

太湖地区水稻节水灌溉与氮素淋失

李荣刚¹, 夏源陵², 吴安之³, 钱一声³

(1. 江苏省农林厅能环办, 江苏 南京 210013; 2. 武进市计委, 江苏 武进 213161; 3. 武进市农业局, 江苏 武进 213161)

摘要 通过田间试验探讨有效的农田氮素水体污染防治途径. 研究表明, 节水灌溉(湿润灌溉)情况下渗漏水中总氮浓度、氮素渗漏量、氮素渗漏损失代价均随着施氮量的增加而增加, 渗漏水中 3 种形态的氮素(硝态氮、铵态氮和有机氮)以硝态氮为主, 铵态氮和有机氮占的比例较低. 和常规灌溉相比, 相同施氮处理(264.75 kg/hm²)采用节水灌溉时稻谷增产 4.1%, 氮肥当季利用率提高 3%、氮素渗漏量下降 8.9 kg/hm², 水稻节水灌溉是当前降低太湖地区水体氮素污染行之有效的重要措施之一.

关键词 水稻; 节水灌溉; 氮素渗漏

中图分类号 S275 **文献标识码** A **文章编号** 1000-1980(2001)02-0021-05

农田向水体迁移的氮素是太湖水富营养化的重要原因之一. 为了减少农田氮素向水体的迁移量, 国内学者做了大量的研究工作^[1~3], 但是很少见到将肥水综合起来, 尤其是在太湖水乡进行节水节氮的系统研究报道.

1 材料与方法

1.1 试验基本情况

试验于 1997 年在江苏省武进市雪堰桥镇新建村农户的农田上进行, 土壤为爽水型水稻土, 土种为黄泥土, 有机质、全氮、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 27.4, 1.72, 78.3, 21.94, 148.1 mg/kg, 水稻品种为武运粳 7 号.

按施氮总量, 试验设对照(CK 即不施肥区), 108.75, 230.7, 264.75, 307.5 kg/hm² 5 个节水灌溉(节水要点、施肥要点如下)处理, 另设施氮量为 264.75 kg/hm², 采用常规灌溉, 共 6 个处理(代号分别为 CK, N1, N2, N3, N4, N5). 这 6 个处理上磷钾肥等量施用分别为 100 kg/hm² P₂O₅ 和 145 kg/hm² K₂O, 不施有机肥. 在每个小区中间埋 PVC 渗漏计, 渗漏计底部有 3 排小孔(孔径 0.2 cm)用尼龙纱网缠住管底和 3 排小孔, 然后埋入土内 1 m 深. 每个处理设 3 次重复, 小区面积 66.7 hm², 随机排列. 将塑料布埋入各小区的田埂中以防止串水串肥, 每个小区单独排灌. 其余管理措施全田一致. 水稻生长期间, 取渗漏水样, 时间根据施肥时期而定, 一般施肥次日取样, 以后每周 1 次, 水样化验项目为氨态氮、硝态氮和有机氮. 水稻收获时测产并采集植株样品分别测定谷粒和秸秆氮、磷、钾含量. 测定方法参见文献[4].

1.2 节水及其相应的施肥要点

主要目的是通过节水节氮减少肥水流失和氨挥发损失. 具体措施是: 减少因灌水太多将肥水排到排水沟, 避免因降雨过多肥水被迫排放, 减少肥水在田面时间较长造成的氨挥发损失, 减少因灌水量太大造成的氮素在渗漏水中的损失. 要达到上述目标, 单从节水一方面做是不行的, 必须使节水技术与施肥技术有机结合. 为此施肥与灌水技术要点是: 基肥中的碳铵均在泡田后耙田平田前施入, 复合肥在耙田平田后栽秧前施入. 分蘖肥和除草剂、长粗肥、穗肥均在浅水时施入. 整个生育期采用间歇灌溉, 除插秧、活棵、孕穗灌浆期间、遇大雨情况下建立浅水层外, 其他情况下一律不建立水层, 为了使稻田保持湿润状态, 田水自然落干 2~3 d 后要复灌浅水层, 循环往复, 10 月 15 日左右结合种套播麦灌跑马水后, 终止灌溉.

