

# 太湖地区高产稻田氮肥施用与 作物吸收利用的研究\*

李伟波 吴留松 廖海秋

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

## 摘 要

本文讨论长期高量偏施氮素化肥的高产稻田氮肥施用与作物产量、作物对养分吸收利用之间的关系。研究表明: 化学氮肥施用量(养分量, 下同)300kg/ha·yr., 作物增产显著, 每公斤氮增产13.5kg粮食, 氮素利用率达40.3%, 省肥、经济、合理; 施用量达450kg/ha·yr., 作物产量增长甚微; 施用量达600kg/ha·yr., 每公斤氮只增产7.29kg粮食, 氮肥利用率降至17.2%, 水稻茎秆中含氮量大大幅度增加, 空秕率上升, 千粒重下降, 产量降低。

太湖地区高产稻田目前稻麦产量为10—12t/ha水平时, 氮素化肥施用量平均控制在375kg/ha·yr.左右为宜。与大面积生产相比, 可节省氮肥20—30%。

**关键词** 高产稻田, 养分吸收, 氮肥利用率

随着乡镇工业的发展和城乡一体化进程的加快, 我国太湖平原大面积高肥力稻田长期坚持的“草塘泥+化肥”有机无机配合施肥制度已在生产上消失。取而代之的是施用大量化学肥料, 尤其是氮素化肥的施用量急剧增加, 形成“无机化高氮化”的施肥格局。1978年苏州地区耕地氮素的年均投入量已达311kg/ha, 其中化肥氮246kg/ha, 占79%; 有机肥料氮65kg/ha, 占21%<sup>[1]</sup>。1982年太湖地区平均年施化肥氮达到395kg/ha<sup>[2]</sup>。进入90年代耕地每年施化肥氮量已达520kg/ha<sup>[3]</sup>。同时磷肥已在大面积生产上普遍应用, 由一季施(麦或油菜)变为两季(稻、麦)同时施用, 年施量( $P_2O_5$ )已增至75—100kg/ha左右, 并开始推广应用化学钾肥和生物钾肥。

多年生产实践证明: 在“无机化高氮化”施肥条件下, 并没有显著提高稻麦单产与经济效益。相反, 生产成本增高, 产投比下降, 土壤有机质和营养元素的不平衡状况加剧, 土壤的养分供应能力降低, 河湖水域富营养化日趋严重等生态环境问题相继出现, 一定程度上制约了生产效益的提高和农村生态环境的改善。

对本区氮素化肥的施用问题, 曾有许多学者做过大量研究工作, 共同结论是: 高产稻田稻麦两季氮素化肥的年施用量270—330kg/ha增产显著, 经济效益较高<sup>[4,5,6]</sup>。显然这个结果只相当于目前生产上实际用量的60%左右。

\* 本项工作是中科院“八五”重点课题Z084号的研究内容之一。

收稿日期: 1995-11-09; 收到修改稿日期: 1996-07-01

针对目前大面积生产上氮素化肥用量急剧增加的现状,为了探索新的施肥制度下氮素化肥的合理施用问题,作者在“八五”期间开展了不同氮素水平下高产稻田养分平衡的田间试验研究工作,现将部分结果总结如下。

## 1 研究方法与设计

试验在同一田块连续进行三季,90年一季水稻,90—91年小麦、水稻各一季。地点在南京土壤研究所常熟农业生态试验站。土壤属太湖平原圩区乌栅土。正常年景稻麦两熟总产在10—12t/ha上下。土壤基本性状如下:

土壤有机质含量33.8g/kg, pH7.85(土:水=1:2.5), 全量氮、磷(P)、钾(K)含量分别为1.96g/kg, 0.67g/kg, 16.85g/kg。土壤机械组成: <0.001mm 粒级为243g/kg, <0.01mm 粒级为538g/kg。

试验小区面积20m<sup>2</sup>。氮素化肥施用水分最高、高、中、低四个档次,共五个处理:

- (1) N0 为无肥对照区: 不施任何 N、P、K 肥料;
- (2) N5 为低氮区: 每季施化肥氮 75kg/ha;
- (3) N10 为中氮区: 每季施化肥氮 150kg/ha;
- (4) N15 为高氮区: 每季施化肥氮 225kg/ha;
- (5) N20 为最高氮区: 每季施化肥氮 300kg/ha。

四次重复,随机排列。除 N0 处理区外,其他各处理每季施磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)54kg/ha,钾肥(K<sub>2</sub>O)67.5kg/ha,以基肥形式,插秧或播种前一次施入。各处理均不施有机肥料。化肥氮为尿素,60%作基肥,与磷钾肥同时施用,水稻插秧前一寸水层撒施后耙入土层混匀;小麦人工浅翻后施肥,打碎土块搂平播种。40%作追肥,土表均匀撒施,水稻7月2日分蘖肥占40%,7月24日拔节肥占60%;小麦2月9日越冬肥占20%,3月6日返青肥占30%,3月27日拔节肥占50%。稻麦品种:秀水04和扬麦5号。单排单灌。小区收获单收单打。

