

# 不同水肥条件下水稻氮素运移与转化规律研究

崔远来<sup>1</sup>, 李远华<sup>2</sup>, 吕国安<sup>3</sup>, 沙宗尧<sup>1</sup>

(1. 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

2. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100053; 3. 华中农业大学, 湖北 武汉 430007)

**摘要:** 针对不同的水肥处理, 采用<sup>15</sup>N 示踪方法, 观测分析了氮素在稻田的时空分布及运移规律、挥发及淋失损失规律、氮素在水稻植株中的分布特征、稻田氮量平衡等。结果表明: 不同灌溉方式下, 由于稻田水分状况的差异导致土壤养分时空分布不同, 从而影响其对作物的有效性; 由于节水灌溉稻田水分相对较少, 基质浓度较高, 挥发损失高于淹灌。虽然节水灌溉下稻田渗漏液 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 及 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度较淹灌高, 但由于此时总渗流量显著减少, 氮的总淋失较淹灌条件少; 节水灌溉下, 适当增加追肥次数, 有利于减少各种氮素养分的损失, 提高氮肥利用率; 节水灌溉下水稻对氮素的吸收利用率高于淹灌, 且有利于氮素养分向稻谷转移。

**关键词:** 水稻; 氮; 运移与转化; 节水灌溉

**中图分类号:** S271; S143.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-6791(2004)03-0280-06

20 世纪 80 年代以来, 国内外相继开展了稻田水或肥高效利用的研究, 但这些研究一般是在一定施肥措施下研究水的高效利用<sup>[1,2]</sup>, 或者以充分灌溉为前提, 研究肥的高效利用<sup>[3,4]</sup>, 而对稻田水肥的综合高效利用研究不足。近年来, 一些学者进行了不同水分状况下稻田氮肥利用及渗漏损失的研究<sup>[5~8]</sup>, 但往往只涉及氮素平衡的某一方面, 没有考虑施肥方式的影响。由于土壤肥料养分的变化及有效性与土壤水分关系十分密切, 在节水灌溉条件下, 随着稻田水分状况的改变, 稻田土壤肥力、水稻吸收肥料养分的能力以及水稻生长发育及产量必然发生变化。目前各种肥料的施用方法、施用量和施用时期都是根据淹灌条件下提出的, 节水灌溉条件下, 随着稻田水分状况发生变化, 合理的肥料养分管理措施也必然不同于淹灌。为了探讨不同水肥条件下水稻氮素养分运移与转化规律, 笔者于 2001 至 2002 年在湖北漳河灌区团林灌溉试验站针对中稻开展了专项试验研究。

## 1 试验方法及处理

试验在大型钢制圆形蒸渗器及测坑中进行, 蒸渗器直径 0.618 m, 高 0.8 m, 下设 15 cm 厚滤层, 底部设侧向排水, 平时关闭, 定时排水, 器内填 55 cm 厚原状土, 采用地埋双套筒方式安在近田边, 上设活动防雨棚。测坑面积 2 m × 2 m, 深度及原状土深同测筒。

安排节水灌溉(间歇灌溉 W1)和长期淹灌(W2)2 种水分处理; 3 种施氮肥水平: N0(不施肥), N1(折合尿素 267 kg/hm<sup>2</sup>), N2(折合尿素 534 kg/hm<sup>2</sup>); 4 种施肥方式: F1、F2、F3、F4, 含义见表 1。共计 12 个处理。测筒每处理 3 次重复, 测坑处理不重复。其他农业措施处理保持一致。为区分源于土壤中及源于化肥中的氮对土壤及水稻中氮的吸收利用等的贡献, 分别在 N1 水平下的 4 个处理中运用<sup>15</sup>N 进行了示踪, 4 个处理分别为 W1N1F1、W2N1F1、W1N1F2、W2N1F2。

氮素观测方法为, 土壤及植株全氮用硫酸催化剂法, 土壤及其溶液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 分别用康维皿法及碱解扩散法,

收稿日期: 2003-01-20; 修订日期: 2003-06-10

基金项目: “863” 计划资助项目 (2001AA242032-4; 2002AA2Z4331)

作者简介: 崔远来(1966-), 男, 江西武宁人, 武汉大学教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术及水资源管理方面研究。E-mail: cuiyuanlai @263.net

