植物营养与肥料学报 2001,7(4):368～373
Plant Nutrition and Fertilizer Science

不同肥料结构对红壤稻田氮素迁移的影响

吴建富[1],张美良[2],刘经荣[1],王海辉[1]
(1 江西农业大学国土资源与环境学院,江西南昌 330045;2. 江西农业大学农学院江西南昌 330045)

摘要:不同肥料结构对红壤稻田淹水层、不同深度渗漏水、外排水和土壤剖面中氮素的含量、形态及其动态变化的影响研究结果表明,各处理淹水层、外排水和渗漏水中 NH_4^+-N 含量明显高于 NO_3^--N。淹水层中 N 的含量,水稻生育前期以单施化肥的高,约相当于配施有机肥的 1.18～1.20 倍,而水稻生育后期,后者为前者的 1.11～1.21 倍。各处理外排水中 N 素的输出量均以苗期最高,单施化肥明显大于配施有机肥。土壤剖面中 NH_4^+-N 向下迁移比碱解 N 更为明显,且配施有机肥的远高于单施化肥的,而 NO_3^--N 则相反。不同深度渗漏水中 NO_3^--N 的比例,上层(30cm)低于下层(50cm),随水逸出的 N 量各处理渗漏水均小于外排水;随水输入的 N 量远低于随水输出的 N 量,且以单施化肥的 N 亏损最大。水稻未利用的 N 量也以单施化肥的最大,约为配施有机肥的 1.09 倍。

关键词:肥料结构;铵态氮;硝态氮;氮素迁移
中图分类号:S157.4;S153.6　**文献标识码**:A　**文章编号**:1008－505X(2001)04－0368－06

关于施肥对稻田土壤氮素迁移的影响,国内已有报道[1,2],但他们都是以无机 N 为 N 肥来源进行研究,而在 N、P、K 养分相等,有机肥料与化肥配施条件下对稻田氮素迁移的影响却很少见报道。为此,研究了施用不同肥料对红壤稻田淹水层、外排水、不同深度渗漏水和土壤剖面中 N 素的含量、形态及其动态变化的影响,为稻区合理施用 N 肥、减少 N 素损失和农业持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

试验于 2000 年在江西农大试验站进行。该区属亚热带季风气候,年均气温 17℃,年日照 1680h,年降雨量 1233.1mm,主要集中在 4～6 月,占全年降雨量 47.5%。供试土壤为红粘土发育的潴育性水稻土,pH5.9,有机质 26.8g/kg,全 N 1.34g/kg,有效 P 27.8mg/kg,速效 K 81.7mg/kg,碱解 N 95.8mg/kg。水稻为一季晚稻,品种"荆糯 6 号"。

试验采用模拟田间土层的微区(用水泥框,面积 $1m^2$,深 1m),设:(1)无 N 肥(CK);(2)单施化肥(F);(3)紫云英+化肥(M+F);(4)稻草+化肥(S+F)等 4 个处理,重复 3 次。除无 N 处理外,其它各处理 N、P、K 用量相等,即按 N 135、P_2O_5 67.5、K_2O 135kg/hm^2 折算施用。化肥用尿素、钙镁磷肥和氯化钾;紫云英鲜草 22.5t/hm^2,稻草(折干)用量 5.25t/hm^2,有机肥料的养分数量按实际分析结果计算,不足之数用化肥补够。有机肥提早 10d 施用,磷、钾肥均于栽秧前一次性施用,氮肥 1/2 做基肥,1/2 分两次做追肥施用,分蘖肥(6 月 28 日)占 1/3,穗肥(7 月 20 日)占 2/3。水稻于 5 月 18 日播种,6 月 19 日移栽,9 月 17 日收割。灌溉水采用自来水,其它农业措施同一般大田生产。

收稿日期:2001-01-17
基金项目:农业部植物营养学重点开放实验室资助项目。
作者简介:吴建富(1967—),男,江西新干人,讲师,教研室主任,主要从事植物营养和土壤肥料研究。

水稻生长期间共降雨 4 次，降雨量为 472.9mm。雨水分析样品定期在试区承接。外排水量在小区排水时实测，同时采集分析水样。在无降水期间，根据小区水层减少量定期计算耗水量，同时在池内埋设有底铁筒（无渗漏）按同样条件栽培水稻求得蒸腾、蒸发量，两者之差求得渗漏水量。渗漏水分析样品用双层塑料管直插并固定在土层 30cm 和 50cm 深处，按水稻生育期在 2 次施肥之间和抽穗结实期脱水前定期吸取，表层淹水亦同时取样。水稻收获后，即行采取 0～18，18～30 和 30～50cm 各层土样。土壤和水样 N 的分析均按土壤农化常规分析法进行[3]。