## 2 结果与讨论

### 2.1 氮肥施用与作物产量

表1为不同氮素水平下各季作物平均产量和总产量。结果表明:

(1) 作物的产量水平在一定的范围内与施氮量呈正相关,但超过某一界限,这种相关性就消失。氮肥用量在N10水平以下,作物产量随施肥量增加而增加,当超过N10施水平时,随着施肥量继续加大作物产量或增长缓慢或呈下降趋势。这种趋势水稻比小麦表现明显。

(2) 不同季别氮肥的增产作用有所不同。麦作条件下,最高施氮量N20处理仍具有一定的增产作用,增产率比N15处理高11个百分点,表现出更强的耐肥特性。两季稻作既有别于麦作,稻作之间亦有所不同。1991年水稻产量,低于N10处理区氮素水平,增产作用十分明显;N10至N15用量范围内增产幅度明显减弱;N15至N20之间水稻产量已开始下降。而1990年无论何种施肥处理与无肥区N0相比,水稻产量均无显著的增产作用,出现施氮微效或无效现象。高家骅等在研究本区高产的黄泥土的供氮特

表 1 氮肥施用量对作物产量的影响 (kg / ha)  
Table 1 Effect of N fertilizer application rates on crop yields

处理 Treatment	1990		1991		1991		1990 — 1991	
	水稻 Rice	增产 Increase (%)	小麦 Wheat	增产 Increase (%)	水稻 Rice	增产 Increase (%)	总产 Total yield	增产 Increase (%)
N0	7239	0	1269	0	4758	0	13266	0
N5	7653	5.7	2163	70.4	7055	48.3	16871	27.2
N10	7704	6.4	2807	121.2	8871	86.4	19382	46.1
N15	7351	1.6	3281	158.5	9303	95.5	19935	50.3
N20	7349	1.5	3422	169.6	9057	90.4	19828	49.5

性时<sup>[7]</sup>也发现了类似现象。说明太湖地区长期培育的高产土壤具有较高的供氮能力, 即使没有人工施氮调控, 仍能满足作物相当高的氮素需求水平。但它的普遍性和供氮机理尚待进一步研究。

(3) 在正常施肥条件下, 作物产量的年际变化。1990 年和 1991 年两季稻作品种一致, 施肥条件相同, 4 个施肥处理区的平均产量分别为 7514kg / ha, 8571kg / ha, 相差 14.1%。这种年际间的产量差异表明在评价土壤生产力时, 应尽量采用多年定位观测资料, 以提高可靠性。

## 2.2 氮肥施用与作物对养分的吸收

分别测定籽粒和茎秆样品中 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量, 根据成熟期地上部分的生物量, 计算出籽粒和茎秆中各元素总量, 用来表示作物从土壤中吸收的养分量, 结果见表 2。

在无肥条件下作物吸收的养分量是土壤供肥特性的一个指标。表 2 中无肥区 (N0) 作物吸收养分总量 N 307.3kg / ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 178.3kg / ha, K<sub>2</sub>O 381.2kg / ha, 平均每季作物从土壤中带走 N 102.4kg / ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 59.4kg / ha, K<sub>2</sub>O 127.1kg / ha。从农田生态系统养分平衡角度看, 必须通过施肥补充相应的养分量, 保持系统养分的收支处于平衡状态, 生态系统才能持续与稳定。因此无肥区的养分吸收量是制定施肥计划的重要参数。

不同施肥处理作物吸收的养分量, 总的趋势是随施氮水平的提高而增加。籽粒中占有绝大部分氮、磷养分, 而钾主要存在于茎秆之中。以氮素为例: 籽粒中的含 N 量占整个植株含 N 量的百分数, 水稻 N5、N10、N15 三个处理区同处在 65% 水平上下; N20 处理区其籽粒部分含氮量有所下降, 茎秆部分含氮量大幅度上升, 因此籽粒部分所占的百分数明显下降, 为 56.7%, 比上述三区降低 9 个百分点。说明在高氮施肥条件下, 水稻茎秆中截留了较多的氮素养分未向籽粒部分转移, 而残留在茎秆中。致使营养体生长过旺, 收割前已有 30% 植株呈半倒伏状态。水稻空秕率增加 6 个百分点, 千粒重下降 7.5%, 平均植株高度增加 17%, 达 104cm, 比 N0 区增加 35cm, 且病虫害严重。小麦籽粒中氮素养分所含比例, 无肥区或者施肥区均为 80% 左右, 变动很小。

