第 40 卷 第 5 期
2003 年 9 月

土 壤 学 报
ACTA PEDOLOGICA SINICA

Vol. 40, No. 5
Sep., 2003

浙中水稻生长适宜施氮量研究*

傅庆林
(浙江省农业科学院土壤肥料研究所, 杭州 310021)
陈英旭 俞劲炎
(浙江大学环境与资源学院, 杭州 310029)

STUDY ON SATISFACTORY AMOUNT OF NITROGEN FERTILIZER APPLIED ON RICE IN THE MIDDLE AREA OF ZHEJIANG PROVINCE

Fu Qing-lin
(*Institute of Soil and Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China*)
Chen Ying-xu Yu Jin-yan
(*College of Environmental and Natural Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China*)

关键词 水稻, 氮素, 生态经济产量, 模型
中图分类号 S143.1

氮肥对作物增产作用巨大, 但如果氮肥用量过大, 则不仅增产效果甚微, 而且造成氮素流失, 并导致环境污染[1~3]。目前浙江省耕地 238 万 hm^2[4], 平均年氮肥用量(N) 300 kg hm^{-2}, 每年纯氮流失总量达 19.93×10^7 kg(折合标氮 100×10^7 kg)(1)。本文利用水稻生长模拟优化施肥[5]、农业技术经济学的边际收益分析和环境经济学原理[6], 研究水稻氮素的适宜施用量, 以期指导当前浙江中部地区的水稻生产。

1 试验概况与试验方法

试验在浙江东阳进行, 年平均气温 17.9℃, 年降雨量 1 330 mm。试验田土壤为酸性紫泥砂水稻土, 其土壤有机质、全氮、碱解氮和 pH 分别为 29.5 g kg^{-1}、1.70 g kg^{-1}、128 mg kg^{-1}和 6.0, 粘粒含量 25.8%, 砂粒含量 39.7%。

设 6 个氮素用量处理(N): 0、50、100、150、180、225、300 kg hm^{-2}, 分析水稻生产效益时增设 400 kg hm^{-2}处理, 氮肥为尿素, 小区面积 30 m^2, 每小区内设一个面积 1 m^2、土层深 1 m 的渗漏槽, 随机排列, 3 次重复。钙镁磷肥(P_2O_5) 40 kg hm^{-2}和氯化钾(K_2O) 60 kg hm^{-2}作基肥一次施入。水稻品种为协优 48, 移栽后每隔 7 d 取一次植株样品, 5 点取样, 定点 12 丛调查分蘖动态。植株样品经清洗后, 置 105℃烘箱杀青 15 min, 然后在 80℃下烘干, 分别测定根、茎、叶、穗干重和氮含量。水稻移栽后在渗漏槽中每天收集 1m 深处土层渗漏水, 淹水期日漏水量平均为 4 mm。

田间原状土柱渗漏槽每天直接收集观测排水、径流、渗漏水, 用重量差减法测定土壤蒸发量; 用硫酸消化法测定植株氮, 用 1∶5 土水比测定土壤 pH 值, 土壤氮和有机质分别采用康维皿扩散法和重铬酸钾

* 国家重大基础项目"973"(2002CB410807)、农业部"九五"重点项目"高新技术与基础研究"、浙江省"九五"、"十五"重大科技项目(961102222、011102474)和浙江省自然科学基金项目资助
收稿日期: 2002-03-17; 收到修改稿日期: 2002-12-01

(1) 根据 2001 年浙江省统计局数据

消化法测定,水中 NO_3^--N 用THYMOL 法、NH_4^+-N 用靛酚蓝法测定[2,3,7]; 用气体通量法直接测定硝化-反硝化损失氮量[8]。水稻生长模拟优化施氮肥根据氮肥管理模型 MANAGE-N[5,9]。