$\text{NO}_3^-$  用酚二磺酸比色法, 氨挥发用改进半密闭法,  $^{15}\text{N}$  用质谱仪测定。

表1 试验施氮肥处理设计(施氮肥用尿素)

水处理	肥水平	施肥方式	施肥总量 ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	分期施肥量/ ( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )			
				基肥	分蘖肥	拔节肥	保花肥
W1	N0	F0	0	0	0	0	0
W2	N0	F0	0	0	0	0	0
W1	N1	F1	267	267	0	0	0
W2	N1	F1	267	267	0	0	0
W1	N1	F2	267	187	80	0	0
W2	N1	F2	267	187	80	0	0
W1	N1	F3	267	80	80	80	27
W2	N1	F3	267	80	80	80	27
W1	N2	F1	534	534	0	0	0
W2	N2	F1	534	534	0	0	0
W1	N2	F2	534	374	160	0	0
W2	N2	F2	534	374	160	0	0

## 2 结果及分析

### 2.1 不同水肥处理下氮素养分在稻田的时空分布及运移规律

(1) 不同处理土壤及土壤溶液中  $\text{NH}_4^+$  的变化 不同处理土壤及土壤溶液中  $\text{NH}_4^+$  的浓度见表2及表6。可见土壤及土壤溶液中  $\text{NH}_4^+$  的含量在开始较高, 然后迅速下降, 到拔节孕穗期(7月6日)以后呈缓慢降低。节灌处理的  $\text{NH}_4^+$  浓度在抽穗开花前(8月5日)均大于淹灌, 这是因为生长初期节灌通气性好, 土壤处于好气环境, 使土壤有机质易于分解而释放  $\text{NH}_4^+$ , 在后期, 水溶液的交换平衡以及节灌下水稻根系较强吸附和氨挥发较多等, 使  $\text{NH}_4^+$  低于淹灌。施肥水平对  $\text{NH}_4^+$  的浓度影响表现在前期 N2 水平显著大于 N1, 但后期不同施肥水平  $\text{NH}_4^+$  浓度逐渐接近。追肥方式主要影响  $\text{NH}_4^+$  浓度在生育期的变化过程, 适当多追肥可使  $\text{NH}_4^+$  变化平稳, 有利于水稻吸收利用。

表2 不同处理土壤  $\text{NH}_4^+$  的含量

处理	取样时间							mg/kg
	6月8日	6月20日	6月30日	7月6日	7月24日	8月5日	8月25日	
W1N0F0	34.30	13.83	11.13	11.35	9.36	9.00	6.82	
W1N1F1	53.41	18.19	19.71	17.40	19.20	15.05	10.10	
W1N1F2	57.58	21.19	11.23	11.30	10.67	9.03	7.92	
W1N1F3	39.39	21.08	18.72	15.88	23.20	20.50	19.44	
W1N2F1	67.51	17.83	21.33	15.41	16.17	13.05	8.83	
W1N2F2	62.31	35.11	27.85	24.48	18.66	15.04	10.66	
W2N0F0	29.16	13.15	9.67	10.14	9.13	10.09	7.96	
W2N1F1	54.89	17.15	9.08	12.67	13.94	15.14	12.72	
W2N1F2	55.66	22.35	24.96	10.63	8.86	10.32	11.17	
W2N1F3	37.14	19.14	15.64	12.67	27.00	20.95	18.16	
W2N2F1	72.40	30.53	20.88	14.15	12.23	12.07	11.91	
W2N2F2	63.04	36.85	21.05	16.33	12.68	12.93	15.25	

(2) 不同处理土壤及土壤溶液中  $\text{NO}_3^-$  的变化规律 不同处理土壤及土壤溶液中  $\text{NO}_3^-$  的含量分别见表3及表7, 可见无论是土壤还是土壤溶液, 节水灌溉条件下  $\text{NO}_3^-$  的浓度均明显大于淹灌。淹灌处理在晒田复水后,  $\text{NO}_3^-$  含量逐渐减为零。不同施肥水平及追肥方式  $\text{NO}_3^-$  含量的差异不明显。