## 2.3 不同氮素水平下作物对氮素的利用

表 3 是不同施肥处理的氮素利用情况。表中单位产量的氮素消耗量因作物而异, 小麦高于水稻, 水稻消耗的氮量随施肥量增加而增长, N10 和 N15 处理最高, 平均达到

表 2 作物吸收养分量 (kg /ha)

Table 2 Amounts of nutrients absorbed by crop

处理 Treatment	水稻吸收量 Uptake by rice (1990, 1991)			小麦吸收量 Uptake by wheat (1991)			吸收总量 Total amount absorbed (1990, 1991)		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
	N0 籽粒	199.63	121.77	78.46	27.60	12.30	6.90	227.23	134.07
N0 茎秆	73.80	42.15	280.50	6.30	2.10	15.30	80.10	44.25	295.80
N5 籽粒	256.50	120.60	98.70	46.95	20.85	11.70	303.45	141.45	110.40
N5 茎秆	142.95	49.35	353.10	10.80	3.45	26.10	153.75	52.80	379.20
N10 籽粒	335.10	143.55	111.60	69.90	27.15	15.15	405.0	170.7	126.75
N10 茎秆	177.0	91.35	404.40	13.95	4.50	33.75	190.95	95.85	438.15
N15 籽粒	343.20	149.10	125.55	77.25	31.65	17.70	420.45	180.75	143.25
N15 茎秆	179.25	79.95	395.85	18.35	5.25	39.45	197.60	85.20	435.30
N20 籽粒	297.90	120.30	108.75	80.65	32.25	17.85	378.55	152.55	126.60
N20 茎秆	227.25	85.80	429.30	19.95	5.55	41.25	247.20	91.35	470.55

2.04kg N /100kg, 随后开始下降; N20 处理虽然施入的氮量比前两处理高得多, 但其单位产量的耗氮量降低为 1.82kg N /100kg, 下降 11%。小麦的耗氮量, N10、N15、N20 三个处理尽管施肥量不同, 但其差异较小, 平均变动在 2.4kg N /100kg 上下。表明, 作物的氮素有效利用受氮肥施用的影响水稻比小麦大。

单位氮量的增产量与施肥量呈显著负相关。其直线相关方程:

$$Y = 19.17 - 0.013X, r = 0.997^{**}, \text{达到 } 1\% \text{ 显著性标准。}$$

Y 为每公斤氮增产粮食(kg), X 为施肥量。N20 处理每公斤氮仅增产 7.29kg 粮食, 比 N10 处理下降 46%, 大大降低氮肥的增产效果, 其施肥的经济效益差。

氮肥利用率 N5 处理为 35.4%, N10 处理上升为 40.3%, 然后依施肥量增加逐步递减, N15 处理为 29.1%, N20 处理为 17.1%。因此在高氮施肥条件下, 利用率只及中氮区的 1/3 ~ 1/2。大量的氮素化肥未被作物吸收利用, 造成人力物力财力巨大浪费并恶化农田生态环境。

对试验期间田面水样的检测表明: 施肥对田面水中 NH<sub>4</sub>-N 含量有较大的影响(表 4)。追肥 6 天后测得的田面水中 NH<sub>4</sub>-N 含量与氮肥施用量具有一定的正相关性( $r = 0.920^*$ , 达到 5% 显著性标准)。随着施肥量增加, 相邻施肥小区之间水样中 NH<sub>4</sub>-N 含量的上升幅度也随着增加。N10 区比 N5 区增长 21%; N15 区与 N10 区相比增长 45.9%; N20 区比 N15 区又提高 93.7%。朱兆良等指出, 施肥后氮素的表面挥发损失,

表 3 作物对氮素的利用 (kg)

Table 3 Utilization of N by crops

处理 Treatment	每 100kg 稻谷 需消耗的氮 Consumption of N for per 100kg rice	每 100kg 小麦 需消耗的氮 Consumption of N for per 100kg wheat	每公斤氮 素增产量 Grain increased by per kg N	氮素利用率 (%) Utilization rate of nitrogen
N0	1.69	2.17	/	/
N5	1.74	2.17	16.02	35.4
N10	2.02	2.49	13.59	40.3
N15	2.06	2.35	9.88	29.1
N20	1.82	2.36	7.29	17.2

表 4 稻田田面水  $\text{NH}_4\text{-N}$  平均含量Table 4 Mean contents of  $\text{NH}_4\text{-N}$  in floodwater during the period of rice growth