2　结果与分析

2.1　施肥对水稻各生育期淹水层 N 含量的影响

稻田淹水层氮素以无机态为主，其含 N 量主要受雨水，灌溉水和施肥的影响。在相同的雨水和灌溉条件下，施用不同的肥料都会对水稻各生育期淹水层 N 素的含量产生不同程度的影响（表 1）。水稻生育前期（苗期、分蘖期）淹水层中 N 的含量单施化肥的约相当于配施有机肥的 1.18～1.20 倍。相反，水稻生育后期淹水层中 N 的含量，配施紫云英的和配施稻草的分别为单施化肥 1.17～1.25 和 1.06～1.17 倍。这与化肥在土壤中转化快，有机肥料转化慢的特点相吻合。但各处理总体上存在一个共同趋向，即随着水稻生育的进程，淹水层 N 素含量逐渐递减，其存在形态主要是 NH_4^+-N 和 NO_3^--N，其中又以前者为主，约占 58.6%～70.4%，后者约占 29.6%～41.4%。

表 1　各处理淹水层 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的浓度（mg/L）

Table 1 The concentration of NH_4^+-N and NO_3^--N in soil flooding layer with different treatment

处理	SS(19/6～3/7)		TS(4/7～23/7)		PD(24/7～13/8)		HR(14/8～17/9)	
Treat.	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N
CK	1.197	0.845	0.583	0.349	0.526	0.342	0.446	0.244
F	2.498	1.083	1.289	0.542	0.737	0.413	0.618	0.310
M+F	1.792	1.108	1.124	0.487	0.883	0.466	0.784	0.373
S+F	1.879	1.088	1.128	0.490	0.789	0.432	0.719	0.363

SS：苗期 Seedling stage；TS：分蘖期 Tillering stage；PD：穗分化期 Panicle differentiation stage；HR：抽穗结实期 Heading－grain ripening stage，下同 Same as follows.

2.2　施肥对外排水中 N 素输出量的影响

水稻种植期间，由于雨水偏多，且较为集中，排水达 4 次，外排水达 1765t/hm^2。外排水中的含 N 量，除受降雨量、降雨强度影响外，还受淹水层含 N 量和施肥的影响。表 2 看出，各处理外排水中 N 素的输出形态仍以 NH_4^+-N 为主，NO_3^--N 次之。而且单施化肥的处理 N 素输出量（13.22 kg/hm^2）大于配施有机肥的处理（12.16～12.39 kg/hm^2），扣除无 N 区 N 素输出量（7.998 kg/hm^2），前者约占当季施 N 量 3.87%，后者约占 3.08%～3.25%。表明有机肥料释放缓慢，生物固持作用较强，在客观上起到了一定的保 N 作用。这与前人的研究结果相似[4]。

从水稻生育进程看，各个处理均以苗期输出 N 量最大，分蘖期次之，2 次合计，单施化肥处理约占外排水中 N 素输出量 72.2%，配施有机肥的约占 64.3%～66.6%。由此可见，水稻生育期间，尤其是生育前期应采取浅水勤灌，以水带肥，尽量减少田面留水，对减少养分流

失至关重要。

表2 外排水中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的输出量 (kg/hm²)

Table 2 The output of NH_4^+-N and NO_3^--N in drain off water

处理 Treat.	SS		TS		PD		HR	
	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N
CK	2.112	1.491	1.028	0.616	0.928	0.604	0.788	0.430
F	4.409	1.911	2.275	0.956	1.299	0.728	1.091	0.547
M+F	3.163	1.956	1.984	0.859	1.559	0.823	1.383	0.659
S+F	3.316	1.920	1.991	0.865	1.393	0.762	1.268	0.641

2.3 施肥对水稻各生育期不同深度渗漏水N含量的影响

据测定,在土壤淹水条件下,试区日均渗漏0.31cm,水稻生长期间维持水层75d,折合渗漏水2325t/hm²。本试验结果(表3)表明,水稻不同生育期,各施肥处理不同深度的渗漏水N含量均比无N处理大,但随着水稻生育进程,其差异趋向减少。无N处理渗漏水中N素含量下降幅度较为平缓,而施肥处理下降幅度较大,这与水稻随着生长发育吸收N素养分不断增加以及土壤供N特点是紧密相关的。各施肥处理的不同生育期渗漏水含N量与淹水层中含N量相类似,说明同样是受肥料分解特点及水稻根系吸收特征影响所致。

表3 不同处理渗漏水中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的浓度(mg/L)

