累积曲线

Fig 1 Accumulation of N mineralized in soil

作物收获后,一部分氮素残留在土壤中,包括秸秆中的氮、根系中的氮、肥料氮等,如 2002 年收稻后根系含氮量的测定表明,根系中残留的氮量随施 N 量的增加而增加,N0、N1、N2、N3 和 N4 处理分别为 6.23、7.38、9.14、11.96、13.86 和 15.05 kg hm⁻²。这部分残留氮在作物收获后仍会对土壤氮矿化产生影响,但影响的结果却是不确定的。有些研究表明施过 N 肥的土壤比未施 N 的土壤有更强的氮矿化^[6,7],且随施 N 量的增加而增加^[8],这与本研究的结果相同。但也有相反的观点,有些研究发现高施 N 区土壤的累积矿化量大于低施 N 区,却小于不施

N的土壤^[9],或者氮矿化速率会随施N量的增加而减少^[10],有些研究还认为氮肥用量对土壤氮矿化没有影响^[11]。Wienhold等^[10]认为这些差异的产生与作物残体的残留量和碳氮比有关,但究竟是何原因还需进一步的研究。

表1显示,经过6年稻麦轮作施肥后,施N处理的土壤全氮稍高于不施N处理,与以前的研究结果相同^[12],氮肥用量超过N 225 kg hm⁻²,全氮含量不变或略有下降。当氮肥用量低于N 225 kg hm⁻²时,有机质含量随氮肥用量的增加而增加,超过N 225 kg hm⁻²后,有机质含量逐渐下降。碱解氮随氮肥用量的增加而增加,氮肥用量从N 180 kg hm⁻²增加到N 225 kg hm⁻²时,碱解氮增加最快。对土壤全氮、有机质和碱解氮的变化来说,氮肥用量为N 225 kg hm⁻²成为一个转折点。将土壤全氮、有机质和碱解氮与矿化氮累积量作相关分析发现,土壤全氮和有机质与第35天、49天和70天的矿化氮量达到显著相关,而与第7天和21天的矿化氮量没有显著相关性,除第7天外碱解氮与其余时间的矿化氮量均达到显著相关性,但这种相关性可能是由于可矿化氮与全氮、有机质之间存在自相关关系^[13]造成的。

2.2 氮肥用量对水稻吸氮量的影响

图2显示,无论氮肥用量的高低,水稻植株含氮量都以分蘖期为最高,以后随生育期的进展而下降,在9月22日前各处理含氮量均下降迅速,其后至收

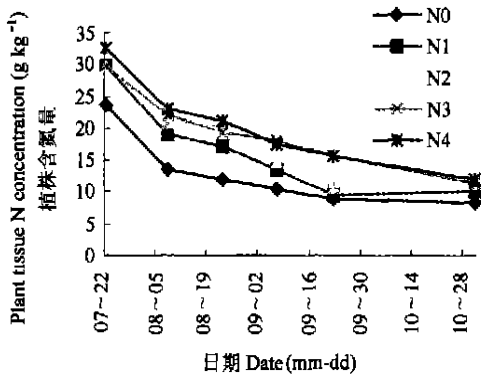


图2 不同处理间植株含氮量的差异
Fig. 2 Difference in N concentration between plants of rice

获N0、N1和N2处理含氮量有所回升,N3和N4处理含氮量继续下降,但仍能保持较高的含氮量,从而有利于增强生育后期的光合作用,对保证高产是有利的。水稻植株含氮量随氮肥用量的增加而增加,但随着氮肥用量的增加,植株含氮量的增幅变小,收获时N1、N2、N3和N4处理的含氮量分别比N0处理高23.57%、37.51%、38.57%和47.18%。收获时茎秆中的氮素向稻谷中转移,稻谷含氮量约是茎秆含氮量的1.6~2.2倍,这个比例随氮肥用量的增加而降低。

