

水旱轮作系统中氮素迁移与平衡

石孝均¹, 王定勇¹, 刘洪斌¹, 余贵芬¹, 赵秉强², 张夫道²

(1 西南农业大学资源与环境学院, 重庆北碚 400716; 2 中国农科院土壤肥料研究所, 北京 100081)

摘要:利用养分渗漏池和长期定位试验在稻麦水旱轮作条件下研究了 N 在土壤-作物系统和水循环中的迁移及平衡。结果表明, 旱作期间 N 素主要以 NO_3^- -N 形态在土壤剖面中迁移和淋失, 淋出 1m 土体的 NO_3^- -N 占施 N 量的 4.5%, 其中肥料 N 占 50%。小麦苗期是土壤 N 素向下移动和淋洗最强的时期, 这一时期 1m 土体渗漏水 NO_3^- -N 浓度超过 20mg/L。种稻期间 N 素在土壤中主要以 NH_4^+ -N 存在, 向下迁移和淋失 N 量少。在水循环中雨水和灌溉水输入系统中的 N 量远大于由渗漏水 and 径流水输出的 N 量。长期水旱轮作能维持土壤 N 素平衡, 提高土壤 N 素肥力; 10 年平均小麦、水稻对 N 肥的利用率分别为 $34\% \pm 9\%$ 和 $40\% \pm 6\%$; N 肥在土壤中残留 $-5.9\% \sim 36.4\%$; 气态损失 $19.5\% \sim 73.4\%$; 流失 $1.1\% \sim 8.8\%$ 。NPK 以及 NPK 与有机肥配合施用能减少 N 的气态损失, 提高 N 肥利用率和土壤保存率。

关键词: N 素迁移; N 素淋失; N 素平衡; 水旱轮作

中图分类号: S344.17; S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2002)S0-0075-07

Transport of nitrogen in rice-wheat rotation cropping system and its balance

SHI Xiao-jun¹, WANG Ding-yong¹, LIU Hong-bin¹, YU Gui-fen¹, ZHAO Bin-qiang², ZHANG Fu-dao²

(1 College of Resou. and Envir., Southwest Agric. Univ., Chongqing 400716, China;

2 Inst. of Soil and Fertilizer, CAAS, Beijing 100081, China)

Abstract: Transport of nitrogen in rice-wheat cropping system and its balance were studied through both leaching pool experiment and long-term on-site experiment. It was shown that nitrogen was leached out from the soil mainly in the form of NO_3^- -N during wheat cropping season. The amount of nitrogen leached from a soil profile of 1m accounted for 4.5% of the total N applied, of which 50% was from the nitrogen fertilizer. The strongest downward transport and leaching of nitrogen occurred during the seeding period of wheat crop, concentration of NO_3^- -N in the leaching exceeded 20mg/L. In contrast, nitrogen mainly existed as the form of NH_4^+ -N during rice cropping season, less downward transport and leaching of nitrogen were observed. Inputs of nitrogen from rain and irrigation water to the soil-crop system were much larger than the outputs by leakage and runoff, suggesting that long term rotation of rice field-upland field could keep balance of soil nitrogen, thus was beneficial to the improvement of soil nitrogen fertility. The average efficiencies of nitrogen utilization were $34\% \pm 9\%$ and $40\% \pm 6\%$ for wheat and rice in ten years, respectively, and the rates of nitrogen left in the soil, and lost by vitalization and by leakage were in the range of $-5.9\% \sim 36.4\%$, $19.5\% \sim 73.4\%$, and $1.1\% \sim 8.8\%$ respectively. Combinations of N, P and K fertilizers or NPK with organic manure could reduce the losses of nitrogen by vitalization, thus increase the rates of nitrogen absorbed by crops and stored in the soils.