Table 3 The concentration of NH_4^+-N and NO_3^--N in the leakage water with different treatment

处理 Treat.	土层 Layer (cm)	SS		TS		PD		HR	
		NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+-N	NO_3^--N
CK	30	2.270	0.354	1.069	0.302	0.967	0.246	0.876	0.237
	50	1.411	0.548	0.876	0.439	0.771	0.393	0.758	0.344
F	30	3.456	0.368	2.174	0.305	1.464	0.265	1.372	0.249
	50	2.806	0.679	1.675	0.578	1.043	0.424	1.026	0.413
M+F	30	3.347	0.458	2.075	0.333	1.643	0.299	1.485	0.286
	50	2.729	0.567	1.547	0.495	1.152	0.465	1.123	0.452
S+F	30	3.354	0.446	2.132	0.324	1.633	0.288	1.426	0.279
	50	2.784	0.554	1.658	0.499	1.125	0.462	1.089	0.446

表3还看出,渗漏水中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的比例总的趋势仍以 NH_4^+-N 为主,但因深度不同而有变化。30cm深的渗漏水中 NO_3^--N 的比例极大部分都在20%以下,低的为10%左右,而50cm深的大都在20%以上,高的达30%左右,这与渍水条件下不同土层的氧化—还原电位的变化完全一致[5]。

2.4 施用不同肥料对土壤剖面中N素分布的影响

施用不同肥料稻田土壤剖面中N素的分布(表4)表明,配施有机肥,尤其是配施紫云英的处理,各个土层的碱解N含量都高于单施化肥,且其增幅随土层加深而递减。NH_4^+-N 在各土层中的分布与碱解N的变化趋势相似,但配施有机肥的比单施化肥的增加幅度更大。

NO_3^--N 的变化与前二者相反，单施化肥各层土壤中残留的 NO_3^--N 大多比配施有机肥相应的土层为多，且心土层尤为明显，其原因主要是 NO_3^--N 的移动较快。

表 4　施肥对土壤剖面中 N 素分布的影响（mg/kg）

Table 4　Effect of fertilization on N distribution in profile of soil

处理	碱解 N Alk－hyd. N			NH_4^+-N			NO_3^--N		
Treat.	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
CK	85.89	71.16	59.37	10.80	8.84	7.86	0.49	0.49	0.25
F	115.40	87.37	71.16	11.54	10.31	9.08	2.45	1.47	1.23
M+F	130.10	94.23	76.18	20.62	16.45	13.99	2.21	1.47	0.99
S+F	125.70	92.65	74.94	17.68	12.28	10.31	0.98	0.73	0.49

注：Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ分别为耕作层（0～18cm）、犁底层（18～30cm）、心土层（30～50cm）。

Note: I, II, III means cultivated horizon(0～18cm), plowpan(18～30cm), subhorizon(30～50cm).

2.5　施肥对稻田中 N 素平衡的影响

经多次取样（n = 4）测定，降雨中平均含 N 0.36mg/L，则随雨水输入的 N 量为 1.702kg/hm²。水稻生长期间灌水和沤田用水为 5097t/hm²，根据 6 次水样测定，平均含 N 0.094mg/L，则随灌溉水输入的 N 量为 0.4791kg/hm²。本试验的渗漏水以犁底层（30cm）以下为计算起点，则各施肥处理渗漏水中所输出的 N 量以配施有机肥料的最高，单施化肥的次之，扣除无 N 区氮素渗漏量，前者约占当季施 N 量的 1.50%～1.52%，后者约占 1.39%（表 5），这与有关报道基本一致[6]。表 5 还看出，各处理随水逸出的 N 量是渗漏水远小于外排水，这与下渗水经根系吸收和土壤吸附相应降低水中 N 素有关。

根据输入的 N 量（肥料 N 和水中 N）、施肥处理水稻的吸 N 量和无 N 处理水稻吸 N 量，用差值法求得各施肥处理水稻未利用的 N 量（其中包括土壤残留 N 和损失的 N）。这部分 N 也以单施化肥处理最大，配施紫云英和稻草 2 个处理次之，扣除无 N 区随水移出的 N 量，前者占当季施入肥料 N 量的 69.16%，后二者分别占 63.36% 和 63.41%（表 5）。

表 5　不同处理稻田中 N 素的平衡状况（kg/hm²）

Table 5　The N balanced on rice field with different treatments

处理	投入 N Input(kg/hm²)				输出 N output(kg/hm²)			未利用 N unused	
Treat.	肥料 Fert.	降雨 Rain	灌溉 Irrig.	合计 Tot.	外排水 Drain	渗漏水 Leakage	水稻吸收 Uptake	kg/hm²	%[1)]
CK	0	1.702	0.479	2.18	7.998	3.513	90.81	–	–
F	135	1.702	0.479	137.18	13.220	5.392	123.12	104.87	69.16
M+F	135	1.702	0.479	137.18	12.390	5.564	130.94	97.05	63.36
S+F	135	1.702	0.479	137.18	12.160	5.538	130.88	97.11	63.41

1)为占肥料施入量的百分率。Means % of N fertilizer application.

