

苏州高产稻区氮肥的经济施用

陈荣业 孙秀廷 李阿荣

(中国科学院南京土壤研究所)

潘遵谱 陈全武 惠茂新

(江苏省苏州地区农业科学研究所)

苏州地区是我国有名的农业集约地区之一,一年二熟或三熟,每熟作物施用氮肥的次数多,数量大,估计每季水稻的氮肥施用量按纯氮计一般超过每亩20斤。所施入的氮肥,据 ^{15}N 标记的氮肥去向研究结果^[11],损失达30—70%。常年如此大量的施用氮肥加上如此严重的损失,不能不影响到农业的增产增收,对该地区的农田生态系统也可能是个潜在威胁,值得重视并设法加以改进。

从理论上说,要使氮肥发挥最大的增产效果,必须要使肥料氮素的损失减至最小,同时要使肥料氮素的供应过程与土壤的养分状况协调,共同满足作物生长发育各阶段的最适需要量。在这方面,施肥方法的改进可以起到相当重要的作用。例如,将氮肥表施改为深施^[8,10],将粉肥深施改为粒肥深施^[1,6,9,12,13],以及根据作物需氮和土壤供氮的特性,相应选择适宜的施肥时期和施用量等^[2,3,14,15],都证实是减少肥料氮素损失,提高肥料氮素利用率和增产效果的有效措施。

本文针对苏州地区高产稻作中一般氮肥用量高,损失大的情况,着重研究通过深施,特别是粒肥深施和改进施肥方法节约氮肥用量的增产效果,以及不同施肥方法下水稻对肥料和土壤氮素的利用情况。并在研究结果的基础上,对该地区长年大量施用氮肥可能出现的问题,提出一些改进意见。

一、试验设计和方法

试验分为田间小区试验和 ^{15}N 微区试验,小区面积为0.036亩,微区面积约万分之一亩,均重复4次,在双季稻和单季晚稻上按随机区组排列布置,供试氮肥均用尿素。

(一) 双季稻田田间小区试验

在无锡县新安公社曙光大队何家里生产队的中等肥力的黄泥土上进行。试验田表土pH5.5,有机质2.50%,全氮0.139%。试验处理分:(1)不施尿素氮肥区,施用一般数量的有机肥和磷肥作底肥;(2)分次施肥区,在底肥的基础上,再分次施用尿素氮肥,其用量和时间约按目前苏州地区一般生产单位的施肥情况进行;(3)粉肥深施区,比分次施肥区适当减少一些氮肥,绝大部分集中在整地时全层混施,通称“中层肥”,小部分在栽秧前浅层混施,通称“耙面肥”;(4)粒肥深施区,肥料用量与粉肥深施同,所用粒肥由TDP型冲压机压制,每粒重约0.75克,在整地后,插秧前用人工点施,粒距约 6×6 寸,入土

表 1 双季稻田间小区试验各处理的施肥情况 (N 量斤/亩)

Table 1 Nitrogen fertilizer (urea) treatments for the field experiments (N jin/mu)

施肥期和 施肥方法 Time and method of appli- cation	前季稻* (广陆矮 4 号) Early rice (Guang-lu-ai No.4)					后季稻** (广陆矮 4 号) Late rice (Guang-lu-ai No.4)			
	全耕层 混施 (5月 20日)	浅层混施 或点施 (5月 20日)	分 蘖 肥 (5月 27日)	穗 肥 (6月 21日)	合计	全耕层 混施 (8月 1日)	浅层混施 或点施 (8月 1日)	分 蘖 肥 (8月 6日)	合计
处理 Treatment	Whole layer incorpora- tion at ploughing time (May 20)	Shallow layer incorpora- tion or point placement before transplan- ting (May 20)	Top- dressing at tillering stage (May 27)	Top- dressing at panicle initiation stage (June 21)	Total	Whole layer incorpora- tion at ploughing time (August 1)	Shallow layer incorpora- tion or point placement before transplan- ting (August 1)	Top- dressing at tillering stage (August 6)	Total
不施氮肥 No N	0	0	0	0	0	0	0	0	0
分次施肥 Split application	0	7.9	7.9	3.1	18.9	0	7.9	7.9	15.8
粉肥深施 Powder, deep application	10.0	2.0	0	0	12.0	10.0	2.0	0	12.0
粒肥深施 Supergranule, deep application	0	12.0	0	0	12.0	0	12.0	0	12.0

* 前季稻施猪粪 27.8 担/亩, 过磷酸钙 40.3 斤/亩作底肥。

27.8×100 jin of pig stable manure and 40.3 jin of superphosphate per mu were used as basal fertilizers for the early rice.

** 后季稻施猪粪 27.8 担/亩作底肥。

Only 27.8×100 jin of pig stable manure per mu were used as basal fertilizer for the later rice.