Key words: nitrogen transport; leaching; nitrogen balance; rice-wheat rotation

定稿日期: 2002-05-15

基金项目: 基础研究重大项目(973)前期研究专项(2001CCB00800); 科研院所社会公益研究专项资金(2000-173, 2001DIA10004)项目资助。

作者简介: 石孝均(1964—), 女, 重庆人, 副研究员, 主要从事植物营养和土壤肥力研究。

农田生态系统中养分迁移与平衡状况决定着土壤肥力的发展方向,它不仅影响着系统的生产力和持续性;而且影响着人类赖以生存的环境,关系着粮食和环境这两大课题^[1,2]。N是农田生态系统中养分循环最为活跃的元素之一,施用N肥对农业生产的发展无疑起到了重要作用,然而N肥利用率较低,损失高达40%~60%,损失的N素或进入大气,导致“温室效应”;或进入水体,引起水质污染。近年来随着我国N肥用量的迅速增加和环境质量下降,N素在农田生态系统中的转化与去向、N素迁移与环境质量等问题已日益成为土壤学、植物营养学及环境学等诸多学科共同关注的热点^[3~5]。在不同生态系统中N素循环平衡与去向差异很大,关于N素在旱地及水田中的迁移转化,国内外已有大量报道^[6~10],而对N素在水旱轮作系统中的迁移转化研究较少。水旱轮作是我国南方主要耕作制之一,其独特的水分管理和土壤干湿交替变化影响着N素在土壤中的存在形态和迁移转化。为此,我们利用养分渗漏池和长期定位试验,在稻麦水旱轮作条

件下研究了N素在土壤剖面和水循环中的迁移和淋失动态、土壤N素残留、稻麦N肥利用率及N素平衡,为水旱轮作合理施用和管理N肥、减少N素损失提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在重庆北碚“国家紫色土肥力与肥料效益监测基地”的长期定位试验小区和养分渗漏池中进行。试验点属于亚热带湿润季风气候,年均气温18.3℃,年日照1293.6h,30年平均降水量1105.5mm,主要集中在4~9月,占全年降水量的78%;小麦生长季节(11~4月)降水238.5mm,水稻生长季节(5~8月)降水637.3mm,轮作休闲(9~10月)降水229.7mm。定位试验从1991年秋季开始,到2001年共进行了10年20季稻麦轮作试验,试验小区面积为120m²。渗漏池试验于1997~1998年进行,每池面积1.5m²,池深1.2m,池底装20cm卵石和细沙,其后按原状土层回填100cm土壤,距土面每隔20cm深处安装有陶土头,并接输水管以分层取渗漏水。供试土壤为中性紫色土其基本理化性质见表1。

表1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 The basic physical and chemical properties of soils sampled

地点 Locality	pH	质地 Texture	容重 BD (g/cm ³)	CEC (cmol/kg)	有机质 OM (g/kg)	全量养分(g/kg) Tot. nutr.			速效养分(mg/kg) Avail. Nutr.		
						N	P	K	N	P	K
LP	7.2	HL	1.30	23.72	13.2	1.16	0.44	23.44	111	17	97
FE	7.7	HL	1.45	19.18	12.2	0.99	0.43	22.24	78	15	126

注(Note):LP-渗漏池试验 Leaching exp., FE-长期定位试验 Field long-term exp., HL-重壤土 Heavy loam.

1.2 试验设计

1.2.1 渗漏池试验 在磷钾肥底基础上,设3种N用量(0、150、255 kg/hm²)、2个N肥品种(尿素和氯化铵)共5个处理,即N₀、Nu150(尿素N 150kg/hm²)、Nu 225、N_{Cl}150(氯化铵N 150kg/hm²)、N_{Cl}225,重复2次。磷钾用量为P₂O₅ 90kg/hm²、K₂O 60kg/hm²,用过磷酸钙和硫酸钾作底肥一次施用,N肥70%作基肥,30%作分蘖期追肥。

1.2.2 田间定位试验 见“紫色土肥力与肥料效益定位试验研究”一文。

稻麦品种分别为汕优63和西农麦1号,小麦11月上旬播种,5月上旬收获,水稻5月中旬插秧,8月下旬收获。

1.3 分析项目与方法

稻麦生育期间,每隔10d按20、40、60、100cm土层于渗漏池中取渗漏水,用钠氏试剂比色法测定NH₄⁺-N;用α-萘胺比色法测定NO₃⁻-N,记录渗漏水量。稻麦收获后,按20、40、60、100cm分层取鲜土,按1:2土水比用0.5% Ca(OAc)₂溶液浸提,靛酚蓝法测定NH₄⁺-N,α-萘胺比色法测定NO₃⁻-

N。试验期间记录降水量、灌溉水量和外排水量,并用离子色谱测定其含N量。稻麦收获后用H₂SO₄-H₂O₂联合消化,蒸馏滴定法测定作物吸N量。土壤全N用半微量凯氏法。

