

# 苏南太湖流域水稻氮肥利用率 及氮肥淋洗量研究<sup>①</sup>

崔玉亭<sup>②</sup> 程 序 韩纯儒 李荣刚  
(资源和环境学院) (江苏省农林厅)

**摘 要** 在苏南太湖流域,对不同氮肥施用水平下水稻的产量、氮肥利用率及氮肥水环境损失进行了研究。结果表明,在 350 kg/hm<sup>2</sup> 的高氮肥施用水平下,水稻产量已经下降、植株发生氮素“奢侈”吸收、氮肥利用率下降,氮的淋洗量迅速增加。在以上研究结果的基础上,利用环境经济学的 Coase 原理和农业技术经济学的边际收益分析原理求得,221.5~261.4 kg/hm<sup>2</sup>N 为苏南太湖流域目前生产条件下,水稻兼顾生产、生态和经济三效益比较合理的施肥量,相应的产量范围为 7379.6~7548.6 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词** 苏南; 氮肥利用率; 氮肥淋洗量

**中图分类号** S143.1; S14-33

## Rice Nitrogen Utilization Efficiency and Nitrogen Leaching Amount in Taihu Lake Watershed of South Jiangsu Province

Cui Yuting Cheng Xu Han Chunru Li Ronggang  
(Dept. of Agroecology and Environment) (Bureau of Agriculture & Forest of Jiangsu Province)

**Abstract** In Tai Lake Watershed of south Jiangsu province the studies on rice yield, nitrogen utilization efficiency, nitrogen leaching amount at different nitrogen fertilizer doze in paddy rice field were made. When nitrogen fertilizer application amount exceeds 350 kg/hm<sup>2</sup>, the rice yield began to decrease, so-called over abundant nitrogen absorption happens, and nitrogen utilization efficiency decreases, as well as nitrogen leaching amount increases rapidly. On the basis of above research, with the Coase Theory of Environmental Economics, the ecological agronomic and economic satisfactory nitrogen fertilizer doze for current production was obtained as 221.5~261.4 kg/hm<sup>2</sup>.

**Key words** south Jiangsu Province; nitrogen utilization efficiency; nitrogen leaching amount

施肥对粮食的增产作用巨大,但如果化肥施用不合理,则增产效果甚微,甚至造成减产。目前苏南农村经济发达地区水稻平均氮肥用量已达 300 kg/hm<sup>2</sup>,有的农田甚至达到 350 kg/hm<sup>2</sup>,肥料的增产作用已微乎其微,如果仍一味地增加化肥用量,则会更加降低肥料利用率,加重对环境的污染(李伟波,1997;陈荣业,1983)。综合研究水稻不同氮肥投入水平下

收稿日期: 1998-03-26

①本文为崔玉亭博士论文的一部分

②崔玉亭,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

的产量、氮肥利用率及氮肥水环境损失,并求得适宜的氮肥用量,对苏南当前的水稻生产具有指导意义。

## 1 试验概况

试验设在太湖流域武进市谢家村爽水型水稻土上,分对照 CK 和高、中、低三个不同氮肥施用水平(N1,N2,N3)。每个处理设 3 个重复,小区采用随机排列方式。在每个小区中间埋一根 PVC 渗漏管,埋深 1 m,定时取得水样以观察不同氮肥施用水平下氮的淋洗情况。

试验的 3 个无机氮肥施用量为 150 kg/hm<sup>2</sup> (N1), 250 kg/hm<sup>2</sup> (N2) 和 350 kg/hm<sup>2</sup> (N3), 分别配施磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾肥(K<sub>2</sub>O)为 100 kg/hm<sup>2</sup>, 155 kg/hm<sup>2</sup>。水稻品种为 93-25, 栽培方式同农民普通大田。试验田土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、速效钾(K<sub>2</sub>O)分别为 27.4 g/kg, 17.2 g/kg, 78.28 mg/kg, 21.44 mg/kg, 148.08 mg/kg。

## 2 产量变化分析

在一定的范围内,随着施肥量的增加产量增加,到 N<sub>2</sub> 处理时达最大值, N<sub>3</sub> 处理已表现为产量下降(如表 1)。但总体看,施肥间产量增加缓慢,经统计分析表明,施肥间的产量差异不显著。但施肥处理与对照区的产量差异达显著水平,施肥增产的幅度在 30%~35.8%之间。