(3) 不同处理下  $^{15}\text{N}$  在土壤及土壤溶液中的分布 表4表明, 在4个处理中, 溶液中  $^{15}\text{N}$  百分超高于土壤, 即氮肥施入后首先溶解在溶液中, 然后才会通过离子交换作用被土壤吸附。节灌下, 土壤上层的  $^{15}\text{N}$  百分超在2种施肥方式下均高于淹灌, 而下层土壤在施肥方式 F1 下前3次取样高于淹灌, 后又低于淹灌, 可见淹灌对化

表3 不同处理土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的含量

处理	取样时间					
	6月8日	6月20日	6月30日	7月6日	7月24日	8月5日
W1N0F0	0.0294	0.0710	0.0901	0.0780	0.0667	0.0517
W1N1F1	0.0418	0.0780	0.0858	0.0780	0.0624	0.0483
W1N1F2	0.0370	0.1050	0.0943	0.0818	0.0667	0.0594
W1N1F3	0.0376	0.0912	0.0887	0.0742	0.0608	0.0521
W1N2F1	0.0515	0.1010	0.0851	0.0767	0.0624	0.0530
W1N2F2	0.0461	0.1250	0.0965	0.0881	0.0731	0.0632
W2N0F0	0.0324	0.0280	0.0	0.0	0.0	0.0
W2N1F1	0.0418	0.0357	0.0227	0.0	0.0	0.0
W2N1F2	0.0370	0.0280	0.0348	0.0	0.0	0.0
W2N1F3	0.0324	0.0275	0.0270	0.0	0.0	0.0
W2N2F1	0.0527	0.0280	0.0262	0.0	0.0	0.0
W2N2F2	0.0476	0.0310	0.0291	0.0	0.0	0.0

肥氮的淋失作用在集中施肥时更为明显。水分对土壤溶液也有类似的影响。无论是土壤还是土壤溶液，其上层<sup>15</sup>N百分超均高于下层，说明施肥主要影响上层土壤。施肥方式对土壤及其溶液有效氮的影响表现在返青期以后，土壤及其溶液上层<sup>15</sup>N百分超 F2 施肥方式高于 F1 施肥方式，同时 F2 方式的下层土壤溶液<sup>15</sup>N 也高于 F1 方式。另外，施肥后随着时间推移，土壤及其溶液上、下层间的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度差值逐渐缩小，这一方面是由于水稻对上层氮的吸收较下层多，另一方面是由于氮的下移而使上层氮浓度降低、下层氮浓度增加。

表4 同位素标记的<sup>15</sup>N示踪土壤及其溶液中原子百分超及其分布

处理	样品来源	层次	取样时间						
			6月6日	6月19日	6月28日	7月6日	7月23日	8月5日	8月25日
W1N1F1	土壤	上层	1.1323	0.8523	0.7928	0.6808	0.5652	0.3343	0.1583
		下层	0.5410	0.5902	0.6005	0.4405	0.4453	0.1501	0.1052
	土壤溶液	上层		2.1275	1.7900	1.5360	1.1995	0.8645	0.8420
		下层		1.1683	1.2433	1.1308	0.9493	0.2835	0.2444
W2N1F1	土壤	上层	1.1228	0.8533	0.7398	0.6160	0.4608	0.2740	0.1365
		下层	0.4854	0.5721	0.6229	0.4909	0.4788	0.1240	0.1014
	土壤溶液	上层		2.1050	1.6910	1.5095	1.2025	0.8176	0.8106
		下层		1.4008	1.1443	1.0853	0.9308	0.5707	0.4261
W1N1F2	土壤	上层	1.1338	1.0398	0.8883	0.7463	0.7473	0.3338	0.1864
		下层	0.4507	0.4807	0.5151	0.4728	0.4930	0.2395	0.1042
	土壤溶液	上层		2.3345	1.8910	1.7535	1.2210	0.8574	0.8186
		下层		1.5323	1.3713	1.1923	1.0508	0.3380	0.2206
W2N1F2	土壤	上层	1.1288	1.0398	0.7906	0.6398	0.5592	0.2944	0.1344
		下层	0.4519	0.4605	0.5287	0.4878	0.5043	0.2156	0.0990
	土壤溶液	上层		2.2870	1.8825	1.6265	1.2995	0.8169	0.7981
		下层		1.3813	1.2743	1.1418	0.9318	0.5994	0.4877