2 结果与分析

2.1 水循环与N素迁移

水分既是作物生长的要素,也是营养元素的携带者,与养分循环密切相关。水旱轮作干湿交替的水分管理,对营养元素尤其是N素的输入和输出产生影响。在水旱轮作系统中,与N素迁移有关的水循环包括降水、灌溉水、渗漏水、径流水和外排水。

2.1.1 降水和灌溉水与N素输入 于1999~2000年在试验基地进行了降水养分含量监测,监测期间降水量和降水分布与过去30年的平均值接近,其监测结果(表2)具有较好的代表性。降水中NH₄⁺平均含量113.6μeq/L(n=30),高于NO₃⁻平均含量

35.9 $\mu\text{eq/L}$ 。雨水含 N 量季节性变化大, NO_3^- 冬季含量高,夏季含量低; NH_4^+ 含量变化无规律,但是其含量高低与大田施肥有一定关联,5月中下旬是水稻施肥时期,11月上旬为小麦播种施肥期,施肥后的6月和11~12月降水 NH_4^+ 含量最高。全年降水输入的N为22.71 kg/hm^2 ,其中小麦生长季节为5.86 kg/hm^2 ,水稻生长季节12.09 kg/hm^2 ,休闲季节4.76 kg/hm^2 。

表2 降水含N量及输入N量

Table 2 Input N of rainfall

月份 Month	降水量 Rainfall (mm)	NH_4^+ ($\mu\text{eq/L}$)	NO_3^- ($\mu\text{eq/L}$)	输入N量 Input N (kg/hm^2)
1~2	36.4	65.12	50.50	0.59
3	37.0	70.23	47.20	0.61
4	92.5	91.20	46.77	1.79
5	156.7	89.31	24.67	2.50
6	161.5	180.71	32.74	4.83
7	174.5	67.63	20.07	2.14
8	144.6	100.89	28.38	2.62
9	136.2	123.06	18.86	2.71
10	93.5	130.46	25.88	2.05
11~12	72.6	217.85	64.18	2.87

在本试验条件下,旱作季节不灌溉,水稻生长期灌水900mm,灌溉水中含N量为3.61 mg/L ($n=8$),灌溉水输入N量32.5 kg/hm^2 。每年降水和灌溉水带入N量为55.21 kg/hm^2 。

2.1.2 渗漏水 and 外排水中N的迁移流失 在小麦生长期间,除施肥播种后第10d发现渗漏水中有 NH_4^+ -N外,从第20d起其余时间均未检测出。而在水稻生长期间,除施肥播种后第10d发现渗漏水中有 NO_3^- -N外,其余时间均未检测出。因此,随渗漏水淋洗的N在旱作期间主要是 NO_3^- -N,在水作期间主要是 NH_4^+ -N。

2.1.2.1 水旱轮作期间N素渗漏淋失动态 由小麦生长期间不同土层渗漏水中 NO_3^- -N含量变化可见(图1a、b、c),表层(0~20cm)土壤渗漏水中 NO_3^- -N以施肥播种后10d最高,之后逐渐降低,到100d后趋于稳定。而20~40、40~60和60~100cm土层渗漏水中 NO_3^- -N含量,施肥后陡然升高,至40d时达最高峰,施N处理100cm土层渗漏水中 NO_3^- -N含量高达21~25 mg/L ,超过国家饮用水最高允许浓度20 mg/L ,对地下水水质构成威胁。由此

看出,小麦苗期是土壤中 NO_3^- -N向下移动最强的时期,减少小麦基肥和苗期N肥用量是降低 NO_3^- -N对地下水污染的重要途径。随着生育期的延长, NO_3^- -N逐渐向土体的深层移动,并通过下层渗漏水很快移出土体,表现为各土层渗漏水 NO_3^- -N含量均降低,到生育后期,不同土层渗漏水 NO_3^- -N含量趋于一致。值得注意的是,不仅是施肥带入到土壤中的N(转化成 NO_3^- -N后)会向下移动,原有土壤残留的 NO_3^- -N也表现出类似的向下移动特征,这从不施N肥处理各土层渗漏水 NO_3^- -N含量的动态变化(图1c)即可看出。