深度 2 寸左右, 各处理详情见表 1。

前、后季稻供试品种均为“广陆矮 4 号”。前季稻于 1979 年 5 月 21 日插秧, 株行距 2.7×4.5 寸, 7 月 29 日收获。前季稻收获后, 各小区用钉锄耕翻耙平后, 进行后季稻试验, 后季稻于 8 月 1 日栽秧, 株行距 3×4.5 寸, 10 月 24 日收获。

(二) 单季晚稻田间小区试验¹⁾

在苏州地区农科所内进行。试验田为肥力较高的黄泥土, 其表土 pH5.9, 有机质 2.58%, 全氮 0.151%。试验处理有: (1) 不施氮肥区, 亩施过磷酸钙 40 斤和氯化钾 20 斤作底肥; (2) 分次施肥区, 在底肥的基础上, 分次施用氮肥, 总用量为 15 斤 N/亩, 其中基肥、分蘖肥和穗肥各 1/3; (3) 粒肥深施区, 在栽秧前用人工点施, 用量 15 斤 N/亩, 所用粒肥与双季稻试验相同。供试水稻品种为“苏梗 2 号”, 6 月 17 日插秧, 株行距 3×5.5 寸, 11 月 4 日收获。

(三) 双季稻和单季晚稻的 ¹⁵N 微区试验

微区试验与小区试验是在同一块田上同时布置。其处理也与小区试验的处理相同, 未设不施氮肥的对照, 每次施肥都用 ¹⁵N 标记尿素分别作了交叉标记, 用量与小区试验大体上相仿 (表 2)。微区是用直径 30 厘米的无底塑料圆筒嵌入土中做成, 每筒植稻 4 穴。粒肥处理是施在筒中心约 6 厘米深处。所

1) 此试验主要目的是比较几种长效肥在稻—麦轮作下的增产效应, 这里叙述的三个处理在试验中主要用作不同长效肥处理的对照。有关长效肥的试验结果将另文总结。

表 2 ¹⁵N 微区试验各处理的施肥情况 (N 量毫克/筒)
Table 2 Fertilizer treatments for the microplot experiments using ¹⁵N-labelled urea (N mg/microplot)

处理 Treatment	双季 Double rice cropping system						单季 Single rice cropping system		
	前季稻* (广陆矮 4 号) Early rice (Guang-lu-ai No. 4)			后季稻** (广陆矮 4 号) Late rice (Guang-lu-ai No. 4)			晚稻 (松梗 2 号) Late rice (Song-geng No.2)		
	全耕层混施 (5月20日) Whole layer incorporation at ploughing time (May 20)	浅层混施或点施 (5月20日) Shallow layer incorporation or point placement before transplanting (May 20)	分蘖肥 (5月27日) Top-dressing at tillering stage (May 27)	穗肥 (6月21日) Top-dressing at panicle initiation stage (June 21)	全耕层混施 (8月1日) Whole layer incorporation at ploughing time (August 1)	浅层混施或点施 (8月1日) Shallow layer incorporation or point placement before transplanting (August 1)	分蘖肥 (8月6日) Top-dressing at tillering stage (August 6)	浅层混施或点施 (6月17日) Shallow layer incorporation or point placement before transplanting (June 17)	分蘖肥 (7月9日) Top-dressing at tillering stage (July 9)
分次施肥 Split application	0	¹⁵ N400	¹⁵ N400	¹⁵ N150	0	¹⁵ N400	¹⁵ N200	¹⁵ N200	¹⁵ N200
	0	¹⁵ N400	¹⁵ N400	¹⁵ N150	0	¹⁵ N400	¹⁵ N200	¹⁵ N200	¹⁵ N200
	0	¹⁵ N400	¹⁵ N400	¹⁵ N150	—	—	¹⁵ N200	¹⁵ N200	¹⁵ N200
粉肥深施 Powder, deep application	¹⁵ N500	¹⁵ N100	0	0	¹⁵ N500	0	—	—	—
	¹⁵ N500	¹⁵ N100	0	0	¹⁵ N500	0	—	—	—
	0	¹⁵ N600	0	0	0	0	¹⁵ N600	0	0

* 前季稻每筒施猪粪 50 克(折全氮 200 毫克),过磷酸钙 2 克(折 P₂O₅ 334 毫克)作底肥。
For early rice: 50 grams of pig stable manure (200 mg of N) and 2 grams of superphosphate (334 mg of P₂O₅) per microplot were applied as basal fertilizers

** 后季稻微区在种前季稻时就开始布置,按处理要求用普通尿素施肥,前季稻收获后,各筒施猪粪 50 克作底肥。
For late rice in the double rice cropping system: The microplots used for late rice experiments received the same fertilizer treatment in the early rice growing season as shown in the table but without labelling of all the fertilizer nitrogen applied in the early rice growing season. After harvesting of the early rice, 50grams of pig stable manure per microplot were applied as basal fertilizer for late rice.

表 3 小区试验中不同施用方法下氮肥的增产效果

Table 3 Efficiency of fertilizer-N in increasing the rice grain yield as affected by different application methods

稻 别 Cultivar	处 理 Treatment	稻谷产量 (Jin/mu) Grain yield	增 产 Increase of yield		每斤氮素增产 稻谷 (jin) Increase of grain yield per jin of fertilizer-N	肥效对比 Relative efficiency of fertilizer-N
			jin/mu	%		
前季稻 Early rice in double rice cropping system	不施氮肥 No N	661	—	—	—	—
	分次施肥 Split application	789	128	19.4	6.77	100
	粉肥深施 Powder, deep application	828	167	25.3	13.92	206
	粒肥深施 Supergranule, deep application	816	155	23.4	12.92	191
	L. S. D. 5% 1%	33 46				
后季稻 Late rice in double rice cropping system	不施氮肥 No N	583	—	—	—	—
	分次施肥 Split application	675	92	15.9	5.82	100
	粉肥深施 Powder, deep application	670	87	14.9	7.25	125
	粒肥深施 Supergranule, deep application	689	106	18.2	8.83	152
	L. S. D. 5% 1%	45 62				
前季稻 + 后季稻 Early rice + Late rice	不施氮肥 No N	1244	—	—	—	—
	分次施肥 Split application	1464	220	17.7	6.34	100
	粉肥深施 Powder, deep application	1498	254	20.4	10.58	167
	粒肥深施 Supergranule, deep application	1505	261	21.0	10.88	172
单季晚稻 Late rice in single rice cropping system	不施氮肥 No. N	1112	—	—	—	—
	分次施肥 Split application	1217	105	9.4	7.00	—
	粒肥深施 Supergranule, deep application	1143*	31	2.8	2.07	—
	L. S. D. 5% 1%	49 74				

* 抽穗后出现倒伏,影响产量。

The yield was effected by lodging.