注：上层 0~20 cm，下层 20~40 cm。

## 2.2 不同水肥处理下稻田氮素的挥发及淋溶损失

(1) 氮素的挥发损失 由表5可见，在移栽约一周后，氮挥发达峰值，随后迅速减少，出现这一峰值是因为移栽前的干燥土壤在淹水后产生速效 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的溶解、扩散转化为氮挥发而引起的。从整个生育期看，前期氮挥发量大，随后不断降低，这是由于前期温度较高、水稻覆盖度较低，同时水稻吸肥能力也较差。

节水灌溉处理的氮挥发量显著高于淹灌，平均情况下，节灌较淹灌高 22.9%，原因是在节灌条件下土壤干干湿湿的状态使得土壤与土壤溶液中氨(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)的浓度比淹灌的高。解决节水灌溉条件下氮挥发损失过大，是选择节水灌溉模式及与之配套的施肥技术措施需考虑的问题之一。随着施肥量的增加，氮的挥发损失呈现同比增加趋势。平均情况下，N1、N2水平分别是对照处理 N0 的 1.8 和 3.4 倍。不同追肥次数间的差异在 N1 水平下由于基肥的作用，表现不明显，在 N2 水平下，随着追肥次数的增加，总挥发损失显著降低。表明在施氮水平较高时，采用分次追肥可减少氨态氮的挥发损失。

同位素示踪表明，化肥氮的挥发占总挥发量的 34.8%~42.4%，节灌下化肥氮和土壤氮的挥发均显著高于淹灌。

表5 不同处理下氨的挥发损失

Table 5 Ammonia volatilization under different treatments

mg/(d·筒)

取样时间	5月20日	5月25日	5月30日	6月4日	6月17日	6月27日	7月7日	7月17日	7月26日	8月6日	8月16日	合计
	~5月24日	~5月29日	~6月3日	~6月16日	~6月26日	~7月6日	~7月16日	~7月25日	~8月5日	~8月15日	~8月31日	
W1N0F0	51.4	98.0	25.8	20.3	29.6	24.2	13.2	14.6	10.5	20.3	5.4	2294.8
W1N1F1	85.0	143.1	128.8	44.1	25.3	20.7	11.1	14.8	13.5	12.4	9.9	3407.9
W1N1F2	64.5	151.7	144.9	59.6	37.2	26.7	12.3	13.8	10.6	8.8	5.4	3693.0
W1N1F3	59.4	105.9	82.9	61.6	36.5	37.5	14.9	17.6	13.5	39.5	10.7	3744.3
W1N2F1	97.5	496.9	501.3	135.7	23.8	19.7	10.5	13.3	11.8	27.1	7.2	8320.8
W1N2F2	77.4	371.4	186.2	114.1	45.7	32.0	14.2	16.6	12.6	25.2	6.5	6143.9
W1	72.5	227.8	178.3	72.6	33.0	26.8	12.7	15.1	12.1	22.2	7.5	4600.8
W2N0F0	52.9	113.4	21.9	25.0	29.3	21.7	10.2	13.4	12.2	18.3	4.6	2336.5
W2N1F1	60.7	100.4	117.7	41.9	21.7	18.3	10.2	13.3	12.4	9.9	5.2	2818.3
W2N1F2	71.0	73.4	96.4	48.0	65.5	35.3	10.9	13.8	11.9	13.9	10.8	3376.3
W2N1F3	59.3	69.3	90.2	63.9	61.2	36.2	11.0	13.8	12.1	37.3	10.3	3744.3
W2N2F1	95.2	457.2	225.7	119.5	19.7	17.5	10.0	12.7	11.1	26.3	7.1	6433.8
W2N2F2	89.3	269.9	61.1	32.5	40.3	27.2	11.1	13.8	11.6	20.0	5.2	3755.7
W2	71.4	180.6	102.2	55.1	39.6	26.0	10.6	13.5	11.9	21.0	7.2	3744.2

## (2) 氮素的淋溶损失

$\text{NH}_4^+$  淋溶损失 由表6可见, 随着施肥量增加, 渗漏水中  $\text{NH}_4^+$  的浓度也增加, 在初期 N2 处理为 N0 处理的 2 倍。各处理渗漏水中  $\text{NH}_4^+$  的浓度随生育期不断降低, N1 处理在拔节孕穗期出现峰值, 是由于采样前田面追肥所致。不同施肥方式比较表明, 集中施肥使前期渗漏水中  $\text{NH}_4^+$  的浓度较多次施肥的高, 而后期则相反, 但总的渗漏量持平。由于两种灌溉方式之间渗漏量差异显著, 使得  $\text{NH}_4^+$  渗漏总量差异十分明显, 节灌比淹灌少 77%~126%。同时, 同一灌溉方式下,  $\text{NH}_4^+$  渗漏总量随施肥量增加而增加。