从图1d看出,在整个水稻生育期,0~20cm土层渗漏水中 NH_4^+ -N以插秧后10和30d含量较高,这2个峰值与基肥和追肥(插秧后20d追施)的施用有关。其它各土层渗漏水 NH_4^+ -N含量在追肥后(第30d)也出现峰值。表明稻田土壤渗漏水中 NH_4^+ -N含量高低主要受N肥的影响,施入到土壤中的N肥有下渗的趋势。但是, NH_4^+ -N主要保留于耕层土壤,向下移动的 NH_4^+ -N非常有限,这从 NH_4^+ -N在土壤剖面中的分布和渗漏水 NH_4^+ -N浓度可以看出,在水稻生育期,以表层土壤 NH_4^+ -N含量最高,各土层渗漏水淋洗液中 NH_4^+ -N浓度都低于0.5 mg/L 。

2.1.2.2 水旱轮作期间N素淋失负荷 根据渗漏水含N量和流出1m土层渗漏水体积可算出淋失N量(表3)。旱作期间随水淋失的 NO_3^- -N量变动在3.89~7.92 kg/hm^2 ,淋失量随施N量的增加而增加,因此,控制N肥用量是减少 NO_3^- -N淋失的有效途径之一。但是,即使不施N肥,N素的淋洗损失量也高达3.89 kg/hm^2 ,各施N处理N素淋失量平均为7.27 kg/hm^2 ,土壤和肥料对淋失到环境中的 NO_3^- -N贡献率各占50%。由此看出,在肥沃的土

表3 水旱轮作渗漏水淋失N量(kg/hm^2)

Table 3 The amount of N leaching loss in wheat-rice rotation systems

轮作 Rotation	N0	Nu150	Nu225	Nq150	Nq225
旱季 NO_3^- -N	3.89	6.82	7.92	6.67	7.66
水作 NH_4^+ -N	0.38	0.79	0.80	0.79	1.16
总量 Total	4.27	7.61	8.72	7.46	8.82

壤上,即使不施 N 肥也存在 NO_3^- -N 淋失对水体污染的潜在风险。水作期间 N 渗漏淋失量很低,为

0.38~1.16 kg/hm²,这与本试验控制了地面径流和侧渗以及 N 素很少以 NO_3^- -N 淋失有关。

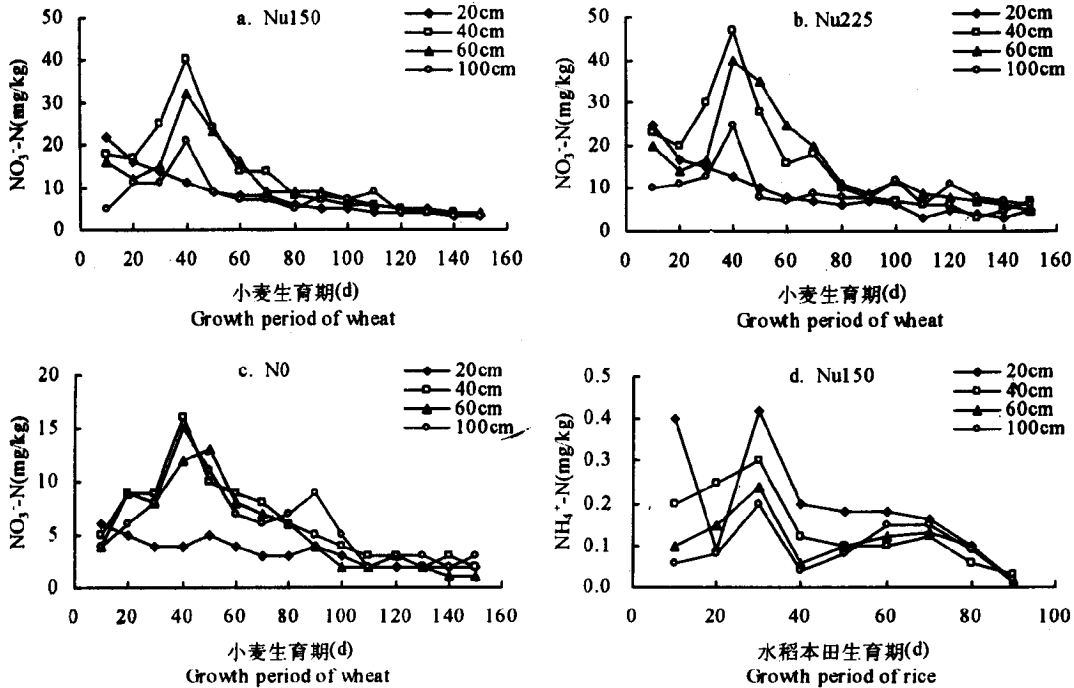


图 1 稻麦生长季节不同土层渗漏水中 NO_3^- -N 或 NH_4^+ -N 含量及迁移动态

Fig. 1 NO_3^- -N or NH_4^+ -N contents of leaching water and movement in the soil profiles in wheat-rice growing season