用标记尿素的 ^{15}N 丰度为 5.47%。

小区试验和微区试验的水稻都在完熟期收获。分区计产, 然后用凯氏法分别测定各区水稻地上部的谷、草氮量。 ^{15}N 样本的全氮分析用改良凯氏法^[1]进行, ^{15}N 丰度测定由土壤质谱室承担。

二、试验结果与讨论

(一) 不同施用方法下氮肥对水稻的增产效果

冬季水稻田间小区试验的稻谷产量统计结果列于表 3。表 3 表明施用氮肥显著地提高了水稻的产量, 但不同施用方法下氮肥在各季水稻中表现的增产效果是不同的, 在前季稻中, 粒肥深施区和粉肥深施区的稻谷产量差异不大, 而它们的产量都高于分次施肥区; 在后季稻中, 氮肥区之间的产量差异不明显, 但是氮肥的增产效果比前季稻低。前、后二季水稻合计, 粒肥深施区产量最高(每亩 1505 斤), 次为粉肥深施区(每亩 1498 斤), 分次施肥区尽管施肥量较粒肥和粉肥深施区增加了约 1/3, 但亩产量只有 1464 斤。在这三种施肥方法下的氮肥, 其每斤氮素对双季稻平均增产稻谷分别为 10.88 斤、10.58 斤和 6.34 斤。粒肥深施和粉肥深施的肥效与分次施肥的相比, 分别提高了 72% 和 67%, 说明在苏州地区双季稻栽培中, 将氮肥在栽秧前深施是较为经济合理的氮肥施用方法, 既省肥又增产。

单季晚稻试验中, 对照区的稻谷产量为每亩 1112 斤, 足见此试验田土壤肥力较高。这可能是此试验氮肥增产效果较低的一个原因。同时发现, 粒肥深施区水稻抽穗后有较严重的倒伏现象, 而分次施肥区未出现倒伏, 从而导致粒肥深施区产量低于分次施肥区。

表 4 微区试验的水稻产量 (干物重克/筒)

Table 4 Rice yield in microplot experiments (dry matter gram/microplot)

处 理 Treatment	前 季 稻 Early rice in double rice cropping system		后 季 稻 Late rice in double rice cropping system		前季稻+后季稻 Early rice + Late rice		单季晚稻 Late rice in single rice cropping system	
	谷 Grain	草 Straw	谷 Grain	草 Straw	谷 Grain	草 Straw	谷 Grain	草 Straw
分次施肥 Split application	45.6	31.0	28.0	36.0	73.6	67.0	55.5	64.5
粉肥深施 Powder, deep application	40.9	28.3	28.9	37.3	69.8	65.6	—	—
粒肥深施 Supergranule, deep application	48.3	32.5	31.5	42.0	79.8	74.5	63.1	75.9
L. S. D	5% 1%		4.5 6.2				5.2 7.3	

微区试验中各施肥方法间的产量差异比在小区试验中明显得多。微区试验由于面积小, 营养空间特殊, 条件控制较严, 管理情况和大田生产有些不一致, 它的产量结果一般不能代表实际亩产, 但能很好地反映不同处理的定性趋势。从表 4 结果可见, 粒肥深施每筒的稻谷产量在所有微区试验中都最高, 它与粉肥深施或分次施肥相比, 前季稻和单季晚稻的增产达到了显著平准, 表明粒肥深施的增产效果是最高的。

表 5 小区试验中水稻地上部累积氮量及其稻谷生产效率

Table 5 Amount of nitrogen accumulated in the aerial part of rice plant and efficiency of N taken up by aerial part for grain production

稻 别 Cultivar	处 理 Treatment	累积氮量 (N jin/mu) Nitrogen amount accumulated			稻草氮量占地上 部分总氮量的% N in straw in terms of total N in the aerial part	氮素的稻谷 生产效率 (jin/N jin) Efficiency of absorbed N for grain production
		谷 Grain	草 Straw	合计 Total		
前季稻 Early rice in double rice cropping system	不施氮肥 No N	7.31	2.64	9.95	26.5	66.4
	分次施肥 Split application	10.31	3.60	13.91	25.9	56.7
	粉肥深施 Powder, deep application	10.31	3.82	14.31	26.7	57.9
	粒肥深施 Supergranule, deep application	10.79	4.42	15.21	29.0	53.6
后季稻 Late rice in double rice cropping system	不施氮肥 No N	5.90	1.94	7.84	24.7	74.4
	分次施肥 Split application	8.54	3.70	12.24	30.2	55.1
	粉肥深施 Powder, deep application	8.52	3.49	12.01	29.1	55.8
	粒肥深施 Supergranule, deep application	9.21	4.10	13.31	30.8	51.8
前季稻 + 后季稻 Early rice + Late rice	不施氮肥 No N	13.21	4.58	17.79	25.7	69.9
	分次施肥 Split application	18.85	7.30	26.15	27.9	56.0
	粉肥深施 Powder, deep application	18.83	7.31	26.14	28.0	57.3
	粒肥深施 Supergranule, deep application	20.00	8.52	28.52	29.9	52.8
单季晚稻 Late rice in single rice cropping system	不施氮肥 No N	10.00	5.83	15.83	36.8	60.4
	分次施肥 Split application	12.50	8.89	21.39	41.6	48.9
	粒肥深施 Supergranule, deep application	11.39	9.17	20.56	44.6	47.8