收稿日期 2000-02-15
作者简介 李荣刚(1963—), 男, 江苏南京人, 博士, 主要从事农业污染研究.

2 施氮量和稻田氮素渗漏损失的关系

2.1 渗漏水氮素浓度

渗漏水中硝态氮、铵态氮、有机氮、总氮浓度均随着施氮量的增加而增加,从对照到最高施氮处理的变幅分别是 0.34~1.85,0.23~1.43,0.15~0.36 mg/L.三态氮浓度变异系数在 5%~9%之间,不同形态的氮素统计检验结果各不相同,除总氮外,对照和 N1 处理间三态氮浓度差异不显著.这一结果表明,由于土壤中氮素的大量积累,即使不施氮肥,农田氮素也对地下水体构成一定程度的污染(表 1).

表 1 不同施肥水平下渗漏水中 NO₃-N、NH₄-N、Org-N 和总氮浓度

Table 1 The concentrations of NO ₃ -N, NH ₄ -N, and Org-N in leaching water under nitrogen application mg/L												
处理代号	硝态氮			铵态氮			有机氮			总 氮		
	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数	平均值	标准差	变异系数
CK	0.34bB	0.027	8.03	0.23cC	0.014	6.39	0.15bB	0.011	6.96	0.71dD	0.040	5.60
N1	0.64bB	0.041	6.49	0.43cC	0.027	6.35	0.26bAB	0.013	4.92	1.32cC	0.068	5.11
N2	1.36aAB	0.121	8.88	0.97bB	0.076	7.86	0.34abAB	0.018	5.29	2.67bB	0.187	6.98
N3	1.52aA	0.135	8.88	1.08bAB	0.085	7.86	0.37abAB	0.020	5.30	2.97bB	0.207	6.98
N4	1.85aA	0.166	8.98	1.43aA	0.143	9.99	0.46aA	0.030	6.51	3.74aA	0.296	7.91

2.2 渗漏量及水稻生产的氮渗漏代价分析

渗漏量是渗水量与渗漏浓度的乘积.根据江苏省水利厅(1991)^①、马立珊^[1]对太湖地区爽水型水稻土研究结果所确定的水稻常规灌溉的渗漏量为 647mm,湿润节水灌溉措施下的渗漏量是常规灌溉的 50%左右,这里确定为 324 mm.求出的氮渗漏量是不同时段渗水量与不同时段渗漏浓度平均值相乘的结果.

2.2.1 渗漏量

像渗漏水中氮浓度一样,氮渗漏量随着施氮量的增加而增加,对照情况下,硝态氮、铵态氮、有机氮的渗漏量分别为 1.095,0.735,0.494 kg/hm²,N1 处理较 CK 增加了近 1 倍,分别为 2.068,1.392,0.841 kg/hm².N2,N3 到 N4 处理依次递增,渗漏量占施氮量的比例为 3%~4%之间(表 2).

表 2 不同施肥水平下的氮渗漏量及渗漏比例

Table 2 Nitrogen leached and proportion under different nitrogen application								
处理代号	氮渗漏量/(mg·L ⁻¹)				渗漏比例/%			
	硝态氮	铵态氮	有机氮	总氮	硝态氮	铵态氮	有机氮	总氮
CK	1.095	0.735	0.494	2.323				
N1	2.068	1.392	0.841	4.301	1.90	1.28	0.77	3.96
N2	4.437	3.161	1.095	8.694	1.92	1.37	0.47	3.77
N3	4.928	3.511	1.216	9.655	1.86	1.33	0.46	3.65
N4	6.006	4.642	1.511	12.158	1.95	1.51	0.49	3.95

2.2.2 渗漏量的边际效益分析及水稻生产的氮素渗漏代价

除有机氮外,硝态氮、铵态氮、总氮的边际渗漏量(即随着施氮量的增加,每增加1 kg氮肥所引起的氮素渗漏量的增加值),从 N1 到 N2,N3 到 N4 是增加的,从 N2 到 N3 是下降的(表 3).