2.1.2.3 外排水中 N 的输出 在本试验条件下严格控制了径流和侧渗,在整个稻麦轮作周期中,仅在水稻收获后排水一次,排水量 70mm,当施 N 量为 0、150、225 kg/hm² 时,随水排出的 N 分别为 0.42、0.65、0.78 kg/hm²,施肥处理输出 N 量高于不施 N 处理。

2.2 N 素在土壤剖面中的迁移及分布

为了进一步探讨旱作期间 NO_3^- -N 在土壤剖面的积累和淋洗,在小麦收获后测定了各处理土壤剖面 NO_3^- -N 含量(表 4)。无论施肥与否,小麦收获后土壤剖面 NO_3^- -N 含量除表层较高外,其余土层呈均匀分布。表明向下移动的 NO_3^- -N 未在土壤剖面中累积,这一试验结果与干旱地区 NO_3^- -N 移动与累积有较大差异^[6]。但是,各施 N 处理剖面中 NO_3^- -N 含量高于不施 N 处理,而 NH_4^+ -N 含量施 N 与不施 N 处理一致,说明旱地施 N 后,有一定量的 N 素以 NO_3^- -N 残留于土壤剖面中。根据施 N 处理 NO_3^- -N 含量减去不施 N 处理得到残留 N 量,当施 N 量为 150 和 225 kg/hm² 时,残留于 0~40cm 土层的 NO_3^- -N 分别为 7.02 和 24.7 kg/hm²,残留于

40cm 以下土层 NO_3^- -N 分别为 6.76 和 21.06 kg/hm²。残留于土壤中的 N,只有被根系接触的那一部分才有可能被下季作物吸收利用,被淋洗到根区以下的那一部分 N,可视为淋洗损失。大量的研究表明,稻麦根系主要分布于 0~40cm 土层,因此淋出根区的 N(包括淋洗到 40~60cm 的 N 和淋出 1m 土层的 N)高达 14~30 kg/hm²。

表 4 还看出,水稻收获后, NO_3^- -N 在土壤剖面中的分布以表层土壤含量最高,其余各土层含量差异不大,呈均匀分布趋势。表明旱作期间向下移动的 NO_3^- -N 在水旱轮作以及南方湿润条件下能较快移出土体,不会在土壤剖面中累积。 NH_4^+ -N 在表层土壤较高,随土壤深度有逐渐降低的趋势。这与 NH_4^+ -N 能被土壤吸持,不易随水流失有关。

2.3 稻麦对 N 素的吸收和利用

由表 5 可见,稻麦吸 N 量在不同施肥处理之间有较大差异。NPK 配施稻麦吸 N 量高于不均衡施肥处理,化肥与有机肥配施能进一步提高稻麦对 N 的吸收;以倍量化肥处理吸 N 量最高,但是 N 向子粒的转移率却最低,多吸收的 N 主要保留于茎叶

中。作物吸收利用 N 素以及 N 肥施用是否合理,可通过 N 素利用效率来表示。

表 4 小麦和水稻收获后矿质 N 在土壤剖面中的分布(mg/kg)

Table 4 Distribution of NO₃⁻-N and NH₄⁺-N in soil profile after wheat and rice harvest

层次 Depth(cm)	NO ₃ ⁻ -N					NH ₄ ⁺ -N				
	N0	Nu150	Nu225	Nc150	Nc225	N0	Nu150	Nu225	Nc150	Nc225
小麦收获后 After wheat harvest										
0~20	5.0	6.2	10.5	6.3	8.0	24.8	24.7	23.4	25.4	25.4
20~40	2.2	3.7	6.2	2.3	9.6	17.6	17.7	17.3	19.3	16.8
40~60	3.5	4.5	6.8	6.8	6.3	16.8	16.2	16.6	16.2	16.0
60~100	3.1	3.9	5.5	3.2	6.4	15.0	15.0	18.9	15.1	16.0
水稻收获后 After rice harvest										
0~20	6.6	8.9	8.0	6.6	10.7	26.6	27.0	29.7	26.6	31.9
20~40	3.1	5.9	5.4	3.5	5.8	20.3	22.0	23.9	22.6	28.8
40~60	4.4	3.7	4.5	4.2	5.7	18.6	20.0	20.6	20.2	22.1
60~100	2.8	3.4	3.0	4.6	3.8	13.9	16.0	17.2	12.2	12.7