2 试验结果与分析

2.1 施氮量与水稻产量关系

不同施氮水平对水稻生长发育的影响最终反映了水稻产量的变化,如图 1 所示,在一定范围内(N 0~ 180 kg hm^{-2}),随着施氮量增加产量增加,水稻产量与氮素用量呈显著相关,$y = -0.071\ 8x^2 + 28.769x + 4\ 219$($R^2 = 0.862\ 9$, $n = 6$)。由表 1 可知,不施氮肥的水稻产量显著低于施氮量大于 100 kg hm^{-2}的处理;施氮量 180 kg hm^{-2}的处理产量最高,主要是增加了有效穗和每穗实粒数所致;当施氮量超过 180 kg hm^{-2}处理后,虽然增加了有效穗和总茎蘖数,但每穗实粒数和千粒重下降了,因而其产量也不高。

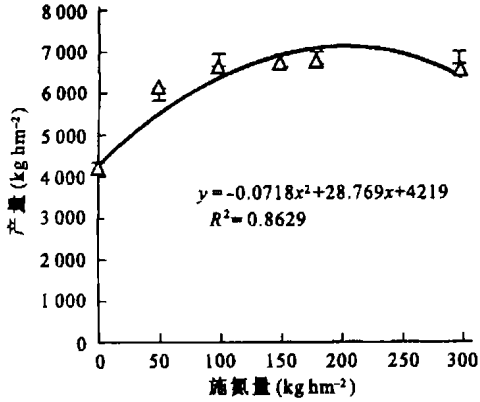

图 1 不同施氮量水稻产量

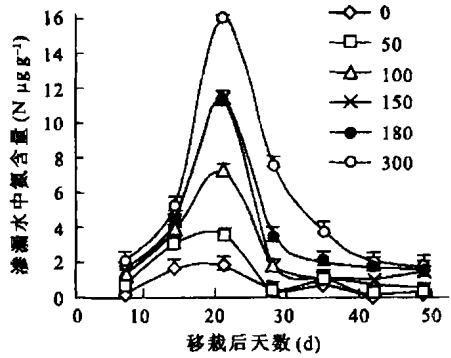

图 2 土壤氮的渗漏损失

表 1 氮素营养与水稻产量

处理(N kg hm^{-2})	有效穗($\times 10^6$穗 hm^{-2})	千粒重(g)	产量(kg hm^{-2})
0	3.17	28.1	5 275.3 e[1)]
50	3.46	27.8	5 825.3 d
100	3.59	27.7	6 200.3 c
150	3.86	27.6	6 733.7 b
180	3.92	27.6	6 919.4 a
300	3.92	27.0	6 733.7 b

1) 不同英文字母表示差异达 5% 显著水平

2.2 不同施氮量对土壤氮素渗漏淋失的影响

水稻移栽后 49 d 内不同施氮量的 1 m 土层渗漏水氮含量测定结果如图 2,渗漏损失的氮含量随施氮量增加而增大,并且在移栽 20 d 左右各处理的渗漏水中氮浓度最大,渗漏水中氮浓度与水稻移栽后淹水天数呈正态分布趋势。图 3 显示了水稻生态系统土壤氮素渗漏淋失量随施氮量增加而增加,施氮量与渗漏淋失氮呈显著正相关,$y = 0\ 000\ 1x^2 + 0.003\ 8x + 2$($r = 0.998\ 2^{**}$, $n = 6$)。

2.3 水稻生长适宜施氮量

2.3.1 水稻产量和生态环境兼顾的施氮量 氮素边际产量指每增加每单位的氮素肥料所引起的产量增量。根据水稻产量与氮素用量关系 $y = -0.071\ 8x^2 + 28.769x + 4\ 219$,求导数得氮素边际产量与氮素施用量的关系为:

$$Y = -0.143\ 6x + 28.769 \tag{1}$$

氮素边际淋失量指每增加每单位的氮素肥料所引起氮素淋失的增加量。根据施氮量与渗漏淋失氮

关系 $y = 0.000\,1x^2 + 0.003\,8x + 2$, 求导得出氮素边际淋失量与氮素施用量的关系为:

$$Y = 0.000\,2x + 0.003\,8 \tag{2}$$

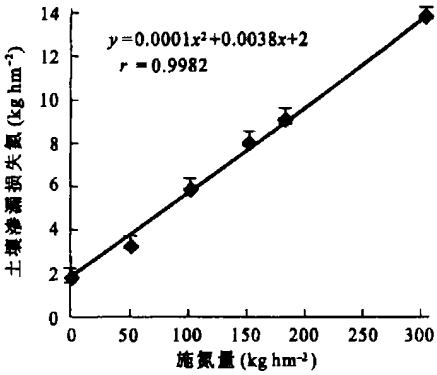

图 3　施氮量对土壤渗漏淋失氮的影响

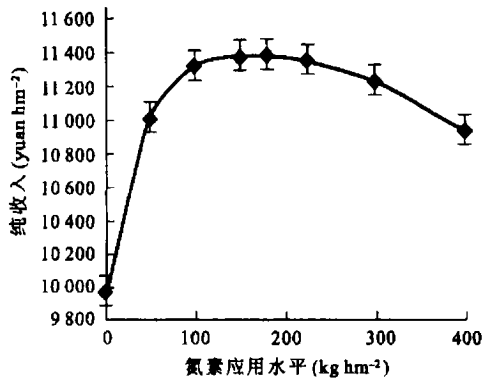

图 4　水稻生产效益

随着施氮量增加, 氮肥的边际产量迅速下降, 而氮素的边际淋失量却迅速上升。根据环境经济学 Coase 原理, 边际产量线与边际淋失量线相交点, 即为生产上合理施肥点[6], 此施肥量所对应的产量为合理产量。若超过此施肥量, 会造成环境污染加重, 若低于此施肥量, 则不能充分发挥肥料和作物的增产潜力。由(1) 和(2) 可得 $x = 200$ kg hm^{-2}, 即在浙江中部酸性紫泥砂水稻土水稻生产兼顾产量和生态环境的适宜施氮量为 200 kg hm^{-2}, 相应的水稻产量 7 101 kg hm^{-2}。

2.3.2　经济效益最佳施氮量　　试验表明, 水稻生产的经济收入(y) 与氮素施用量(x) 变化如图 4:

$$y = -0.028\,8x^2 + 13.534x + 9\,966.3 \quad (r = 0.867\,6^{**}) \tag{3}$$

当边际收益和边际成本相等时, 经济效益最高。如果按 2000 年市场价计算, 水稻 1 元 kg^{-1}, 氮肥(纯氮) 5.4 元 kg^{-1}, 则边际成本 $Y = 5.4$ 元, 由关系式(3) 导出边际收益生产函数为:

$$Y = -0.057\,6x + 13.534 \tag{4}$$

把边际成本代入式(4), 可得 $x = 141$ kg hm^{-2}, 即当施氮量为 141 kg hm^{-2}时, 经济效益最佳, 这时产量为 6 848 kg hm^{-2}。

由水稻产量和生态兼顾的施氮量研究可知, 当施氮量 N 小于 200 kg hm^{-2}时不产生氮严重渗漏污染问题; 结合经济效益, 当施氮量 N 为 141 kg hm^{-2}时, 不发生 N 的严重渗漏污染而此时经济效益最佳。因此, 兼顾水稻产量、经济和生态的综合效益, 既不产生氮肥的生态环境污染, 又尽量使水稻的经济效益较佳, 施氮量 N 为 141~ 200 kg hm^{-2}是目前生产条件下, 浙江中部酸性紫泥砂水稻土地区比较合理的氮施用量范围, 相应的生态经济适宜产量范围为 6 848~ 7 101 kg hm^{-2}。

2.4　氮肥的优化方案与验证

利用氮肥管理模型 MANAGE-N[5,9], 得出氮肥各氮素施用水平的优化方案如表 2。通过 2000~ 2001 年的验证试验, 结果表明, 水稻产量的模拟值(y) 与实测值(x) 达到显著正相关, 其线性方程为 $y = 1.073\,4x - 458.03$, $r = 0.992\,7^{**}$ ($n = 5$)。在低氮用量下, 水稻产量的模拟值比实测值稍低, 相对误差 $-3.6\% \sim -2.6\%$; 而在氮用量较高(大于 100 kg hm^{-2}) 情况下, 水稻产量的模拟值比实测值稍高, 其相对误差为 1.1%~ 2.9%。

