

苏南太湖流域水稻经济生态适宜施氮量研究

崔玉亭¹ 程 序¹ 韩纯儒¹ 李荣刚²

(1. 中国农业大学农业生态与环境系, 北京 100094 2. 江苏省农林厅)

摘要 针对苏南太湖流域无机化、高氮量施肥方式, 造成氮肥利用率下降、水环境污染日益严重这种现象, 研究了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。并在以下研究结果的基础上, 引入环境经济学的 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 kgN/hm² 为苏南太湖流域目前生产条件下, 兼顾生产、生态和经济三效益比较合理的水稻施肥量, 相应的经济、生态适宜产量为 7379.6 ~ 7548.6kg/hm²。

关键词 苏南 经济生态 氮肥

The economic and ecological satisfactory amount of nitrogen fertilizer using on rice in Tai Lake Watershed

CUI Yu-Ting¹, CHENG Xu¹, HAN Chun-Ru¹, LI Rong-Gang² (1. Department of Agroecology and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China 2. Bureau of Agriculture & Forest of Jiangsu Province, Nanjing)

Abstract In Tai Lake watershed the crop yield increasing has been more and more depended upon the increasing application of chemical fertilizer. The nitrogen utilization efficiency (NUE) has greatly decreased, and the water in Tai Lake is more and more polluted. We studied the rice yield, nitrogen utilization efficiency, nitrogen leaching amount at different level of nitrogen fertilizer using in paddy rice field. The results show that with the Coase Theory of Environmental Economics and the Marginal Revenue Analysis Theory of Agricultural Technology Economics, the ecological and economic satisfactory amount of nitrogen fertilizer using on rice was obtained as 221.5 ~ 261.4kg/hm² under the condition of the existing agricultural production technology.

Key words Tai Lake Watershed, nitrogen, economic and ecological, fertilizer using

文章编号: 1000-093X(2000)04-0000-00 中图分类号: S714.2 文献标识码: A

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 300kg/hm², 有的农田甚至达到 350kg/hm², 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^[1, 2]。本文引入环境经济学的 Coase 原理^[3]和农业技术经济学的边际收益分析原理, 试图求得水稻兼顾生产、生态和经济三效益比较合理的施肥量, 以求对苏南太湖流域当前的水稻生产和水环境保护具有指导意义。

1 试验概况与试验方法

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 3 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 1m, 定时取得土壤 1m 处的水样, 以观察不同氮肥施用水平下氮的淋洗情况。水样的采集根据施肥时间而定, 施肥后的 5d 内每天取样, 以后 20d 内隔天取样, 再后每星期取样。

试验的 3 个无机氮肥施用量为 150kg/hm²(N1)、250kg/hm²(N2)和 350kg/hm²(N3), 分别配施磷肥

(P_2O_5) 钾肥 (K_2O) 为 $100\text{kg}/\text{hm}^2$ 、 $155\text{kg}/\text{hm}^2$ 。水稻品种为 93-25 6 月 18 日插秧时基肥施用碳铵 6 月 24 日和 7 月 18 日追肥时分别施用尿素和复合肥。其它栽培及管理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_2O_5) 速效钾 (K_2O) 分别为 $27.4\text{g}/\text{kg}$ 、 $1.72\text{g}/\text{kg}$ 、 $78.28\text{mg}/\text{kg}$ 、 $21.44\text{mg}/\text{kg}$ 、 $148.08\text{mg}/\text{kg}$ 。

2 试验结果与分析

2.1 施肥与产量变化

在一定的范围内,随着施肥量的增加产量增加到 N_2 处理时达最大值, N_3 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 $30\% \sim 35.8\%$ 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_3 时,边际产量已为负值,致使粮食产量下降。平均产量到 N_3 时降为 $5\text{kg}/\text{kg}$,即施用每公斤氮肥平均只能生产 5.0kg 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)。

2.2 植株吸氮及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 N_1 时,氮肥利用率为 35% ,而到 N_2 时,即迅速下降至 25% 。从 N_2 到 N_3 ,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 N_1 时的 24% 下降到 N_2 时的 14% ,再下降到 N_3 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。

表 2 不同氮肥水平下的植株吸氮及氮肥利用率

Table 2 The nitrogen absorbed by rice and the nitrogen utilization efficiency (NUE) at different levels of nitrogen fertilizer using on paddy rice

处理 Treatment	含氮量(%)		吸氮量(kg/hm^2)			氮肥利用率(%)		
	Nitrogen content		Nitrogen absorbed by rice			NUE		
	籽粒 Grain	秸秆 Straw	籽粒 Grain	秸秆 Straw	植株 Plant	籽粒 Grain	秸秆 Straw	植株 Plant
CK	1.43	0.33	49.91	19.55	69.45	—	—	—
N_1	1.59	0.37	77.72	32.90	110.63	24.13	11.21	35.34
N_2	1.83	0.43	79.79	45.57	125.06	14.24	12.11	25.35
N_3	2.07	0.48	85.43	69.21	154.64	11.12	16.52	27.63

表 1 水稻不同施氮量的烘干产量结果

Table 1 Yield of paddy rice at different levels of nitrogen fertilizer using

处理 Treatment	产量 (kg/hm^2) Yield	平均产量 (kg/kg) Average yield	边际产量 (kg/kg) Marginal yield	生产弹性系数 EP
CK	5326.0			
N_1	6958.3	13.70	13.70	1.00
N_2	7232.8	8.71	2.70	0.32
N_3	6912.0	4.97	-3.20	-0.65