表 5 1992~2001 年稻麦吸 N 量(kg/hm²)

Table 5 N uptake by wheat and rice for ten years

处理 Treat.	10 年小麦吸 N 量 N uptake by wheat for 10 year				10 年水稻吸 N 量 N uptake by rice for 10 year				总量 Total
	子粒 Grain	茎叶 Straw	总量 Total	转移% Grain/Straw	子粒 Grain	茎叶 Straw	总量 Total	转移% Grain/Straw	
	CK	253.1	79.8	332.9	76.0	560.3	158.3	718.6	
N	511.7	197.2	708.9	72.2	952.7	304.7	1257.4	75.8	1966.3
NP	588.7	218.5	807.2	72.9	1036.7	385.6	1422.3	72.9	2229.5
NK	497.2	208.2	705.4	70.5	1043.4	422.9	1466.3	71.2	2171.8
PK	309.7	99.5	409.2	75.7	685.7	232.6	918.3	74.7	1327.5
NPK	654.4	246.4	900.8	72.6	1129.9	391.3	1521.2	74.3	2422.0
NPK + M ₁	702.0	270.8	972.8	72.2	1182.8	437.8	1620.6	73.0	2593.4
1.5NPK + M ₁	682.4	388.5	1070.9	63.7	1230.4	531.3	1761.7	69.8	2832.6
NPK + M ₂	686.9	186.5	873.4	78.6	1229.2	471.5	1700.7	72.3	2574.0
M ₁	281.4	100.8	382.1	73.6	623.7	189.6	813.3	76.7	1195.4

养分利用效率的表达方法很多,在植物营养研究中最常用的有 3 种:N 肥利用率又叫 N 素回收率(recovery efficiency, RE%),植物吸收来自所施肥料的 N 占所施肥料 N 总量的百分数;N 的农业效率(agronomic efficiency, AE),每 kg N 肥生产的子粒 kg;N 的生理效率(physiological efficiency, PE),作物吸收 1kgN 所生产的子粒 kg。根据 N 处理与 CK 处理、NPK 处理与 PK 处理稻麦产量、吸 N 量和施 N 量,计算出 N 肥利用效率、N 的农业效率和生理效率(表 6)。小麦对 N 素的利用效率低于水稻,其主要原因在于小麦生长期间日照不足,产量低而影

响了 N 的利用。当 NPK 配合施用,小麦对 N 肥的利用率 10 年平均为 34.5%,水稻对 N 肥的利用率 10 年平均为 40.2%;N 肥单施稻麦对 N 肥的利用率比 NPK 配施低 4~8 个百分点。单施 N 肥处理 N 素的农业效率和生理效率也都低于 NPK 肥配合施用处理,表明单施 N 肥仅利于营养生长,不利于生殖生长即经济产量的形成,降低了 N 的利用效率。NPK 配合施用能提高 N 的利用效率,N 肥与磷钾肥配合施用,每 kg N 增产小麦 9.6kg、增产稻谷 18.8kg;稻麦每吸收 1kg N 能生产小麦 30.7kg、生产稻谷 43.2kg。

表6 N素利用效率(%)

Table 6 N use efficiency

处理 Treat.	小麦 Wheat			水稻 Rice		
	RE	AE	PE	RE	AE	PE
N	26.4	3.2	26.2	35.9	10.0	41.9
NPK	34.5	9.6	30.7	40.2	18.8	43.2

2.4 水旱轮作系统非共生固N量估算

农田生态系统中非共生固N主要包括异养固N、根际联合固N以及光合固N,其中稻田藻类尤其是蓝藻的光合固N是稻田生态系统N素输入的重要途径^[8]。由于生物固N需要特殊的试验或装置来测定,得到真实状态下的生物固N量比较困难。Wetselaar, Watanabe, Ladha等^[10]认为,根据长期试验中无N区N素平衡状况能较好估计农田非共生固N量。据此,国外对农田生态系统中非共生固N作了大量研究,结果表明不同农田生态系统非共生固N量差异较大,一般是稻田的非共生固N量远大