3　结论

3.1　各处理淹水层、外排水和不同深度渗漏水中 N 素的存在形态主要为 NH_4^+-N 和 NO_3^--N，但 NH_4^+-N 的含量明显高于 NO_3^--N。

3.2 水稻生育前期,各处理淹水层中N的含量,单施化肥约相当于配施有机肥的1.18～1.20倍,而生育后期则相反,后者为前者的1.11～1.21倍。

3.3 水稻不同生育期中,各处理由外排水输出的N量均以苗期为高。整个生育期,单施化肥的外排水输出的N量都明显大于配施有机肥的,前者约占当季施N量的3.87%,后者约占3.08%～3.25%。

3.4 各处理不同深度渗漏水中含N量也是生育前期单施化肥的大于配施有机肥的,生育后期正好相反。上层(30cm)的渗漏水中NO_3^--N的比例均明显低于下层(50cm)。

3.5 土壤剖面各处理NH_4^+-N向下迁移比碱解N更为明显,且配施有机肥的远高于单施化肥的,而NO_3^--N的变化正好相反,后者高于前者。

3.6 各处理随水逸出的N量,渗漏水均远小于外排水,随水输入的N量均远小于输出的N量,且以单施化肥的N素亏损最大。水稻未利用的N量也以单施化肥最大,配施有机肥的次之,前者占当季施N量的69.16%,后者约占63.4%。

参考文献:

[1] 余贵芬,吴泓涛,魏永胜,等. 氮在紫色土中的移动和水田氮素利用率的研究[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(4):316-320.

[2] 王家玉. 稻田土壤中N素淋失的研究[J]. 土壤学报,1996,33(1):28-35.

[3] 劳家柽. 土壤农化分析手册[M]. 北京:农业出版社,1998.304-553.

[4] 刘经荣,张德远,周 卫,等. 不同肥料结构对稻田水流中养分平衡的影响[J]. 江西农业大学学报,1994, 16(4):328-331.

[5] 李庆逵. 中国水稻土[M]. 北京:科学出版社,1992.221-222.

[6] 张美良,吴建富,郭成志,等. 应用^{15}N对稻田生态系统中氮素淋失和去向的研究[J]. 江西农业大学学报,1998,20(2):153-157.

Effect of different structure of fertilizer on the migration of nitrogen in red rice soil

WU Jian-fu[1], ZHANG Mei-liang[2], LIU Jing-rong[1], WANG Hai-hui[1]

(*1 College of land Resou. and Envir. Jiangxi Agric. Univ., Nanchang 330045, China;*
2 College of Agronomy, Jiangxi Agric. Univ., Nanchang 330045, China)

Abstract: The dynamic variation of different structures of fertilizers on N contents, forms in the soil flooding layer, leakage water of different depth, drain off water and soil profile in red rice soil were studied. The results showed that the forms of N in the soil flooding layer, leakage water and drain off water with different treatments mainly were NH_4^+-N and NO_3^--N, but the content of NH_4^+-N was higher than that of NO_3^--N. The concentration of N in the soil flooding layer of organic and inorganic fertilizers combined application was 1.18～1.20 times higher than that only inorganic fertilizers treatment during the early growth of rice. On the contrary, the latter was 1.11～1.21 times than the former during the late growth of rice. The N leaching loss in drain off water with different treatments was the highest at seedling stage, and the inorganic fertilizer treatment was higher than that organic and inorganic fertilizers mixed application. The downward migration of the NH_4^+-N was more obvious than that of alkaline－hydrogen N, and the quantity of organic and inorganic fertilizers combined was higher than that only inorganic fertilizer, but NO_3^--N was contrary to NH_4^+-N. The proportion of NO_3^--N in the leakage water at 50cm depth was higher than that at 30cm depth. The N leaching loss in leakage water was lower than that in drain off water of different treatments. The N input carried by water was much lower than output, and nitrogen loss was highest in the inorganic fertilizers treatment. The N unused by rice in inorganic fertilizer treatment was highest, and was 1.09 times of organic and inorganic fertilizer combined.

Key words: fertilizer structure; NH_4^+-N; NO_3^--N; nitrogen migration