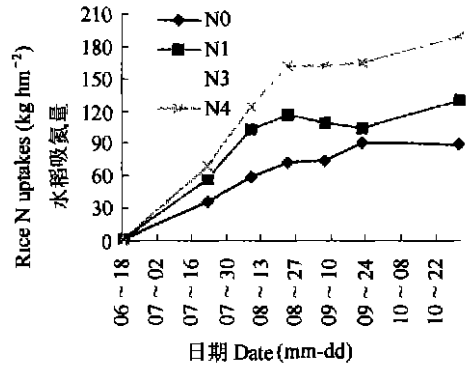


图3 不同处理间水稻植株总吸氮量的差异
Fig. 3 Difference in total N uptakes between plants of rice

从各生育阶段水稻植株总吸氮量(图3和表2)来看,水稻对氮素的吸收以7月22日至8月23日(约为分蘖末期至幼穗形成期)为最高,其次为移栽至7月22日(约为分蘖期)间,水稻植株在8月23日前就吸收了绝大部分氮素,占总吸氮量的80%以上,且氮肥用量越高,前期吸收氮素的比例越高。从移栽到7月22日水稻吸收氮素的比例随氮肥用量的增加而降低,在7月22日至8月23日随氮肥用量的增加而升高。9月7日前后水稻植株很少吸收氮素,在总吸氮量中所占的比例很小,但也与采样误差有关,许多小区内9月22日水稻总吸氮量低于8月23日。9月22日后水稻植株又能吸收部分氮素,在总吸氮量中所占的比例随氮肥用量的增加而降低。

表 2 水稻植株各生育阶段氮素吸收情况
Table 2 Proportion of N uptake at different growth stages

生育阶段 Growth stage (mm-dd)	N0		N1		N2		N3		N4	
	吸氮量	比例	吸氮量	比例	吸氮量	比例	吸氮量	比例	吸氮量	比例
	N uptake (kg hm ⁻²)	Percent (%)	N uptake (kg hm ⁻²)	Percent (%)	N uptake (kg hm ⁻²)	Percent (%)	N uptake (kg hm ⁻²)	Percent (%)	N uptake (kg hm ⁻²)	Percent (%)
06-18~07-22	29.1	35.6	49.4	40.7	54.0	37.6	58.1	36.9	54.4	32.1
07-22~08-23	36.1	44.2	55.6	45.8	91.0	63.3	76.9	48.9	98.7	58.2
08-23~09-22	0.26	0	0	0	0	0	6.8	4.3	4.2	2.5
09-22~10-31	16.3	19.9	16.3	13.5	0	0	15.6	9.9	12.2	7.2
合计 Sum	81.8	100	121.3	100	143.8	100	157.3	100	169.5	100

收获时 N1、N2、N3 和 N4 处理植株氮素总吸收量分别比 N0 处理高 44.1%、69.1%、84.2% 和 97.8%。从氮在水稻植株谷草中的分配来看, 稻草含氮量仅为稻谷的 1/2 左右, 稻谷与稻草的干重之比为 1.2 左右, 大量的氮素从稻草转移到稻谷中, N0、N1、N2、N3 和 N4 处理谷粒中的氮量占植株总氮量的比例依次为 69.3%、72.3%、66.8%、66.0% 和 66.6%, 高施肥处理略低, 表明氮素从茎、叶、根部向谷粒的转移率降低。

通过差值法计算氮肥利用率得出, N1、N2、N3 和 N4 处理的氮肥利用率分别为 31.5%、34.6%、31.5% 和 32.5%。当氮肥用量从 N 180 kg hm⁻² 增加到 N 225 kg hm⁻² 时, 氮肥利用率随之升高, 从 N 225 kg hm⁻² 增加到 N 315 kg hm⁻² 时, 氮肥利用率下降, 以 N 225 kg hm⁻² 时利用率最高。

近年来的水稻产量(表 3)显示, 除 2002 年高产

年份外, 水稻产量均以氮肥用量为 N3 水平(N 270 kg hm⁻²) 时最高, N4 水平的水稻产量均低于 N3 水平, 甚至低于 N2 水平, 也就是说在大多数年份, 氮肥用量超过 N 270 kg hm⁻² 时会造成水稻减产。在 N3 水平以下时, 水稻产量随施肥量的增加而增加, 但边际产量迅速下降, 单位产量消耗氮量增加, 2002 年 N0、N1、N2、N3 和 N4 处理每千克稻谷需氮量(N) 分别为 15.25、16.19、18.54、19.73 和 20.27 g N。水稻产量对氮肥用量的响应是随着产量而变化的, 2002 年以 N4 处理产量最高, 而 2003 年 N1~N4 之间没有显著差异。综合 6 年的试验结果, 氮肥用量为 N3 水平时出现高产的概率最大, N2 与 N4 之间没有显著的差异, 因此可以得出, 在现有施肥制度下, 本区乌栅土上水稻氮肥用量以 N 225~270 kg hm⁻² 为最佳施氮量。