于旱地。

根据10年无N区N素输入和输出,计算出水旱轮作系统无N区N素平衡(表7),收支相抵后,10年系统N素净增加568.0~749.4kg/hm²。在平衡表中,输入项(降水、灌溉、种苗和稻麦非共生固N)和输出项(稻麦吸收、流失、土壤N素变化,由于未施N肥,假定N素气态损失忽略不计)除未包含非共生固N外,其余各项均包含在内,这种净增加N量即非共生固N量。因此,在本试验条件下,稻麦水旱轮作每年非共生固N量为56.8~74.9kg/hm²,施用PK肥后每年非共生固N量提高16.4kg/hm²。这一试验结果与太湖地区非共生固N量的估计值3.8~4.1kg/(mu.a)接近^[4]。如果扣除旱作小麦非共生固N普遍认可的均值15kg/hm²^[4],那么本试验下稻田非共生固N量与国际水稻所Ladha^[10]的研究结果44~48kg/hm²以及Wetselaar^[4]在日本、泰国和菲律宾的研究结果的平均值49.5kg/hm²相近。

表7 10年水旱轮作无N区N素平衡状况(kg/hm²)

Table 7 N balance in wheat-rice system without N treatment after 10 years

处理 Treat.	作物吸收 (A)	流失 (B)	来自土壤 (C)	来自降水和灌水 (D)	来自种子和秧苗 (E)	N素平衡 ¹⁾ N balance	
	Uptake by crops	Loss	From soil	From rain and irrigation	From seeds and seedlings	总量 Total	每年 Every year
CK	1051.5	46.9	183.6	565.2	148.8	568.0	56.8
PK	1327.4	46.9	89.1	565.2	148.8	749.4	74.9

1) N素平衡 N balance = (A+B+C) - (D+E).

2.5 水旱轮作系统中N素平衡

水旱轮作系统的养分平衡既影响系统生产力,又影响土壤养分库贮量。养分平衡状况以养分库的盈亏量表示,盈亏量为总输入量与总输出量之差。养分的输入包括施肥带进的N量、灌溉、降水、种子及秧苗、生物固N等。N的输出除作物收获移出外,尚有随水迁移的N素和N的挥发损失。由表8可见,无论施肥与否,所有处理N素均有赢余,表明水旱轮作能维持和提高土壤N素肥力。即使10年不施N肥,0~20cm土层N素仍然有赢余,依靠灌溉、降水、非共生固N等能维持每年生产稻麦4~5t/hm²,保持土壤N素平衡。赢余的N包括土壤保存的N和气态损失的N(流失的N已包括在输出项)。根据10年定位试验前、后耕层土壤全N含量

可计算出土壤保存N量,由此估算出N的气态损失量(表9)。N、P、K不均衡施用的N、NP、NK处理,气态损失的N量大大高于NPK配施以及NPK与有机肥配施的处理,前者气态损失N占施N量的51%~73%,后者气态损失N量占施N量的29%~34%。说明NPK化肥、有机肥均衡施用是减少N气态损失的重要途径。

3 讨论

3.1 水循环在水旱轮作系统N素平衡中的作用

从前面的试验结果可以看出,由雨水和灌溉水进入系统中的N量远大于由渗漏水 and 径流水带出的N量。本试验条件下,雨水中含N量约高于太湖地区^[8],可能与空气质量有一定联系;灌溉水来自

表 8 10年水旱轮作0~20cm土层N素平衡状况(kg/hm²)

Table 8 N balance sheet for wheat-rice rotation 0~20cm depth soil after 10 year experiments

处理 Treat.	输入 Input			输出 Output			盈亏 Input- Output	土壤全 N 变化 Chang in soil N	10年气态损失 Gaseous loss
	施肥 Fert.	其它 Other	合计 Total	吸收 Uptake	流失 Loss	合计 Total			
CK	0	1282.0	1282.0	1051.5	46.9	1098.4	+183.6	+183.6	0
N	2925.0	1282.0	4207.0	1966.3	82.6	2048.9	+2158.1	+10.8	2147.3
NP	2925.0	1282.0	4207.0	2229.5	82.6	2312.1	+1894.9	+391.5	1503.4
NK	2925.0	1282.0	4207.0	2171.8	82.6	2254.4	+1952.6	+334.8	1617.8
PK	0	1463.4	1463.4	1327.5	46.9	1374.4	+89.0	+89.0	0
NPK	2925.0	1282.0	4207.0	2422.0	82.6	2504.6	+1702.4	+839.7	862.7
NPK + M ₁	3339.4	1282.0	4621.6	2593.4	82.6	2676.0	+1945.6	+953.1	992.5
1.5NPK + M ₁	4786.4	1282.0	6068.4	2832.6	95.0	2927.6	+3140.8	+207.9	2932.9
NPK + M ₂	3279.8	1282.0	4561.8	2574.0	82.6	2656.6	+1905.2	+791.1	1114.1
M ₁	407.6	1282.0	1689.6	1195.4	82.6	1278.0	+411.6	+332.1	79.5