生产每公斤稻谷的氮素渗漏量为氮素渗漏代价,结果表明,生产每公斤稻谷的氮素渗漏量随着施氮量的增加而增加(表 3).

2.3 节水灌溉与常规灌溉渗漏水氮素浓度、渗漏量及氮渗漏代价对比

相同施氮处理量为 264.75 kg/hm²,采用节水灌溉和常规灌溉时的渗漏水氮浓度、渗漏量、渗漏比例、氮素

①江苏省水利厅灌溉试验资料整理组.江苏省农作物灌溉试验资料整编与分析.1991.

渗漏代价均存在一定差异. 其中渗漏浓度差异不大, 渗漏量、渗漏比例、生产每公斤稻谷的代价差异很大(表 4).

表 3 不同施氮水平下的氮素边际渗漏量与生产每公斤稻谷的氮渗漏量

Table 3 Marginal nitrogen leaching and nitrogen leaching
for unit rice yield under different nitrogen application

处理代号	氮素边际渗漏量/(g·kg ⁻¹)				生产每公斤稻谷的渗漏量/(mg·kg ⁻¹)			
	硝态氮	铵态氮	有机氮	总氮	硝态氮	铵态氮	有机氮	总氮
CK					202.1	135.6	91.2	428.8
N1	8.95	6.05	3.20	18.19	337.9	227.5	137.5	703.0
N2	19.43	14.51	2.08	36.02	580.5	413.5	143.3	1 137.4
N3	14.40	10.26	3.56	28.22	617.5	439.9	152.4	1 209.9
N4	25.21	26.46	6.89	58.56	739.3	571.4	186.0	1 496.6

表 4 节水灌溉和常规灌溉渗漏水浓度、渗漏量、渗漏比例及代价比较

Table4 Comparison of leaching concentration , amount, proportion,
and cost for water saving and conventional irrigation

氮形态	渗漏水浓度 /(mg·L ⁻¹)		渗漏量 /(kg·hm ⁻²)		渗漏比例 /%		每公斤稻谷的环境代价 /(mg·kg ⁻¹)	
	节水	常规	节水	常规	节水	常规	节水	常规
硝态氮	1.52	1.46	4.93	9.48	1.86	3.58	618	1 238
铵态氮	1.08	1.04	3.51	6.75	1.33	2.55	440	882
有机氮	0.37	0.36	1.22	2.32	0.46	0.88	152	303
总氮	2.97	2.85	9.65	18.6	3.65	7.01	1 210	2 424

3 常规灌溉和节水灌溉下产量、吸氮量、氮素当季利用率比较

3.1 产量比较

在节水灌溉情况下从 CK 到 N4 不同施氮处理时的产量分别为 5 417.71,6 119,7 644,7 980,8 124 kg/hm². 方差分析结果表明,处理间产量差异极显著,重复间产量差异不显著.LSR 显著性检验结果表明,对照和所有施氮处理的产量差异极显著,N4 和 N3 之间、N3 和 N2 之间产量差异不显著,N2 产量极显著地高于 N1,N1 产量极显著地高于 CK.表明在水稻节水灌溉情况下,从统计角度考虑,N2 处理时的施氮量能够获得较高的产量,同时氮素损失量较低.

264.75 kg/hm² 相同施氮量情况下,常规灌溉的水稻产量为 7 652.8 kg/hm²,比节水灌溉情况下的产量 7 980 kg/hm²低 4.1%,说明节水灌溉能够增加产量.