(二) 不同施肥方法下水稻对尿素氮和土壤氮的吸收情况

从表 5 可见,对照区(双季稻试验中对照区施有猪厩肥作底肥)水稻地上部累积氮量在前季稻、后季稻和单季晚稻中分别为 9.95、7.84 和 15.83 斤/亩,如试验田耕层表土的氮素总储量按每亩土重 30 万斤乘以全氮%计算,则它们占土壤耕层氮素总储量的比率分别为 2.99%、1.88% 和 3.79%。从表 5 还可看出,在各季水稻试验中,粒肥深施的稻草部分的氮量都比其它施肥方法高,同时稻草部分氮量占地上部总氮量的百分率似乎也大些,使其氮素的稻谷生产效率表现出稍有下降的趋势。

^{15}N 示踪技术的应用,使我们有可能对不同施肥方法下作物吸收的不同来源的氮素加以区分和定量。表 6 列出了微区试验中各季水稻地上部累积氮量以及根据 ^{15}N 分析结果计算出来的水稻总累积氮量中分别来自尿素氮和土壤氮(或土壤氮+猪粪氮)的比率和数量。从表 6 可见,试验中不同施肥方法所造成的水稻累积总氮量的差异主要在于水稻对尿素氮吸收量的不同。因为同一试验中不同施肥方法下水稻吸收来自土壤(或土壤+猪粪)部分的氮量没有显著的差异,而吸收来自尿素部分的氮量有显著的不同。需要指出,不论是双季稻还是单季晚稻,粒肥深施下其吸收的尿素氮量均最多,同时其吸收的尿素氮量占水稻总累积氮量的比率也最高,充分反映了粒肥深施具有促进作物对尿素氮素吸收的效果,这与以往碳铵粒肥的研究结果是一致的。

表 6 微区试验中水稻对肥料氮和土壤氮的吸收利用

Table 6 Utilization of the soil-N and the fertilizer-N by rice in microplot experiments

稻 别 Cultivar	处 理 Treatment	水稻地上部累积氮量 (毫克/筒) Nitrogen in the aerial part of rice plant (mg/microplot)	来自肥料氮 N from the fertilizer		来自土壤氮 N from the soil	
			毫克/筒 mg/microplot	%	毫克/筒 mg/microplot	%
前季稻 Early rice in double rice cropping system	分次施肥	1021±15	283±13	27.7	738±13	72.3
	粉肥深施	905±39	144±7	15.9	761±45	84.1
	粒肥深施	1066±47	344±15	32.3	722±47	67.7
后季稻 Late rice in double rice cropping system	分次施肥	792±15	154±5	19.4	638±15	80.6
	粉肥深施	787±17	165±6	21.0	622±13	79.0
	粒肥深施	1011±26	406±7	40.2	605±25	59.8
单季晚稻 Late rice in single rice cropping system	分次施肥	1357±49	205±8	15.1	1152±25	84.9
	粒肥深施	1559±51	294±8	18.9	1265±44	81.1

注:表中数据系 $\bar{x} \pm S\bar{x}$ 。

表 6 结果还表明,水稻总累积氮量中由土壤(或土壤+猪粪)供应的比率与尿素的施肥方法有关,它主要随不同施肥方法下水稻吸收尿素氮量的多少而变。如粒肥深施下水稻吸收的尿素氮较多,其由土壤(或土壤+猪粪)提供的氮量比率就较低。将每季水稻在不同施肥方法下由土壤(或土壤+猪粪)提供的氮量比率平均统计,在前季稻中约为 75%;在后季稻中约为 73%;在单季晚稻中约为 83%。总的看来,在苏州地区肥力一般或较高的黄泥土上,正常情况下各季水稻的氮素营养有 2/3 以上是由土壤供应的,而且单季晚稻靠土壤提供氮量的比重比双季稻还要大些。

(三) 施用方法和施用时期对肥料氮素利用率的影响

^{15}N 示踪法测定的各季水稻的肥料氮素利用率结果(表 7)表明,不同施用方法和施用时期下的肥料氮素利用率有极显著的不同。突出表现在:(1)粒肥深施下的尿素氮素利用率最高,在前季稻,后季稻和单季晚稻中分别为 57.4%, 67.7% 和 49.1%;(2)分次施肥中以用作穗肥的肥料氮素利用率最高,在前季稻和单季晚稻中分别为 64.7% 和 58.7%;

表 7 在不同施肥方法和施肥时期下水稻对肥料氮素的利用率及其在谷、草中的分配

Table 7 Utilization rate of fertilizer-¹⁵N by rice and distribution of ¹⁵N between grain and straw as affected by different methods and time of application