表 9 N肥去向(% , 施N量为150kg/hm²)Table 9 Fate of fertilizer N (% , Applied N 150kg/hm² ,)

处理 Treat.	作物回收 Recov.	土壤残留 Resid.	挥发 Volat.	流失 loss
N	31.3	-5.9	73.4	1.1
NP	40.3	7.1	51.4	1.2
NK	38.3	5.2	55.3	1.2
NPK	37.4	25.7	29.5	7.4
NPK + M ₁	37.9	25.9	29.7	8.3
M ₁	35.3	36.4	19.5	8.8

于池塘和农田,含N量较高。随渗漏水淋出1m土层的N量不多,仅占施N量的3%~6%,与国内外研究结果接近^[11],然而随渗漏水淋洗到40cm土层以下残留于土壤中的肥料N占施N量的5%~10%(由表3、4计算出),这一部分N不能被稻麦根系接触,在水旱轮作条件下会继续向下淋洗,在南方降雨量大、地下水位高的现实下,易于进入水体,如果将这两部分淋失N量考虑在内,进入水体的N负荷高达14~30 kg/hm²,对水体的污染不容忽视。

3.2 N肥去向

施入到土壤中的N肥去向有三:作物回收、土壤残留、损失(包括流失和气态损失)。根据10年定位试验(表8)施N区与不施N区作物吸N量、土壤N素变化、损失N量之差可估计N肥的去向(表9),作物对N肥的回收利用占31%~38%,平均37%;N肥在土壤中的残留及损失在不同处理之间差异较大,N、NP、NK处理N肥在土壤中的残留低,仅为-5.9%~5.2%,气态损失高达51.4%~

73.4%;而NPK以及NPK与有机肥配合施用N气态损失大大降低,平均为30%,土壤残留提高到26%,施用有机肥土壤保存N量最高为36%。由此看出,氮磷钾化肥配施及其与有机肥配合施用是减少N肥气态损失的重要途径。

参考文献:

- [1] 鲁如坤,刘鸿翔,闻大中,等.我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究[J].土壤通报,1996,27(4,5):145-154,197-199.
- [2] Diest A V. Agricultural sustainability and soil nutrient cycling with emphasis on tropical soils[C]. Translation 15th Intern. Cong. Soil Sci., Mexico. 4 Vol. 5a, 1994. 48-61.
- [3] 蔡贵信. 农业生态系统的N素循环[A]. 赵其国. 土壤圈物质循环与农业和环境[C]. 南京:江苏科学技术出版社,1994. 8-12.
- [4] 朱兆良,文启孝. 中国土壤N素[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1992. 288-298.
- [5] 张国梁,章申. 农田N素淋失研究进展[J]. 土壤,1998,6:291-297.
- [6] 李世清,李生秀. 旱地农田生态系统N肥利用率的评价[J]. 中国农业科学,2000,33(1):76-81.
- [7] 庄恒扬,曹卫星,沈新平,等. 麦-稻两熟集约生产土壤养分平衡与调控研究[J]. 生态学报,2000,20(5):766-770.
- [8] 徐琪,杨林章,董元,等. 中国稻田生态系统[M]. 北京:中国农业出版社,1998. 83-94.
- [9] 李志佩,唐永良,石华,等. 不同施肥制度下红壤稻田的养分循环与平衡规律[J]. 中国农业科学,1998,31(1):46-54.
- [10] Ladha J K, Dawe D, Ventura T S. Long-term effects of urea and green manure on rice yield and nitrogen balance[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 2000,64:1993-2001.
- [11] 袁锋明,陈子明. 土壤中的N素淋洗(综述)[A]. 陈子明. N素产量 环境[C]. 北京:中国农业科技出版社,1996. 191-216.