表 3 不同施氮水平下各年的水稻产量

Table 3 Yields of rice receiving different rates of N fertilizer in the field experiment in different years (kg hm⁻²)

处理代号 Treatment code	年份 Year					
	1998	1999	2000	2001	2002	2003
N0	6 483 c ¹⁾	4 117 c	4 227 c	4 988 c	5 882 c	5 063 b
N1	7 926 ab	6 319 b	5 973 ab	6 987 ab	7 980 b	6 298 a
N2	8 064 ab	6 554 b	6 272 ab	7 089 ab	8 181 ab	6 460 a
N3	8 288 a	7 091 a	6 388 a	7 221 a	8 372 ab	6 620 a
N4	7 811 b	6 728 ab	6 413 a	6 795 b	8 748 a	6 437 a

1) 同一列内带相同字母的平均值之间无显著差异($p=0.05$, 新复极差测验) No significance difference among the mean values with the same letter in the column ($p=0.05$, Duncan's Test)

2.3 氮肥用量对稻田田面水、渗漏液的影响

2.3.1 氮肥用量对稻田田面水的影响

稻田田面水分析表明, 无论是施用基肥还是穗肥, 施 N 后田面水的 NH₄⁺-N 含量都迅速增加(图 4), 在施 N

(基肥 6 月 22 日, 穗肥 8 月 17 日施用) 后第 1 天就显著高于无 N 区, 基肥时施 N 区为无 N 区的 3.7~4.4 倍, 穗肥时施 N 区为无 N 区的 1.8~3.4 倍。一般在施 N 后 3 d 左右达到峰值, 基肥时施 N 区为无

N 区的 2.7~2.9 倍,随后迅速下降,施肥后 5 至 7 d 时降至施肥后 3 d 时的 2%~9%,与同期无 N 区相近。在施 N 后 1~5 d 内, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量随施 N 量的增加而增加,施基肥时,各施 N 处理的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量差异不大,施穗肥时差异较为明显。田面水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量随时间动态下降的特征与以前的报道^[14,15]相似,但以前多报道 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量最大值出现在施肥后第 1 天,与本研究结果有所不同,这可能与土壤类型、施肥方式和取样深度有关。

施基肥后田面水的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量迅速升高(图 5),一般在施 N 后 5 d 左右达到最高值,比 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量的高峰期晚 2 d,为无 N 区的 1.4 倍。施穗肥后,各处理 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量除 N4 处理外与无 N 区相近。田面水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量与施 N 量间没有明显的对应关系,氮肥用量对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的影响也没有对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量影响那么显著,但相关研究表明,地表径流中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 对水体的影响较小^[16],而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的影响较大^[17],因此对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的监控是必要的。基肥与穗肥相比,施用基肥后田面水的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量都高于穗肥。

施 N 后 7 d 内 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量有一个短暂而迅速升高的过程,尤其是施用基肥后更为明显,若此时出现田面漏水或暴雨径流,增加了通过径流等途径造成水体污染的风险^[18],因此施肥后 7 d 内是监控和防止田面水氮素流失的关键时期。

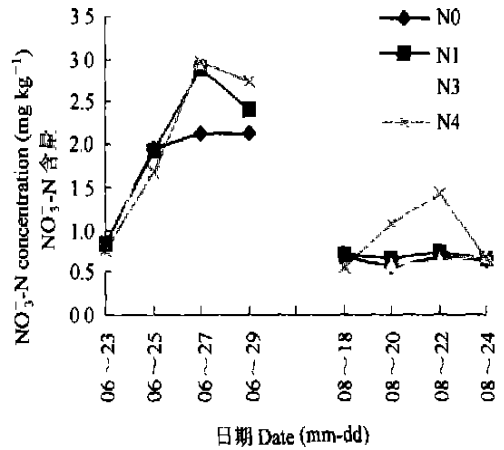


图 5 稻田表层水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化
Fig 5 Change in $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration in the floodwater in 2002