随着氮肥用量的增加,在产量增加的同时,平均产量和边际产量都在降低,到 N<sub>3</sub> 时,边际产量已为负值,致使粮食产量下降。平均产量到 N<sub>3</sub> 时为 5 kg/kg, 即施用每公斤氮肥平均只能生产 5.0 kg 的粮食。这主要是高量氮肥施用下的氮肥“奢侈”吸收所致(如表 2)。

表 1 水稻不同施氮量的产量结果

处 理	产 量	平均产量	边际产量	生产弹性系数
CK	5326.0			
N1	6958.3	13.70	13.70	1.00
N2	7232.8	8.71	2.70	0.32
N3	6912.0	4.97	-3.20	-0.65
TR	7029.2	14.70	14.70	1.00

注:平均产量为单位氮肥用量平均所能生产的粮食数量,边际产量为增加单位氮肥用量所能增加的粮食数量。生产弹性系数为边际产量与平均产量之比。

表 2 不同施肥水平下的植株吸氮及氮肥利用率

kg·hm<sup>-2</sup>

处理	含氮量		吸氮量			氮肥利用率		
	籽粒	秸秆	籽粒	秸秆	植株	籽粒	秸秆	植株
CK	1.43	0.33	49.91	19.55	69.45	—	—	—
N1	1.59	0.37	77.72	32.90	110.63	0.23	0.11	0.35
N2	1.83	0.43	79.79	45.57	125.06	0.14	0.12	0.25
N3	2.07	0.48	85.43	69.21	154.64	0.11	0.16	0.27

## 3 植株吸氮与氮肥利用率变化分析

随着施肥量的增加,籽粒和秸秆的含氮量呈明显的上升趋势(如表 2),即发生植株的“奢侈”吸氮。氮的“奢侈”吸收导致单位氮肥产粮数量下降。

随着施肥量的增加,籽粒的含氮量明显上升,相应地,籽粒吸氮在开始阶段因产量增加而大幅度增加,到后阶段,产量虽然增加很慢或已经开始下降,但吸氮量仍表现出缓慢增加趋势。秸秆吸氮由于秸秆产量一直增加,含氮量也一直增加,所以始终表现为大幅度增加(如表 2)。植株整体吸氮经统计检验施肥处理间达极显著水平。

随着氮肥施用量的增加,虽然植株吸氮量在增加,但氮肥利用率仍呈下降趋势,在 N1 时,氮肥利用率为 35%,而到 N2 时,即迅速下降至 25%。从 N2 到 N3,虽没有再表现出下降趋势,但籽粒部分的氮肥利用率已在明显下降,从 N1 时的 23% 下降到 N2 时的 14%,再下降到 N3 时的 11%,且这时平均产量和边际产量也在迅速下降,所以高施肥的水稻生产是不经济的。

#### 4 氮的淋洗浓度与淋洗量变化分析

无论  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  还是有机氮,其淋洗浓度和淋洗量随着施肥量的增加都呈增加趋势,且  $\text{NH}_4\text{-N}$  和  $\text{NO}_3\text{-N}$  在各处理间增加明显(如表 3),经统计检验达到极显著差异,多重比较结果为, N3 和 N1, CK 之间差异达到极显著水平, N2 和 N1, CK 之间差异达显著水平。随着氮淋洗量的增加,边际淋洗量也呈增加的趋势。其中  $\text{NO}_3\text{-N}$  到 N3 时迅速增加,  $\text{NH}_4\text{-N}$  的迅速增加表现地更早,而 Org-N 的增加值始终比较平缓(如表 4)。综合考虑, N3 时产量已经下降,而  $\text{NO}_3\text{-N}$  和  $\text{NH}_4\text{-N}$  的边际淋洗量又在迅速上升,所以 N3 处理即  $350 \text{ kg/hm}^2$  的施肥量已显过量。

表 3 水稻不同施肥水平下的氮淋洗浓度与氮淋洗量(mg/L,  $\text{kg/hm}^2$ )

项目	处理	$\text{NH}_4\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	Org-N	Total
淋洗浓度	CK	0.083	0.123	0.056	
	N1	0.252	0.231	0.103	
	N2	0.435	0.310	0.107	
	N3	0.634	0.489	0.159	
淋洗量	CK	0.52	0.86	0.33	1.71
	N1	1.33	1.59	0.55	3.47
	N2	2.63	2.13	0.69	5.45
	N3	4.31	3.58	0.92	8.81