稻 别 Cultivar	施肥方法 Method of application	¹⁵ N 肥料的施用时期和用量 (毫克 N/亩) Time and rate applied of ¹⁵ N-labelled fertilizer (mg N/microplot)	水稻吸收的 ¹⁵ N 肥料量* (毫克 N/亩) Amount of fertilizer- ¹⁵ N absorbed by rice (mg N/microplot)			肥料 N 素 利用率 (%) Utilization rate of fertilizer-N	¹⁵ N 在水稻地上部的分配 % % distribution of ¹⁵ N		
			谷 Grain	草 Straw	合 计 Total		谷 Grain	草 Straw	
前季稻 Early rice in double rice cropping system	分次施肥 Split application	耙面肥 Basal dressing before transplanting	64.4±2.2	26.2±1.6	90.6±2.5	22.7	71.1	28.9	
		分蘖肥 Top-dressing at tillering stage	66.8±6.4	29.2±0.8	96.0±6.9	24.0	69.6	30.4	
		穗肥 Top-dressing at panicle initiation stage	73.1±3.6	23.9±1.0	97.0±4.4	64.7	75.4	24.6	
		合 计 Total	204.3	79.3	283.6	29.9	72.0	28.0	
	粉肥深施 Powder, deep application	中层肥 Basal dressing at ploughing time	500	85.6±5.9	34.6±0.5	120.2±5.8	24.0	71.2	28.8
		耙面肥 Basal dressing before transplanting	100	16.3±1.2	7.0±0.6	23.2±1.0	23.3	70.0	30.0
	合 计 Total	600	101.9	41.6	143.4	23.9	71.0	29.0	
	粒肥深施 Supergranule, deep application	600	240.3±11.8	104.3±3.4	344.6±15.0	57.4	69.7	30.3	
			L. S. D.		5%	4.0	4.0	5.5	
					1%	5.8	5.5	5.5	

		L. S. D														
		5%					1%									
后季稻 Late rice in double rice cropping system	分次施肥 Split application	400	47.8±1.6	22.6±1.3	70.4±7.4	17.6	67.9	32.1	Basal dressing before transplanting	400	47.8±1.6	22.6±1.3	70.4±7.4	17.6	67.9	32.1
		400	57.6±2.3	26.7±2.2	84.3±3.5	21.1	68.3	31.7	分蘖肥 Top-dressing at tillering stage	400	57.6±2.3	26.7±2.2	84.3±3.5	21.1	68.3	31.7
		800	105.4	49.3	154.7	19.3	68.1	31.9	合计 Total	800	105.4	49.3	154.7	19.3	68.1	31.9
	粉肥深施 Powder, deep application	500	102.1±2.5	40.7±2.1	142.9±4.1	28.6	71.5	28.5	中层肥 Basal dressing at ploughing time	500	102.1±2.5	40.7±2.1	142.9±4.1	28.6	71.5	28.5
		100	15.3±1.2	7.1±0.7	22.3±1.6	22.4	68.3	31.7	肥面肥 Basal dressing before transplanting	100	15.3±1.2	7.1±0.7	22.3±1.6	22.4	68.3	31.7
		600	117.4	47.8	165.2	27.5	71.1	28.9	合计 Total	600	117.4	47.8	165.2	27.5	71.1	28.9
	粒肥深施 Supergranule, deep application	600	278.9±5.0	127.2±3.9	406.1±7.4	67.7	68.7	31.3	基肥 Basal dressing before transplanting	600	278.9±5.0	127.2±3.9	406.1±7.4	67.7	68.7	31.3
		L. S. D														
		5% 1%														
	单季晚稻 Late rice in single rice cropping system	分次施肥 Split application	200	15.0±0.6	17.3±0.4	32.3±0.9	16.2	46.4	53.6	肥面肥 Basal dressing before transplanting	200	15.0±0.6	17.3±0.4	32.3±0.9	16.2	46.4
200			25.5±2.2	30.0±2.0	55.5±3.8	27.8	54.9	54.1	分蘖肥 Top-dressing at tillering stage	200	25.5±2.2	30.0±2.0	55.5±3.8	27.8	54.9	54.1
200			62.9±4.7	54.4±1.1	117.2±5.0	58.7	53.6	46.4	穗肥 Top-dressing at panicle initiation stage	200	62.9±4.7	54.4±1.1	117.2±5.0	58.7	53.6	46.4
600		103.4	101.7	205.1	34.2	50.4	49.6	合计 Total	600	103.4	101.7	205.1	34.2	50.4	49.6	
粒肥深施 Supergranule, deep application		600	137.0±6.8	157.3±3.6	294.3±8.0	49.1	46.6	53.4	基肥 Basal dressing before transplanting	600	137.0±6.8	157.3±3.6	294.3±8.0	49.1	46.6	53.4
		L. S. D														
		5% 1%														
		4.1	4.6	4.6	4.1	4.6	4.6		4.1	4.6	4.6	4.1	4.6	4.6	4.6	
		5.8	6.6	6.6	5.8	6.6	6.6		5.8	6.6	6.6	5.8	6.6	6.6	6.6	