2.3.2 氮肥用量对稻田渗透液的影响 2001~2003 年稻田渗透液的动态监测表明,在同一水稻生长季,随施 N 量的增加,渗透液中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量有所升高,但不同施 N 处理间差别不大(图 6), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量和氮肥用量间没有相关性,经常出现同一氮肥用量的 4 次重复中,某一小区的渗透液 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量远远高于其他重复的现象,从试验结果来看,施 N 量对渗透液 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量变化的影响不是主要的。从渗透液 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量的季节变化趋势来看(以 2003 年为例),在淹水施肥后(6 月 22 日),渗透液 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 有一个迅速上升期,到 6 月 30 日,即施 N 后的第 8 天达到峰值, N0、N1、N2、N3、N4 处理的浓度分别为 1.52、2.07、1.84、1.62、2.75 mg L^{-1} ,随后迅速下降,到第 10 天时下降至 0.5 mg L^{-1} 以下,其后呈缓慢下降的趋势,到 8 月 8 日(施 N 后 47 d)下降至 0.05 mg L^{-1} 以下,并一直维持到水稻收获。虽然,不同年份间渗透液 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 动态变化有所不同,但均在淹水后出现一个峰值,通常淹水泡田后的 10 d 内是一个 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的迅速淋洗期^[19],其余期间浓度均很低。从淹水后 N0 处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度为 1.52 mg L^{-1} ,以及分蘖肥与穗肥对渗透液 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度几乎没有影响的结果来看,稻田渗透液 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 高峰期的氮,绝大部分是来自麦季土壤中累积的硝酸盐。

渗透液中的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量(图 7) 低于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量,动态变化是在施 N 后的 6 月 24 日、7 月 22 日、8 月 10 日有 3 次含量高峰期,不同年份的趋势略有

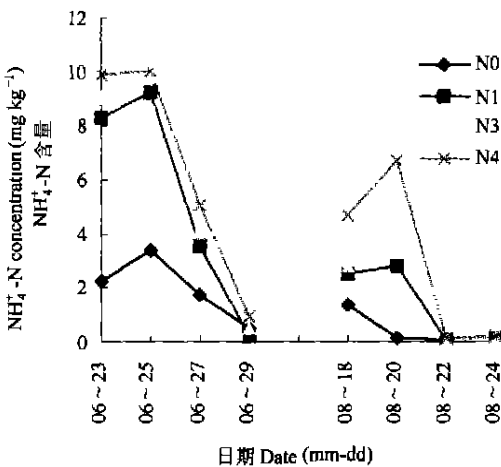


图 4 稻田表层水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的变化
Fig 4 Change in $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration in the floodwater in 2002

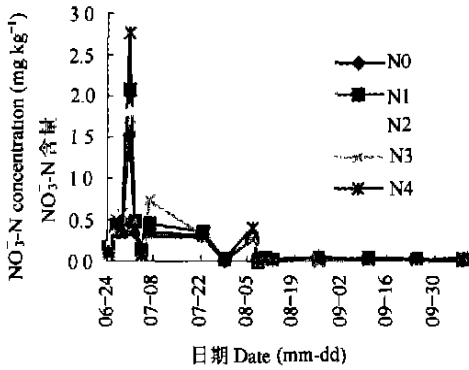
图6 稻田渗滤液 NO_3^- -N含量的变化

Fig. 6 Change in NO_3^- -N concentration in the leachate in 2003

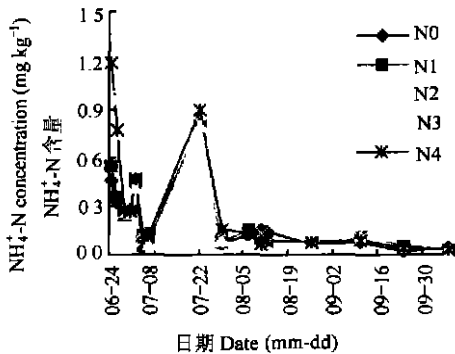
图7 稻田渗滤液 NH_4^+ -N含量的变化

Fig. 7 Change in NH_4^+ -N concentration in the leachate in 2003

不同,但3年中,在水稻的分蘖末期(7月20日左右),渗滤液 NH_4^+ -N含量都出现一个高峰,含量在 0.85 mg L^{-1} 左右,其余时间均维持在 0.2 mg L^{-1} 以下。