3.2 吸氮量与氮素当季利用率比较

3.2.1 节水灌溉

水稻吸氮量从对照到 108.75 kg/hm²、从 108.75 kg/hm² 到 230.7 kg/hm² 时增加较快,从 230.7 kg/hm² 到 264.75 kg/hm² 时增加量变缓,从 264.75 kg/hm² 到 307.5 kg/hm² 时几乎没有增加.增量依次为 25,52.3,25.1,1.3 kg/hm².氮肥当季利用率在施氮量为 264.75 kg/hm² 时最高为 38.6%,增加氮肥用量,氮肥当季利用率下降.稻谷吸氮量、氮肥当季利用率在施氮量为 264.75 kg/hm² 时最高,分别为 114.4 kg/hm² 和 17.7%.秸秆吸氮量和氮肥当季利用率均随着施氮量的增加而增加.但是随着施氮量的增加,增量越来越少(表 5).

3.2.2 节水灌溉和常规灌溉的比较

施氮量为 264.75 kg/hm² 时,节水灌溉和常规灌溉处理植株、稻谷、秸秆吸氮量和氮肥当季利用率均存在一定差异(表 5).常规灌溉情况下,植株吸氮量为 193.3 kg/hm²,比节水灌溉情况下的 201.3 kg/hm² 低 8 kg/hm².节水灌溉情况下植株、稻谷、秸秆的当季利用率分别为 38.6%,17.7%,21%,均比常规灌溉情况的植株、稻谷、秸秆的当季氮肥利用率高,常规灌溉情况下的当季氮肥利用率分别为 35.6%,15.9%,19.7%.表明节水灌溉能够促进植株对氮肥的吸收,提高氮肥当季利用率.

4 节水增产、减少氮素淋失的原因

4.1 江苏太湖地区水稻节水潜力

江苏省水利部门(1991)对水稻耗水量统计结果表明:昆山、常熟、锡山等地的单季晚稻耗水量变幅为 550 ~ 880 mm,平均值为 652.9 mm,而苏南太湖地区常年全年降雨量为 1 000 ~ 1 150 mm,水稻生长季节的降雨量常年也超过 500 mm.从理论上讲,如果能提高降雨的有效利用率,苏南太湖地区水稻的灌溉定额应该是很低的.可事实并非如此,该地区水稻的灌水量很高,1987 ~ 1988 年马立珊测定的太湖地区的灌水量为 635,789 mm,接近或明显高于水稻的耗水量^[1].近年来灌溉量的增加更加迅速,据武进市水利局近年来的调查结果,武进市水稻的灌水量高达 2 100 mm,是水稻耗水量的 3 倍多.这一结果表明,苏南太湖地区水稻节水的潜力很大.

表 5 1997 年水稻不同施氮处理氮素吸收量及氮肥利用率

Table 5 Nitrogen absorption and efficiency of utilization under different nitrogen application level for rice

测定部位	处理代号	吸氮量/(kg·hm ²)				氮肥当季 利用率/%
		I	II	III	平均	
植株地上 部分	CK	93.9	111.6	91.9	98.9	
	N1	108.7	125.2	138.7	123.9	22.9
	N2	170.0	174.7	184.1	176.2	33.5
	N3	192.5	196.2	215.7	201.3	38.6
	N4	200.1	200.1	207.6	202.6	33.7
其中稻谷	N5	184.8	188.4	207.1	193.3	35.6
	CK	64.1	76.2	62.7	67.6	
	N1	67.0	77.2	85.5	76.4	8.1
	N2	101.1	103.8	109.4	104.7	16.1
	N3	109.4	111.5	122.6	114.4	17.7
其中稻草	N4	103.4	103.4	107.2	104.6	12.0
	N5	104.9	107.0	117.6	109.7	15.9
	CK	29.8	35.4	29.1	31.4	
	N1	41.7	48.0	53.2	47.5	14.8
	N2	69.0	70.9	74.7	71.5	17.4
	N3	83.1	84.7	93.1	86.9	21.0
	N4	96.8	96.8	100.4	98.0	21.6
	N5	79.9	81.5	89.5	83.6	19.7

4.2 节水途径及节水增产减少氮素淋失的原因

稻田需水量通常由叶面蒸腾量、棵间蒸发量与稻田渗漏量 3 部分组成^[3].叶面蒸腾是水稻生育过程中由植株向大气中蒸腾的水量,是植物蒸腾和合成有机物过程中对水分的要求,它代表了植物系统发育中形成的对水分反应的遗传性,是水稻不可缺少的生理过程.棵间蒸发是棵间水面(或土壤)的蒸发量,受植株隐蔽的影响,是调节稻株周围温度、湿度,保证正常生长发育所需要的一种物理变化过程.渗漏量是稻田水分向深层及旁侧渗漏之水量,一般取决于每次灌水的多少及土壤的渗透系数,是传统灌水管理模式下的主要流失水量.