* 此栏数据系 $\bar{x} \pm S_x$ 。

(3) 栽秧前施用的中层肥, 耙面肥以及在水稻生长初期施用的分蘖肥, 它们的氮素利用率相当低, 无论是对双季稻, 还是对单季晚稻, 都没有超过 30%。

粉肥深施在双季稻上的氮素利用率并不高。本试验的结果是: 前季稻——24.0%; 后季稻——28.6% (表 7), 奚振邦等在上海郊县用 $^{15}\text{NH}_4\text{HCO}_3$ 作基肥全耕层深施时的结果是 18—30%, 平均约 24%^[10]。陈荣业和朱兆良在无锡县东亭大队前季稻上测得的尿素粉肥深施的氮素利用率是 37.2—37.6%, 损失达 40.1—43.5%^[11]。诚然, 上述试验也发现, 在水稻上采用粉肥深施, 可较表施提高利用率, 但提高的幅度不大, 而且粉肥深施的氮素利用率一般只及粒肥深施的一半, 亏损却高于粒肥深施, 这说明对粉肥深施还需要研究改进。

在前季稻中, 粉肥深施的氮素利用率比分次施肥的低, 这可能主要是由于分次施肥中穗肥的利用率特别高所造成。在后季稻中, 粉肥深施的氮素利用率则要比分次施肥的高, 同时中层肥的利用率也显著高于耙面肥, 表明粉肥深施在后季稻上减少肥料损失, 提高肥料利用率的效果较在前季稻上为优。表 7 还列有各季水稻地上部累积的肥料氮在谷、草中的分配比例。它表明双季稻地上部累积的肥料氮约 70% 分配在谷粒中, 约 30% 分配在稻草里。而单季晚稻上的肥料氮在谷、草中的分配比例大体上是各半。施用方法看来不会改变肥料氮在谷、草中的分配比例, 但施用时期对它有些影响。作穗肥施用的肥料氮在稻谷中的相对比率有比作基肥和分蘖肥施用时的趋势。

(四) 施肥方法对水稻长势和产量构成因素的影响

在前季稻上对不同施肥方法下的水稻生长情况作了观察, 发现返青情况无明显差异, 进入分蘖期后, 粒肥深施和粉肥深施的苗情逐渐表现为优势, 到分蘖盛期, 它们的株高, 茎粗和分蘖数均比分次施肥法高 (表 8)。试验中没出现粒肥深施不利水稻早发的情况, 这说明粒肥深施的氮素在施入初期虽然被水稻吸收较为缓慢^[4,7], 但它不一定影响到水稻早发。影响水稻早发的因素很多, 除与土壤肥力特性和施肥有关的养分供应状况外, 还有秧苗素质, 栽插质量和水分管理等。至孕穗期观察, 深施处理的苗情仍然较为旺盛, 叶色

表 8 前季稻苗情考察情况

Table 8 Main performance of early rice plants as affected by different methods of fertilizer application

处 理 Treatment	分蘖盛期 (6月12日) At vigorous tillering stage (June 12)			孕穗期 (6月29日) At boot stage (June 29)		
	株 高 (cm) Height of rice plant	茎 粗 (cm) Stem diameter	平均单株分蘖数 Average No. of tillers per plant	株 高 (cm) Height of rice plant	剑叶长度 (cm) Length of sword leaf	剑叶宽度 (cm) Width of sword leaf
不施氮肥 No N	36.6	0.53	0.50	47.7	17.2	1.11
分次施肥 Split application	40.4	0.58	0.56	53.0	17.9	1.24
粉肥深施 Powder, deep application	43.1	0.65	1.04	57.6	20.4	1.40
粒肥深施 Supergranule, deep application	43.2	0.60	1.32	58.2	21.4	1.43

表 9 成熟植株考种结果

Table 9 Performance of matured rice plants as affected by different methods of fertilizer application

稻 别 Cultivar	处 理 Treatment	株 高 (cm) Height of rice plant	每穴穗数 No. of panicles per hill	每穗粒数 No. of grains per panicle	空 秕 率 (%) Proportion of blighted grain	千 粒 重 (g) Weight per thousand grains	单株成 穗数 No. of panicles per plant
前 季 稻 Early rice in double rice cropping system	不施氮肥 No N	66.1	5.40	68.7	12.7	22.42	1.00
	分次施肥 Split application	77.4	5.75	84.0	13.1	23.00	1.01
	粉肥深施 Powder, deep application	78.7	5.91	80.8	16.8	22.50	1.11
	粒肥深施 Supergranule, deep application	79.7	6.25	91.8	21.1	22.27	1.12
后 季 稻 Late rice in double rice cropping system	不施氮肥 No N	59.0	6.35	53.8	11.3	23.20	0.96
	分次施肥 Split application	65.1	7.50	51.2	13.4	22.00	1.19
	粉肥深施 Powder, deep application	65.6	7.87	53.1	14.1	22.80	1.11
	粒肥深施 Supergranule, deep application	65.2	7.90	53.7	14.3	22.00	1.19
单季晚稻 Late rice in single rice cropping system	不施氮肥 No N	—	6.87	74.1	6.3	25.78	—
	分次施肥 Split application	—	7.56	76.3	7.8	24.98	—
	粒肥深施 Supergranule, deep application	—	7.86	70.1	9.2	24.54	—

浓绿, 尤以粒肥深施恋青现象明显, 事实上是生长过旺的表现, 以致收获时空秕率明显增高, 千粒重略有下降(表 9)。这说明试验中粒肥的用量还可能偏高, 节氮仍有潜力。