平均产量为单位氮肥用量平均所能生产的粮食数量 Average yield is the amount of grain produced by one unit of nitrogen fertilizer using on rice; 边际产量为增加单位氮肥用量所能增加的粮食数量 Marginal yield is the amount of increased grain produced by one increased unit of fertilizer using on rice; 生产弹性系数 elasticity of productivity EP, 为边际产量与平均产量之比 EP is the ratio of marginal yield to average yield

2.3 氮的淋洗浓度与淋洗量变化分析

$\text{NO}_3\text{-N}$ 淋洗浓度和淋洗量随着施肥量的增加都呈增加趋势,且各处理间增加明显(如表 3),经统计检验达到极显著差异,多重比较结果为 N_3 和 N_1 、CK 之间差异达到极显著水平, N_2 和 N_1 、CK 之间差异达显著水平。

随着 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋洗量的增加,边际淋洗量也呈增加的趋势,尤其到 N_3 时增加迅速(表 3)。综合考虑, N_3 时产量已经下降,而 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的边际淋洗量又在迅速上升,所以 N_3 处理即 $350\text{kg}/\text{hm}^2$ 的施肥量已显过量。

2.4 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 3 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 3 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。

2.4.1 生产、生态效益兼顾的施肥量 随着施氮量的增加,氮肥的边际产量迅速降低,而 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的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(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(在现有的生产条件和技术条件下),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。

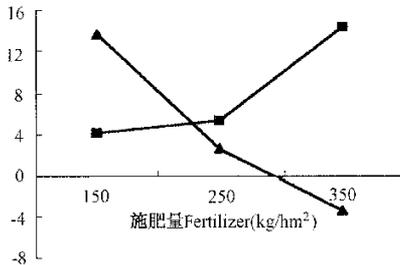


图 1 水稻生产的生态适宜施肥量

Fig. 1 The ecological satisfactory amount of fertilizer using on rice

—▲— 边际产量 Marginal yield (kg/kg),
—■— 边际淋洗量 Marginal leaching amount (g/kg)

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

所以,从本试验可以得出, $221.5 \sim 261.4\text{kg}/\text{hm}^2$ 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 $7379.6 \sim 7548.6\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

表 3 水稻不同氮肥水平下的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 氮淋洗浓度、淋洗量与边际淋洗量

Table 3 The nitrogen leaching concentration, leaching amount and marginal leaching amount of $\text{NO}_3\text{-N}$ at different levels of nitrogen fertilizer using on paddy rice

处理 Treat.	$\text{NO}_3\text{-N}$ 淋洗浓度 (mg/L) Concentration	$\text{NO}_3\text{-N}$ 淋洗量 (kg/hm ²) Amount	$\text{NO}_3\text{-N}$ 边际淋洗量 (g/kg) Marginal amount
CK	0.123	0.86	
N_1	0.231	1.59	4.13
N_2	0.310	2.13	5.40
N_3	0.489	3.58	14.50

* $\text{NO}_3\text{-N}$ 边际淋洗量为每增加每单位的氮肥所引起氮淋洗的增加量, The marginal leaching amount is the increased amount of the leaching $\text{NO}_3\text{-N}$ produced by one unit of the increased fertilizer use on rice.

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:

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

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

$$Y = 1.2e^{x-151} + 5.14 \quad (3)$$

将(2)(3)联立方程组,可得 $x = 221.5\text{kg}/\text{hm}^2$,即氮肥施用量 $221.5\text{kg}/\text{hm}^2$ 是在目前生产条件下,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 $7379.6\text{kg}/\text{hm}^2$ 。

2.4.2 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 元/kg 计,氮肥(纯氮)按 5.40 元/kg (1997 年市场价),边际

3 讨论

利用农业技术经济学的边际收益分析原理,可求得水稻经济效益最佳的施肥量(X_1)和产量(Y_1),利用环境经济学的 Coase 原理可求得水稻产量和生态效益兼顾的施肥量(X_2)与产量(Y_2), $X_1 - X_2$ 即为生产、经济、生态三效益兼顾的适宜施肥量,相应的产量($Y_1 - Y_2$)即为三效益兼顾的适宜产量。根据此方法计算得出,221.6 ~ 261kg/hm²为苏南太湖流域当前生产条件和技术条件下水稻生产、生态和经济效益兼顾的适宜氮肥用量,相应的产量为7379.6 ~ 7548.6kg/hm²。如果考虑到施肥间产量差异的不显著性,可选择221.6 ~ 261kg/hm²的下限为目前水稻生产、生态和经济效益兼顾的适宜氮肥用量。这和一些学者的研究结果相似^[2,4]。当然,三效益兼顾的适宜施肥量也不是固定的,它会随着生产条件和技术条件的改变而发生变化;或受市场价格的影响,即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。

参考文献

- [1] 陈荣业,李秀廷,李阿秀.苏州高产稻区氮肥的经济使用.土壤学报,1983,20(4):373~385.
- [2] 李伟波,吴留松,廖海秋.太湖地区高产稻田氮肥使用与作物吸收利用的研究.土壤学报,1997,34(1):67~72.
- [3] 程序.持续农业导论.北京:农业出版社,1997.235~263.
- [4] 张绍林,朱兆良,徐银华.关于太湖地区稻、麦上氮肥的适宜用量.土壤,1988(1):5~9.