节水灌溉主要通过减少水稻的叶面蒸腾量、棵间蒸发量与稻田渗漏量来实现,其中,稻田渗漏量可通过节水大幅度地减少.据淮阴县农田水利试验站的试验,节水灌溉情况下的渗漏量比常规灌溉的渗漏量减少 50%.李寿声^[5]试验结果表明,节水灌溉渗漏量减少了 66.9%.节水灌溉情况和常规灌溉,叶面蒸腾和棵间蒸发量有的研究认为相差不大(淮阴县农田水利试验站,1997),有的研究发现有一定的差异.比如,李寿声^①认为,通过节水,叶面蒸腾量可减少 29.4%,棵间蒸发量可减少 3.7%.节水灌溉不仅可减少水稻的叶面蒸腾量、棵间蒸发量与稻田渗漏量,而且也可减少稻田径流量,提高雨水利用效率.稻田径流的产生不仅与降雨的时空分布有关,也与水浆管理、农田水利设施有关.如果采用节水灌溉技术,稻田除活棵期有水层外,生长的其他时间内不保存水层,这样就可以拦蓄一定的雨水,减少径流与渗漏量.径流与渗漏量的降低是减轻苏

①李寿声.水稻节水灌溉新技术.见 水利部农村水利水土保持司等编.农田水利技术发展论文集.1991.68 ~ 75.

南稻区水体污染的重要途径.

大量的试验结果表明,同样条件下节水灌溉和常规灌溉相比,增产效果明显.其原因是:节水灌溉的水稻根系发育和株型生长均优于常规灌溉;土壤中水、气、热状况调节合理,无毒害物质产生.

参考文献:

[1] 马立珊. 苏南太湖水系农业面源污染及其控制对策研究[J]. 环境科学学报,1997,(1) 346 ~ 354.
[2] 李远华. 水稻需水量预报研究[J]. 水科学进展,1991,2(2) 127 ~ 132.
[3] 李永和. 试论水稻灌溉节水的途径[J]. 灌溉排水,1997,16(3) 45 ~ 47.
[4] 中科院南京土壤所. 土壤植株分析. 上海:上海科学技术出版社,1983. 5 ~ 45.

Water Saving Irrigation and Control of Nitrogen Leaching in Taihu Lake Region

LI Rong-gang¹,XIA Yuan-ling²,WU An-zhi³,QIAN Yi-sheng³

(1. Rural Energy and Environment Protection Office of Jiangsu Department of Agriculture and Forestry, Nanjing 210013, China 2. Wujin City Plan Committee, Wujin 213161, China 3. Wujin City Agriculture Bureau, Wujin 213161, China)

Abstract: The purpose of this research is to find a feasible way of controlling farmland nitrogen pollution through field experiments. Results show that the concentration of total nitrogen in leaching water, the amount of nitrogen leached, and the cost of nitrogen leached increase with the increase of nitrogen fertilizer applied under the condition of water saving irrigation(moisture irrigation)in the paddy field. Nitrate-N, is highest, ammonia-N is mediate, and organic nitrogen is the lowest in the three nitrogen forms in leaching water. Compared with the data for conventional irrigation, the rice yield, and nitrogen utilization efficiency in the period of rice growth are 4.1% and 3% higher, and the nitrogen leached is 8.9 kg/hm² lower than for water saving irrigation. Water saving irrigation could be considered as one of the important and feasible measures to reduce nitrogen impact on the Taihu Lake.

Key words: rice; water saving irrigation; Nitrogen leaching