同位素示踪表明, 不同灌溉方式间源于化肥氮  $\text{NH}_4^+$  淋失差异不明显。化肥氮  $\text{NH}_4^+$  淋失占  $\text{NH}_4^+$  淋失总量的比例很低, 淹灌和节灌条件下, 分别仅占到  $\text{NH}_4^+$  淋失总量的 5.6% 和 6.4%, 占化肥氮施入总量的 0.34% 和 0.31%, 即  $\text{NH}_4^+$  淋失绝大部分来自土壤中原有  $\text{NH}_4^+$ 。

表6 不同处理下渗漏水中  $\text{NH}_4^+$  的浓度及总渗漏量Table 6  $\text{NH}_4^+$  concentrations in percolation water and total  $\text{NH}_4^+$  leaching loss

处理	不同采样时间渗漏水中 $\text{NH}_4^+$ 的浓度/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )						渗漏总量/( $\text{L} \cdot \text{筒}^{-1}$ )	$\text{NH}_4^+$ 渗漏总量/( $\text{g} \cdot \text{筒}^{-1}$ )
	返青期	分蘖期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期		
W1N0F0	2.1	1.10	0.70	0.56	0.42	0.35	108.56	0.0998
W1N1F1	2.8	1.40	1.68	1.12	0.70	0.35	108.24	0.1164
W1N2F1	4.2	3.50	2.40	1.68	1.40	1.12	107.50	0.1653
W2N0F0	2.1	1.40	0.70	0.56	0.42	0.35	123.35	0.2103
W2N1F1	2.8	1.68	2.10	1.40	1.12	0.70	123.35	0.2630
W2N2F1	4.2	3.50	2.40	1.40	1.40	0.70	121.59	0.2928

$\text{NO}_3^-$  淋溶损失 由表7可见, 节灌下渗漏水中  $\text{NO}_3^-$  的浓度及渗漏总量明显大于淹灌, 淹灌条件下, 大部分时段  $\text{NO}_3^-$  为零; 施肥量越大,  $\text{NO}_3^-$  的渗漏量亦越大。

表7 不同处理下渗漏水中  $\text{NO}_3^-$  的浓度及总渗漏量Table 7  $\text{NO}_3^-$  concentration in percolation water and total  $\text{NO}_3^-$  leaching loss

处理	不同采样时间渗漏水中 $\text{NO}_3^-$ 的浓度/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )						$\text{NO}_3^-$ 渗漏总量/( $\text{mg} \cdot \text{筒}^{-1}$ )
	返青期	分蘖期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期	黄熟期	
W1N0F0	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	2.04
W1N1F1	0.03	0.06	0.09	0.05	0.03	0.03	5.41
W1N2F1	0.06	0.09	0.13	0.09	0.06	0.05	8.31
W2N0F0	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51
W2N1F1	0.03	0.03	0.09	0.00	0.00	0.00	3.36
W2N2F1	0.05	0.09	0.23	0.00	0.00	0.00	4.07

总之，与淹灌相比，节水灌溉改变了稻田水分状况，减少了稻田水分下渗的动力，降低了稻田总渗漏量，从而减少氮淋失的载体。同时，节水灌溉改变了稻田土壤氧化还原状况，使氮的化学形态发生变化，因而  $\text{NH}_4^+$  及  $\text{NO}_3^-$  的浓度都发生了变化，其中  $\text{NH}_4^+$  浓度变化与施肥量有关，而节水灌溉的  $\text{NO}_3^-$  的浓度则明显大于淹灌。渗漏量及溶液中氮的浓度的变化，使得 2 种灌溉方式下氮的总渗漏量相差显著，节灌的  $\text{NH}_4^+$  渗漏量明显低，而节灌的  $\text{NO}_3^-$  渗漏量明显高，由于氮的总淋失量中， $\text{NH}_4^+$  占绝对量，因此，节水灌溉的总氮渗漏量明显少于淹灌。