三、对苏州高产稻区氮肥经济合理施用的意见

(一) 正确掌握氮肥用量

本试验和以往大量试验结果表明, 在施用一般用量有机肥和磷肥的基础上, 适当施用氮肥是促进水稻增产的重要措施。但氮肥的施用量并非越多越好。影响水稻生长发育的因素很多, 氮素营养仅是其中的一环, 希望通过大量施用氮肥获得高产的做法, 常常会收到适得其反的作用。从水稻氮素营养的角度来看, 苏州地区普遍存在氮肥用量偏高的问题。据一般分析资料, 生产千斤稻谷, 水稻吸收氮素约 20 斤, 其中大部分来自土壤, 只有不到 1/3 来自肥料。也就是说, 在正常情况下, 亩产千斤稻需施肥提供水稻吸收利用的氮素一般不会超过 6—7 斤/亩, 而目前苏州地区一般的氮肥施用水平即使考虑肥料利用率

后也大大超过这个数量。由此可见,盲目大量施肥造成的氮肥损失是多么严重。近年来群众普遍反映的“化肥胃口大”,很可能也与施肥不当有关。

(二) 大力推广应用粒肥深施

粒肥深施是在氮肥深施基础上发展起来的一项提高氮肥肥效,减少氮肥损失的较好办法。它不仅适用于碳铵,对尿素也同样十分有效。粒肥深施由于省肥增产效果显著,1977年已被列为国家重点推广项目。近年来,国外对粒肥的研制和使用也非常重视,如国际肥料发展中心和国际水稻研究所等,为提高氮肥在稻田中的效益,开始了尿素粒肥的应用研究,并通过国际肥料试验网广泛进行试验,获得了显著的增产效果^[16]。看来,氮肥大粒化已成为当前引入注目的一个肥料发展方向。

对粒肥深施的研究表明,它的氮素损失很少,利用率很高,它对土壤供氮能力的贡献显著大于粉肥表施和粉肥深施,具有缓、稳、长的供肥特点^[7],因此在生产上应用粒肥深施时,必须注意比粉肥提早施用和严格控制用量,才能充分发挥它的效益。双季稻上的试验结果告诉我们,粒肥深施的用肥量比分次施肥法减少了约1/3,还略有增产,而水稻的长势仍始终保持“一路青”,看来在苏州地区肥力一般的黄泥土上,粒肥深施的用量掌握在10斤N/亩左右,大体上就能满足一季水稻的氮素营养需要。对后季稻的用肥量似乎还要比前季稻适当降低些。至于粒肥深施的时间,如试验表明的那样,选择在整地后栽秧前进行或在栽秧时间同时进行是适宜的。这样做不但能满足水稻,特别是生长期短的双季稻前期生长发育的需要,而且也便于使用施肥机具,提高施肥效率。此外,从有利水稻吸收和减少肥料损失两方面考虑,粒肥深施的深度不宜过深,二寸左右即可。

就推广应用粒肥深施这项工作来说,前提是保证粒肥的生产供应和解决施肥机具。此外,因土因作物制宜的粒肥深施技术也需要在广泛实践的基础上进一步完善提高。在以往大量的田间试验中曾发现,粒肥深施如按粉肥同样的用量和时间进行时,会导致水稻中,后期氮素营养过旺,恋青减产。因此无论如何必须强调,“提早施用”和“控制用量”是粒肥深施技术的要领。掌握住这二个要领,通常就能达到省肥增产的目的。

(三) 认真看待“一哄头”施肥法的严重氮素损失

将氮肥集中在水稻生育前期施用的方法群众称之为“一哄头”施肥法。这种施肥法较能适应生育期短的双季稻吸肥高峰的要求,在一些地方被当作水稻高产施肥技术应用。试验中的三种施肥方法,全部或大部分氮肥是在水稻栽秧前后施用的,因而都可笼统看作是“一哄头”施肥法。研究表明,除粒肥深施外,作基肥和在水稻生长早期作追肥的化肥氮素利用率是很低的(一般 $< 30\%$),而在水稻生长中期施用的化肥,氮素利用率较高(一般 $> 60\%$)。从提高肥料利用率的角度考虑,似应减少前期施肥,注重中期供肥。国内外不少水稻高产栽培经验认为,减少基肥用量,可以使禾苗前期稳长稳发,而注重中期追肥,最好是采用深层追肥,可以促穗增粒,达到稳产高产^[6,14]。我们已经知道,粒肥深施供肥缓慢,水稻对它的吸收利用高峰是在施肥后10—14天^[3,7]。由此看来,栽秧前或栽秧时进行粒肥深施,正好符合“前稳攻中”的高产水稻栽培要求,粒肥深施与水稻高产施肥之间是没有矛盾的。在苏州地区目前水稻高度密植的条件下,构成产量的有效穗数基本上是靠栽插