注:因  $\text{NO}_2\text{-N}$  比例较小,所以总计氮未计  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,如计入可按总氮的 5%~10% 计算。

#### 5 水稻生态经济合理施肥量的探讨

在水稻生产体系中,施肥量与产量的高低受三方面因素制约,一方面为满足人口的食物需求而须水稻高产;另一方面此生产水平下须资源高效和经济高效;再一方面就是须对环境产生尽量少的污染。所以水稻的生产就要兼顾这三方面的要求。从生产、经济、生态三效益兼顾的角度来探讨一个合理的施肥量就尤为必要。

##### 5.1 生产、生态效益兼顾的施肥量

随着施肥量的增加,边际产量迅速降低,而边际淋洗量却迅速上升,到高施肥阶段更是

如此。根据环境经济学的 Coase 原理, 两线的交点, 即是兼顾生产、生态两个效益比较合理的施肥点(如图 1)。此施肥量所对应的产量  $Y^*$  应为合理的产量, 其他施肥量和产量则会产生消极后果, 若要求  $Y > Y^*$ , 则导致施肥量的增加(在现有的生产条件下), 环境污染程度加重, 若要求  $Y < Y^*$ , 虽然对环境影响较小, 但也不能发挥肥料的增产潜力, 浪费肥料资源。对试验数据进行计算机模拟, 可得出产量、边际产量、边际淋洗量等生产函数方程分别为:

$$Y = -0.036x^2 + 21.62x + 4375 \quad (1)$$

$$Y = -0.072x + 21.62 \quad (2)$$

$$Y = 1.2ex - 151 + 5.14 \quad (3)$$

将 2, 3 联立方程组, 可得  $x = 221.5 \text{ kg/hm}^2$ , 即每公顷  $221.5 \text{ kg}$  的氮肥施用量为在目前生产条件下, 苏南太湖流域水稻兼顾生产和生态效益比较适宜的施肥量, 相应的产量为  $7\ 379.6 \text{ kg/hm}^2$ 。

## 5.2 经济效益最佳施肥量

当边际收益和边际成本相等时, 可得到最高的经济收益。如果水稻按  $2.50 \text{ 元/kg}$  计, 氮肥((纯氮)按  $5.40 \text{ 元/kg}$ , 边际成本和边际收益的生产函数分别为:

$$Y_1 = 5.40$$

$$Y_2 = -0.14x^2 + 42.02$$

解此方程组, 可得  $x = 261.36 \text{ kg/hm}^2$ , 即当施肥量为  $261.36 \text{ kg/hm}^2$  时, 经济效益最佳, 这时产量为  $7548.6 \text{ kg/hm}^2$ 。

所以, 从本试验可以得出,  $221.5 \sim 261.4 \text{ kg/hm}^2$  为目前生产条件下, 苏南太湖流域兼顾到生产, 生态和经济三效益、比较合理的氮肥施用量,

相应的生态经济适宜产量范围为  $7\ 379.6 \sim 7\ 548.6 \text{ kg/hm}^2$ 。随着化肥价格的升高, 或水稻价格的下降, 两线交点将向左移, 即施肥量减少; 否则, 交点将向右移, 即施肥量增加。

表 4 水稻不同施肥水平下的氮边际淋洗量

处理	g·kg <sup>-1</sup>			
	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	Org-N	Total
CK				
N1	6.81	6.13	1.85	14.79
N2	13.00	5.40	1.40	19.80
N3	16.80	14.50	2.30	33.60

\* 边际淋洗量为每增加  $1 \text{ kg}$  的氮肥所引起氮淋洗的增加量, Org-N 表示有机氮

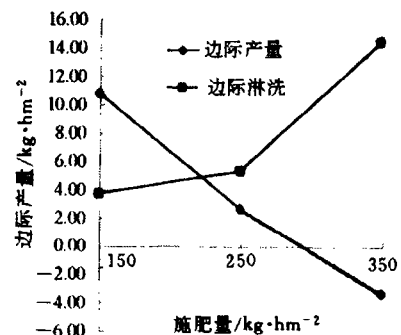


图 1 水稻生产的最佳施肥量

## 参 考 文 献

- 1 陈荣业. 苏州高产稻区氮肥的经济利用. 土壤学报, 1983, 4: 373~385
- 2 程序. 持续农业导论. 北京: 农业出版社, 1997, 235~263
- 3 李伟波. 太湖地区高产稻田氮肥施用与作物吸收利用的研究. 土壤学报, 1997, 1: 67~72