处理 Treatment	pH	$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg /kg)	相邻处理小区比较(%) Comparison between adjacent test treatment
N0	7.6	1.53±0.02 (n=2)	—
N5	7.5	2.72±1.49 (n=4)	—
N10	7.6	3.29±1.92 (n=4)	+21.0
N15	7.7	4.80±1.44 (n=3)	+45.9
N20	7.6	9.47±3.59 (n=4)	+93.7
灌溉水	7.6	1.09±0.03 (n=2)	

注: 6月16日插秧, 7月2日追施尿素, 7月8日采样。

与田面水氨分压有关<sup>[8]</sup>, 田面水  $\text{NH}_4\text{-N}$  浓度越高, 氨分压增大, 氮素的损失量上升。所以, 高氮施肥处理 N15、N20 的氮素损失增大是必然的。这就是造成它们氮肥利用率大幅度下降的主要原因之一。

### 3 结 语

通过以上研究, 对多年不施有机肥料, 靠大量增施氮素化肥维持稻麦高产的乌栅土, 从施肥量与产量的关系和作物对氮素吸收利用的影响看, 适宜的氮肥施用量, 水稻为 150kg /ha; 小麦因其耐肥特性高于水稻, 适宜施量可稍为增加, 最高不宜超过 225kg /ha, 稻麦两熟制, 年施氮量在 375kg /ha 范围内比较经济有效。在高氮施肥条件下(年施用量大于 450kg /ha, 如 N15、N20 处理), 氮素的利用率大幅下降, 只及中氮区的 1/3 ~ 1/2, 作物营养体内积存大量的氮素, 其农艺性状变劣, 病虫害加重, 产量与品质均受到一定影响。

目前本区大面积生产上氮素化肥用量居高不下,偏施氮肥现象仍有增长势头。有机肥料在大面积生产上消失后,适当增加化肥用量是必需的。但是在土地分散经营下存在盲目性和攀比心理,把增施大量氮肥当作提高粮食产量的唯一措施,年年加码,欲罢不能;或者施肥方法不当,氮素随水流失,降低肥效。就全国而言,增加氮肥用量是保证农业增产的重要措施,但就太湖平原高产稻田来说,合理施肥,控制氮肥用量,提高氮肥利用率,是农业可持续发展中急需注意的重要问题。氮肥有效施用还必须改进施肥方法,坚持“节氮控磷增钾”协调供应的原则。同时加强科普宣传,做到因地制宜合理分配和施用氮肥,节氮高产是可以实现的。

### 参 考 文 献

1. 蔡贵信,朱兆良,1983:太湖地区水稻土的氮素供应和氮肥的合理施用。土壤,第15卷6期,203—204页。
2. 朱兆良,张绍林,徐银华,1986:平均施氮量的含义。土壤,第18卷6期,316—317页。
3. 徐心慰,1994:太仓市化肥投入使用状况的几个问题。上海农业科技,第4期,29页。
4. 张绍林,朱兆良,徐银华,1988:关于太湖地区稻麦上氮肥的适宜用量。土壤,第20卷1期,5—9页。
5. 潘遵谱,许文元,万传斌,1984:单季晚稻氮肥肥效和适宜用量。江苏农业科学,第12期,1—4页。
6. 万传斌,尤德敏,潘遵谱,1982:小麦氮肥的用量和用法。江苏农业科学,第7期,1—6页。
7. 高家骅,黄东迈,吴敬民等,1982:太湖平田地区黄泥土、白土供氮特性研究。江苏农业科学,第7期,33—38页。
8. 朱兆良,张绍林,蔡贵信等,1989:石灰性稻田土壤上化肥氮损失的研究。土壤学报,第26卷4期,337—343页。

## APPLICATION AND CROP RECOVERY OF N-FERTILIZER IN HIGH-YIELDING PADDY FIELDS OF TAIHU REGION

Li Weibo Wu Liusong and Liao Haiqiu

*(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008)*

### Summary

Currently, in the Taihu region, the application of N fertilizer in the high-yielding paddy fields of ricewheat double cropping system averages around 520kg N per hectare per year. Experiments for years showed that N fertilization at a rate of 300kg N per hectare per year increased the crop yield significantly by 13.5kg of grain per kg of N applied, with the N recovery rate reaching 40.3%; but the increase was not significant at a rate of 450kg N, and 7.29kg of grain was increased by per kg of N applied with the N recovery rate dropping to 17.2% at a rate of 600kg N per hectare per year. In the last case, the N content in rice straws and sterility grain rate went up while the thousand-grain weight and the yield declined. Consequently, at the current yield level of 10-12 ton per hectare on the high yielding paddy field, the N fertilization rate was recommended to be at 375kg N per hectare per year, which could save 20-30% N-fertilizer as compared with the rate for large-area production.

**Key words** High-yielding paddy field, Nutrient uptake, Utilization rate of nitrogen