与以前的模拟试验^[19,20]相比较,田间条件下稻田渗滤液的 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N含量都要低得多,受氮肥用量的影响也很小,而且没有表现出施N后,渗滤液 NO_3^- -N含量先逐步升高后下降的趋势,这可能是因为:(1)模拟试验控制的条件比较好;(2)田间试验区地势较低,地下水埋深仅60~80 cm左右,采集的稻田渗滤液可能受到地下水的影响而被稀释。

3 结 语

综上所述,可以得出如下初步结论:

1) 经6年稻麦轮作施肥后,增加氮肥用量能够提高土壤中可矿化氮的含量,提高土壤的供氮能力。

这种由施N量不同所引起的土壤供氮能力的差异,可能维持在整个生长季,这样在制定下季作物施N量时就要予以充分的考虑。

2) 随氮肥用量的增加,水稻植株含氮量和吸氮量都随之增加,高氮处理的植株在生育前期吸收氮素的比例更高,但氮素从营养器官向谷粒的转移率降低,从6年的水稻产量来看,氮肥用量以225~270 kg hm^{-2} 为佳。

3) 稻田田面水 NH_4^+ -N和 NO_3^- -N含量因施N而出现短暂的升高,但不同施N量之间差异并不显著;稻田渗滤液中的氮以 NO_3^- -N为主,年际变化较大,通常淹水泡田后7 d内有一个 NO_3^- -N含量的峰值期,约10 d后降至 0.5 mg L^{-1} 以下; NH_4^+ -N含量的高峰期通常出现在分蘖末期,其余时间浓度较低,在 0.2 mg L^{-1} 以下。

参 考 文 献

- [1] 李伟波,吴留松,廖海秋,等. 太湖地区高产稻田的氮肥施用与作物吸收利用研究. 土壤学报, 1997, 34(1): 61~73. Li W B, Wu L S, Liao H Q, et al. Application and crop recovery of N-fertilizer in high-yielding paddy fields of Taihu region (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(1): 61~73
- [2] 崔玉亭,程序,韩纯儒,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. Cui Y T, Cheng X, Han C R, et al. Rice nitrogen utilization efficiency and nitrogen leaching amount in Taihu lake watershed of South Jiangsu Province (In Chinese). *Journal of China Agricultural University*, 1998, 3(5): 51~54
- [3] 张国梁,章申. 农田氮素淋失研究进展. 土壤, 1998, (6): 291~296. Zhang G L, Zhang S. Nitrogen leaching from the farmlands—A review (In Chinese). *Soils*, 1998, (6): 291~296
- [4] Gao X J, Hu X F, Wang S P, et al. Nitrogen losses from flooded rice field. *Pedosphere*, 2002, 12(2): 151~156
- [5] 蔡贵信,张绍林,朱兆良. 测定稻田土壤氮素矿化过程的淹水密闭培养法的条件试验. 土壤, 1979, 6: 234~240. Cai G X, Zhang S L, Zhu G L. Experimental conditions for determining the nitrogen mineralization process during anaerobic incubation of paddy soil (In Chinese). *Soils*, 1979, 6: 234~240
- [6] Hadas A, Feigin A, Feigenbaum S. Nitrogen mineralization in the field at various depths. *J. Soil Sci.*, 1989, 40: 131~137
- [7] Campbell C A, LaFond G P A, Leshon J. Effect of cropping practices on the initial potential rate of N mineralization in a thin chemozen. *Can. J. Soil Sci.*, 1991, 71: 43~53
- [8] Kolberg R L, Westfall D G, Peterson GA. Influence of cropping intensity and nitrogen fertilizer rates on in situ nitrogen mineralization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, 63: 129~134
- [9] Carpenter B L, Pikul J L J, Vigil M F. Soil nitrogen mineralization influenced by crop rotation and nitrogen fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2000, 64: 2 038~2 045