的基本苗,大量的粉肥基施和早期追肥,徒增加很多无效分蘖,又招致肥料氮素的严重损失,这种做法对水稻高产似乎并非必要,反而是十分不经济的。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所长效肥组, 1974: 碳酸氢铵粒肥的肥效和机械造粒。土壤, 第 3 期, 91—96。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所东亭任务组, 1977: 苏州地区双三制下提高氮肥对水稻的增产效果。土壤, 第 3 期, 127—135。
- [3] 朱兆良、陈荣业、徐永福、徐银华、张绍林, 1979: 苏州地区平田黄泥土氮素供应过程的特点及其与氮肥施用方法的关系。土壤学报, 第 16 卷 3 期, 218—233 页。
- [4] 朱兆良、廖先苓、蔡贵信、俞金洲, 1978: 苏州地区双三制下土壤养分状况和水稻对肥料的反应。土壤学报, 第 15 卷 2 期, 126—137 页。
- [5] 邢光熹、曹亚澄, 1978: ^{15}N 质谱分析某些技术的改进。土壤, 第 6 期, 224—229 页。
- [6] 过维钧, 1979: 高产地区碳铵粒肥深施效果和施用技术。土壤, 第 1 期, 20—23 页。
- [7] 陈荣业、范钦楨, 1978: 碳铵粒肥在非石灰性水稻土上深施的氮素供应状况。土壤学报, 第 15 卷 1 期, 75—82 页。
- [8] 陈荣业、范钦楨、曹志洪、蒋佩弦, 1978: 几种 ^{15}N 标记的氮肥对稻、麦不同施用方法的比较研究。土壤, 第 6 期, 213—217。
- [9] 陈溥, 1979: 碳铵粒肥对双季稻的增产效果。土壤, 第 3 期, 103—105 页。
- [10] 奚振邦、卞以洁、邝安琪、刘德本、刘明英, 1978: 双季稻的吸肥高峰与挥发性氮肥全层施用法的研究。土壤学报, 第 15 卷 2 期, 113—125 页。
- [11] Chen Rong-ye and Zhu Zhaoliang, 1980: The fate of nitrogen fertilizer in paddy soils. Trans. Symp. on Paddy Soils, October 19—24, 1980, Nanjing, China (in press).
- [12] Li Chingwei and Chen Rongye, 1980: Ammonium bicarbonate used as a nitrogen fertilizer in China. Fertilizer Research 1: 125—136.
- [13] Craswell, E. T. and P. L. G. Vlek., 1979: Greenhouse evaluation of nitrogen fertilizer for rice. J. Soil Sci. Soc. Amer., 43: 1184—1188.
- [14] Murayama, N., 1979: The importance of nitrogen for rice production. Nitrogen and Rice, pages 5—19, IRRI, Philippines.
- [15] Prasad, R. and De Datta, S. K., 1979: Increasing fertilizer nitrogen efficiency in wetland rice. Nitrogen and Rice, Pages 465—479, IRRI, Philippines.
- [16] International Fertilizer Development Center, 1980: Annual report for 1979. pages 6—22, Muscle Shoals, Alabama. U. S. A.

RATIONAL USE OF NITROGEN FERTILIZER FOR HIGH YIELDING RICE IN SUZHOU DISTRICT

Chen Rongye, Sun Xiuting and Li Arong

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

Pan Zunpu, Chen Qianwu and Wei Maoxing

(*Suzhou Institute of Agricultural Research, Jiangsu Province*)

Summary

Suzhou district is one of the highly productive agricultural regions of intensive farming and high fertilizer input. In the recent years, the rate of application of nitrogen fertilizers for each rice crop season in this region has attained an average above 150 kg. of N per hectare which is believed to be the amount required by rice plants in order to get 7500 kg

of grain per hectare. It was showed by ^{15}N -tracing experiments with the similar fertilizer application rates that the loss of fertilizer-N during the growing season accounted for 30% to 70% of the fertilizer-N applied in this region, and some studies revealed that deep-dressing, granulation and appropriate timing of the application for nitrogen fertilizers seemed to be effective for increasing the efficiency of fertilizer-N in the rice field. The present study deals with the evaluation of several improved methods of N-fertilizer application for high yield rice production through field experiments with the aid of ^{15}N -tracing technique. Emphasis was laid on the efficiency of utilization of fertilizer-N and soil-N by rice plants (both early and late rice). Fertilizer treatments used in experiments are shown in Table 1 and 2. Besides basal fertilizers, only urea was applied as nitrogen source. The results of the experiments (see Table 3—9) are summarized as follows:

1. From Table 3 and 4, it was found that the improved methods of fertilizer application were superior to the conventional method (split application) for they gave significantly higher yields and required less N-fertilizer.

2. Judging from the total grain yields of the two rice crops (early and late rice crops in one year), substitution of deep dressing of supergranular urea for conventional split application of urea powder would decrease $1/3$ of the urea used but gave a little increase of grain yield, so the relative efficiency of fertilizer-N could increase more than 70%. It seems that deep-dressing of supergranular urea is a very promising method suitable for both single and double cropping rice, the latter is characterized by the short growing period. So long as appropriate amount of urea supergranules is deep-dressed early in the season, it can meet the requirement for tillering in the early stage, and at the same time, it can also meet the later requirement of N throughout the growth period due to the N released slowly from the supergranular urea.

3. In Suzhou district, a great proportion of nitrogen fertilizer is usually applied at the early stage of rice growth. However, the present investigation as well as previous ones showed that the utilization rate of nitrogen fertilizer (except supergranules) applied as basal fertilizer or applied at the early stage of rice growth was quite low (usually less than 30%), but that of N-fertilizer dressed at the middle stage was much higher (usually more than 60%). In view of increasing the fertilizer efficiency, it seems advisable that less N-fertilizer should be applied in the early stage and more should be applied in the middle stage. Under dense planting condition, the number of effective panicles responsible for the grain yield is determined mainly by the number of seedlings transplanted; excess of nitrogen fertilizer applied at the transplanting or in the early stage may only bring about significant increase of ineffective tillers and serious loss of nitrogen.