2.3 不同水肥处理下水稻植株吸氮规律及氮素养分在植株中的分布特征

(1) 不同处理下水稻植株吸氮规律 由表 8 可见，节灌下的稻株吸氮量高于淹灌，节灌下良好的土壤通气环境，有利于氮的转化吸收，同时根系生长旺盛，白根多且分布深，使其吸肥力高于淹灌。氮肥水平越高，同期水稻体内含氮量越高，即稻株含氮量与施氮水平呈正相关。N1 水平下，随追肥次数增加，总吸氮量增加，在 N2 水平时，追肥次数对总吸氮量增加的影响不明显。

同位素示踪表明，源于化肥的氮只占到稻株总吸氮量的 15 % 左右，即化肥氮被当季作物的吸收利用率较低。

(2) 不同处理下氮素在植株体内的分布 从表 8 可知，不同水肥处理下，氮素在根、茎叶及籽粒中的分布不同。同时，化肥氮及土壤氮在植株体中的分布也有差别。灌溉方式显著影响氮素吸收及分布，节灌处理下籽粒中氮素含量高于淹灌，而茎叶中氮素含量则为淹灌高于节灌，说明节灌有利于植株氮素向穗部转移。施肥水平越高，各部位氮的含量越高，并且主要表现在茎叶和籽粒中含氮量增加。

从同位素示踪分析表明，化肥氮主要分布在籽粒中，同样，化肥氮在籽粒中的含量节灌高于淹灌，而在茎叶中的含量则节灌低于淹灌。施肥方式 F2 的籽粒中化肥氮含量高于 F1 处理，而茎叶中的含量为 F1 大于 F2，可见适当增加追肥次数有利于氮肥向籽粒转移。

表 8 不同处理下氮素在植株体内的分布

Table 8 Nitrogen distributions within plant g/筒

处理	根			茎叶			籽粒		
	化肥氮	土壤氮	总量	化肥氮	土壤氮	总量	化肥氮	土壤氮	总量
W1N0F0			2.42			3.95			10.09
W1N1F1	0.21	1.98	2.18	1.78	11.00	12.78	2.59	17.61	20.20
W1N1F2	0.15	2.10	2.25	1.28	11.64	12.92	3.80	18.45	22.25
W1N1F3			3.85			11.00			24.75
W1N2F1			3.36			12.11			27.92
W1N2F2			1.67			15.46			26.88
W2N0F0			2.98			5.47			8.58
W2N1F1	0.18	1.36	1.53	1.95	11.55	13.49	2.39	17.44	19.83
W2N1F2	0.22	2.62	2.84	1.43	11.18	12.61	3.25	18.84	22.09
W2N1F3			3.85			11.00			24.75
W2N2F1			2.56			14.58			24.22
W2N2F2			0.98			16.33			24.91

2.4 不同水肥处理下化肥氮量平衡

针对  $^{15}\text{N}$  标记的 4 个处理分析化肥氮平衡。表 9 的结果表明，氮挥发、土壤残留、稻株吸收 3 项占施入总氮量的 70 % 以上。其中氮挥发损失占施氮量的 24 % ~ 33 %，且节灌高于淹灌，F1、F2 两种追肥方式下，节灌

表 9 不同水肥处理化肥氮的平衡

Table 9 Fertilizer nitrogen balance under different treatments g

处理	氮的输出								输入
	氮挥发		土壤残留		稻株吸收		未知项		
	总量	比例/ %	总量	比例/ %	总量	比例/ %	总量	比例/ %	
W1N1F1	1.1890	31.8	1.243	33.5	0.8220	22.0	0.4724	12.7	3.733
W1N1F2	0.9203	24.7	1.020	27.2	0.8118	21.7	0.9862	27.4	
W2N1F1	1.2090	32.4	1.387	37.1	0.9074	24.3	0.2322	6.2	
W2N1F2	0.9309	24.9	1.405	37.6	0.8493	22.6	0.5468	14.8	

分别比淹灌高 29 % 和 30 %。土壤残留占 1/3 左右，F1 追肥方式节灌高于淹灌，F2 方式节灌与淹灌间无差异。稻株吸收占 22 % ~ 24.3 %，可见化肥氮被当季作物利用率较低。两种追肥方式均以节灌高于淹灌，并且 F2 高于 F1，说明节灌有利于化肥氮