- [10] Wienhold B J, Halvorson A D. Nitrogen mineralization responses to cropping, tillage, and nitrogen rate in the Northern Great Plains. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1999, 63: 192~ 196
- [11] Franzluebbers A J, Hons F M, Zuberer D A. Seasonal changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. *Soil Biol. Biochem.*, 1994, 26: 1 469~ 1 475
- [12] 高亚军, 黄东迈, 朱培立, 等. 稻麦轮作条件下长期不同土壤管理对氮素肥力的影响. *土壤学报*, 2000, 37(4): 456~ 463. Gao Y J, Hong D M, Zhu P L, *et al.* The long term impact of different soil management on nitrogen fertility in rice-based cropping system (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2000, 37(4): 456~ 463
- [13] 李菊梅, 王朝辉, 李生秀. 有机质、全氮和可矿化氮在反映土壤供氮能力方面的意义. *土壤学报*, 2003, 40(2): 232~ 238. Li J M, Wang C H, Li S X. Significance of soil organic matter, total N and mineralizable nitrogen in reflecting soil N supplying capacity (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 232~ 238
- [14] 张志剑, 董亮, 朱荫涓. 水稻田面水氮素的动态特征、模式表征及排水流失研究. *环境科学学报*, 2001, 21(4): 475~ 480. Zhang Z J, Dong L, Zhu Y M. The dynamic characteristics and modeling of nitrogen in paddy field surface water and nitrogen loss from field drainage (In Chinese). *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(4): 475~ 480
- [15] 王强, 杨京平, 沈建国, 等. 稻田田面水中三氮浓度的动态变化特征研究. *水土保持学报*, 2003, 17(3): 51~ 54. Wang Q, Yang J P, Shen J G, *et al.* Study on dynamic change of three kinds of nitrogen in surface water of paddy field (In Chinese). *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(3): 51~ 54
- [16] Sharpley A N, Simth S J, Naney J W. Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use. *J. Agric. Food Chem.*, 1987, 35: 812~ 817
- [17] David M B, Gentry L E, Kovacic D A, *et al.* Nitrogen balance in and export from agricultural watershed. *J. Environ. Qual.*, 1997, 26: 1 038~ 1 048
- [18] 宋静, 骆永明, 乔显亮. 苏南典型丰产方施肥与地表水浓度变化. *土壤*, 2002, 34(4): 210~ 214. Song J, Luo Y M, Qiao X L. Effect of fertilization on nitrogen and phosphorus concentrations in surface water of representative high productive paddy fields in southern Jiangsu Province - A case study of wangshan village, Suzhou City (In Chinese). *Soils*, 2002, 34(4): 210~ 214
- [19] 王德建, 林静慧, 孙瑞娟, 等. 太湖地区稻麦高产的氮肥适宜用量及其对地下水的影响. *土壤学报*, 2003, 40(3): 426~ 432. Wang D J, Lin J H, Sun R J, *et al.* Optimum nitrogen rate for a high productive and its impact on the ground water in the Taihu lake area (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(3): 426~ 432
- [20] 连纲, 王德建, 林静慧, 等. 太湖地区稻田土壤养分淋洗特征. *应用生态学报*, 2003, 14(11): 1 879~ 1 883. Lian G, Wang D J, Lin J H, *et al.* Characteristics of nutrient leaching from paddy field in Taihu lake area (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1 879~ 1 883

EFFECTS OF FERTILIZER-N APPLICATION RATE ON SOIL N SUPPLY, RICE N UPTAKE AND GROUNDWATER IN TAIHU REGION

Yan Dezhi^{1,2} Wang Dejian¹ Lin Jinghui¹

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

(2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract Anaerobic incubation and field experiment of fertilizer-N application of different rates were conducted in the Taihu region to determine effects of fertilizer-N on soil N supply, rice N uptake and groundwater. The results show that soil N availability could be considerably enhanced after years of N-fertilization. N content in rice and N uptake by rice increased with the N application rate, but the rate of N transferred to grain decreased. The optimum fertilizer-N application rate ranged from N225 to 270 kg hm⁻² for rice in this region. The concentrations of both NH₄⁺-N and NO₃⁻-N in the surface water of paddy field rose temporarily as a result of fertilizer-N application, but they were not significantly correlated. NO₃⁻-N was the main form of nitrogen in the leachate from paddy field. Its concentration rose quickly arriving at a peak around 1.62~ 2.75 mg L⁻¹ within the first 7 days after the field was flooded for transplanting, and then dropped to below 0.5 mg L⁻¹ after 10 days or so. NH₄⁺-N concentration in the leachate seemed increasing with the N application rate and peaked at the end of the rice tillering stage, but usually remained lower than 0.2 mg L⁻¹ in the rest of the growing season.

Key words Nitrogen rate; Mineralization; N uptake; Leachate