表 2　水稻施氮的优化方案

处理(N kg hm^{-2})	移栽后天数(d)	比　例
150	0, 14, 21, 28	0.4∶0.3∶0.15∶0.15
180	0, 14, 21, 28	0.4∶0.3∶0.15∶0.15
300	0, 21, 35, 45	0.2∶0.31∶0.28∶0.21

结合2000年田间试验结果,施氮量N 180 kg hm^{-2}水稻产量最高,2001年在验证氮素优化方案的同时,进行了水稻N180 kg hm^{-2}优化施氮与当地农民常规施氮N180和300 kg hm^{-2}(分别于移栽后0、7和21 d按0.6 0.15 0.25施入)的比较研究。结果表明,优化施氮N 180 kg hm^{-2}(在移栽后0、14、21和28 d,分别施入N 72、54、27和27 kg hm^{-2})的水稻产量为6 919 kg hm^{-2},而常规施氮N180 kg hm^{-2}(分别于移栽后0、7和21 d,施入N 108、27和54 kg hm^{-2})的产量为6 198 kg hm^{-2},常规施氮N 300 kg hm^{-2}(分别于移栽后0、7和21d,施入N 135、33.8和56 kg hm^{-2})的产量为6 386 kg hm^{-2}。这样,水稻氮素优化管理模拟模型推荐的优化施氮N 180 kg hm^{-2}的产量比当地常规施肥(N 180和300 kg hm^{-2})分别增产12%和8%。

参考文献

1. 崔玉亭,程序,韩纯儒,等. 苏南太湖流域水稻经济生态适宜施氮量研究. 生态学报,2000,20(4):659~662
2. 傅庆林,俞劲炎,王兆骞. 易旱农田生态系统养分循环的研究. 应用生态学报,1993,4(2):146~149
3. 傅庆林,俞劲炎,王建红. 氮素营养对杂交稻518的氮素吸收、贮运和利用影响. 浙江农业学报,1999,11(4):174~177
4. 吴章荣,俞震豫. 浙江土壤. 杭州:浙江科学技术出版社,1994. 487
5. Riethoven J J M, Ten Berge H F M, Drenth H. SARP Research Proceedings-Software Developments in the SARP Project: A Guide to Applications and Tools. Wageningen: Grafisch Service Centrum van gils B V, 1995. 75~144
6. 程序. 持续农业导论. 北京:农业出版社,1997. 235~263
7. 王胜佳. 施用氮肥对水田土壤氮素淋溶损失影响的研究. 见:中国土壤学会编. 迈向21世纪的土壤科学. 北京:中国环境科学出版社,1999. 252~256
8. 朱兆良. 关于土壤氮素研究的几个问题. 见:中国土壤学会编. 迈向21世纪的土壤科学. 北京:中国环境科学出版社,1999. 58~62
9. Ten Berge H F M, Thiyagarajan T M, Shi Q H. Numerical optimization of nitrogen application to rice. Part I. Description of MANAGE-N. Field Crops Research, 1997, 51:29~42

欢迎订阅2004年《土壤学报》

《土壤学报》是中国土壤学会主办、中国科学院南京土壤研究所承办、科学出版社出版的学术性期刊,主要刊登土壤科学各分支学科及相关领域(如植物营养科学、肥料科学、环境科学、国土资源和农业可持续发展等领域)的最新研究成果,包括学术论文、研究简报、综术与专论、问题讨论等。读者对象主要为土壤及相关学科的科技人员、高等院校师生和管理干部等。

《土壤学报》2004年改版为大16开,160页,双月刊,国内外公开发行。国内统一刊号:CN 32-1119/P,国际杆准刊号:ISSN 0564-3929,国内邮发代号:2-560,国外邮发代号:BM 45,每期定价:36.00元,全年定价:216.00元。全国各邮电局均可订购。

经改版的《土壤学报》将以全新的面貌呈献给广大读者,欢迎订购。

通讯地址:210008 南京市北京东路71号 中国科学院南京土壤研究所《土壤学报》编辑部

网 址:http://trxb.periodicals.net.cn; http://trxb.chinajournal.net.cn

E-maill: actapedo@issas.ac.cn; yguo@issas.ac; jfqian@issas.ac.cn; wangzs@issas.ac.cn

电 话:025-6881237