的吸收。未知项中包括氮素淋溶损失及硝化反硝化损失等。节灌未知项损失显著低于淹灌, 主要是因为节灌显著减少化肥氮的淋溶损失。追肥方式 F1 的未知项损失高于 F2, 说明集中追肥导致氮的淋失等损失增加。

### 3 结 语

水稻的正常生长离不开水肥的协调配合。由于节水灌溉稻田水分相对较少, 基质浓度较高, 其挥发损失高于淹灌; 虽然节水灌溉条件下渗漏液中氮  $\text{NH}_4^+$  及  $\text{NO}_3^-$  浓度较淹灌高, 但由于此时总渗漏量显著减少, 氮的总淋失损失较淹灌条件少; 节水灌溉条件下, 适当增加追肥次数, 有利于减少各种氮素养分的损失, 提高氮肥利用率; 节水灌溉条件下水稻对氮素的吸收利用率高于淹灌, 且有利于氮素养分向稻谷转移;<sup>15</sup>N 示踪表明, 施入的氮肥在种植一季水稻后, 土壤残留及氮挥发分别占 1/3 左右, 稻株吸收只占 20% ~ 30%, 渗漏等其他损失变异较大, 并且淹灌的显著大于节灌; 在试验条件下, 采用节水灌溉方式、高氮水平并适当多追肥的处理为最佳的水肥管理模式。如何解决节水灌溉条件下氮挥发损失过大, 是合理选择节水灌溉模式及与之配套的施肥技术措施时需进一步研究的问题。另外, 虽然本试验在标准蒸渗器中进行, 但结果与大田实际情况仍有差别, 有关结论有待进一步充实和验证。

#### 参考文献:

- [1] 茆 智. 水稻节水灌溉技术[J]. 中国农村水利水电, 1997(4):45 - 47.
- [2] Bouman B A M, Tuong T P. Field water management and increase its productivity in irrigated rice[J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 49:11 - 30.
- [3] 蒋彭炎. 水稻的氮肥施用技术[J]. 中国稻米, 1996(1):34 - 37.
- [4] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略[J]. 中国农业科学, 2002, 39(9):1095 - 1104.
- [5] 杨建昌, 王志琴, 朱庆生. 不同土壤水分状况下氮素营养对水稻产量的影响及其生理机制研究[J]. 中国农业科学, 1996, 29(4):58 - 66.
- [6] 李荣刚, 夏源陵, 吴安之, 等. 太湖地区水稻节水灌溉与氮素淋失[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2001, 29(2):21 - 25.
- [7] 沈阿林, 刘春增, 张付申, 等. 不同水分管理对水稻生长与氮素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1997, 3(2):111 - 116.
- [8] 吕国安, 李远华, 陈明亮, 等. 不同灌溉方式水稻植株对氮素的吸收利用研究[J]. 中国农村水利水电, 1997(12):18 - 20.

## Nitrogen movement and transformation with different water supply for paddy rice

CUI Yuan-lai<sup>1</sup>, LI Yuan-hua<sup>2</sup>, LU Guo-an<sup>3</sup>, SHA Zong-yao<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 2. National Center for Irrigation and Drainage Development, Beijing 100053, China; 3. Huazhong Agricultural University, Wuhan 430007, China)

**Abstract:** With experiment data under different water and nitrogen treatments, this paper studies the changing patterns of nitrogen movement and transformation, losses of ammonia volatilization and nitrogen leaching, nitrogen distribution within rice plant, nitrogen balance in paddy fields. The results shows that ammonia volatilization is high under water saving irrigation (WSI) compared with continuous flooding (CF) because the soil solution concentration is higher. Although concentration of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{NO}_3^-$  in the percolation water is higher under WSI, total nitrogen leaching loss is lower because the total percolation loss is much lower than those of CF. Under WSI conditions, more nitrogen supply splits can decrease nitrogen losses and increase nitrogen efficiency. WSI practice is propitious to nitrogen recovery and its transferred to grain. The WSI regime produces optimal water and fertilizer management for paddy rice when 250 - 400 kg/hm<sup>2</sup> of urea is applied through three splits.

**Key words:** paddy rice; nitrogen; movement and transformation; water saving irrigation