

稻田节氮的水肥综合管理技术的研究*

朱兆良

(中国科学院南京土壤研究所)

摘 要

研究表明,本文推荐的改进施肥技术能显著减少稻田氮肥损失、提高氮肥的利用率和增产效果,但在高肥力土壤上,以及在过量施用氮肥时,改进的施肥技术的增产效果则不显著。

氮是水稻生产中最普遍存在的一个养分限制因子,合理地施用氮肥促进了水稻生产的发展。但研究表明,采用习惯方法施于稻田的氮肥中,被水稻吸收的不过30%左右,损失却高达50%左右^[1]。因此改进施肥技术以降低氮肥的损失,是充分发挥其增产效果的关键。我国是世界上最大的水稻生产国和氮肥消费国,提高氮肥的利用率和增产效果更具有特殊的重要性。

“减少施肥后存留于田面水中的氮量”是稻田氮肥合理施用的一项原则^[2,3]。提出这一原则的理论依据是,稻田田面水中的氨和铵态氮在很大程度上决定着氨挥发的潜力。而且,这一部分氮还可在土表进行硝化后再经反硝化而损失。因此,采用任何施肥方法,只要能减少施肥后存留于田面水中的氮量,就有可能降低氮肥的损失。在这一方面,粒肥深施虽是迄今为止最为有效的一种施用技术。但是,由于多种原因,在生产上尚未得到广泛应用。实践表明,有必要发展出更多的有效施用技术,以适应于不同的生产条件。本工作的目的是研究“无水层混施”和犁沟条施等基肥施用法,以及这一施用法与中国水稻所提出的“以水带氮”追肥法^[4]组成的水肥综合管理技术的增产作用及其依据,并在不同的土壤和气候条件下加以检验。

一、试验方案

试验是在中国科学院有关生态试验站内进行的。其中除¹⁵N标记氮肥的田间微区试验只在河南省封丘站进行外,其他的田间小区试验是在黑龙江海伦站、辽宁沈阳站、新疆阜康站、河南封丘站、江苏常熟站和江西鹰潭站同时进行的。各试验站的土壤性质示于表1。

在封丘站进行的¹⁵N标记氮肥的水稻田微区试验中,研究了习惯施用技术和改进的水肥综合管理技术下,不同用量的氮肥的氮素去向。同时进行了相同设计的小区试验,以获得增产效果的结果。

在其他5个试验站中,设置了基肥施用技术,基肥和追肥配套施用技术的小区对比试

*本文为中国科学院资源生态环境网络研究中06—02—02—03课题的阶段总结。参加本工作的尚有:韩晓娟、邹郁基、王周琼、李伟波、尹瑞龄等23位同志。

验。其共同的处理有：(1) 不施氮；(2) 基肥—有水层混施(习惯法)；(3) 基肥—无水层混施；(4) 基肥—有水层混施，追肥—撒施于田面水中；(5) 基肥—无水层混施，追肥—“以水带氮”。此外，在一部分试验站中还增加了部分处理：(1) 基肥—犁沟条施，(2) 基肥—深层施用(施于耕层下部)；(3) 基肥—犁沟条施，追肥—“以水带氮”。各试验田皆施磷肥，部分试验田还施了钾肥。总施氮量，除注明者外，其余均为150—180公斤/公顷。

二、改进的施肥方法在减少氮肥损失中的作用

在生产上水稻施用基肥时常用“有水层混施法”，即将氮肥撒施于田面水中再把混的方法。观测表明，耙混时田面有无水层对存留于田面水中的氮量有很大的影响。据在封丘站进行的观测，在采用有水层混施时，施碳酸氢铵(碳铵，下同)后1天之内田面水中的 $(\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+) - \text{N}$ 的含量平均为41毫克/升，而在田面无水层下混施(无水层混施)的处理则只有2⁰毫克/升。在鹰潭站的观测也表明，碳铵作基肥有水层混施时，田面水中 $(\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+) - \text{N}$ 的含量平均为75毫克/升，而无水层混施的处理则降为42毫克/升。犁沟条施的处理由于可将氮肥施于更深处，因而更降至27毫克/升。用尿素作基肥时(海伦站)，田面水中 $(\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+) - \text{N}$ 的含量也依有水层混施、无水层混施后随即上水、无水层混施后隔夜上水和深层施用的顺序而减少。水稻盆栽试验^[5]和田间用简易法^[6]在海伦站进行的估测表明，无水层混施或深层施用有利于减少氮挥发或总损失。

在封丘站进行的水稻¹⁵N微区试验的结果可见前报^[7]。对于碳铵和尿素来说，无水层混施比习惯的有水层混施的氮素损失分别降低16—20%和11—15%。对于碳铵来说，无水层混施后隔夜上水虽然比随即上水的氮素损失高，但其差异未达显著水准。与此相似，尿素无水层混施后隔夜上水的处理，其氮素损失虽然比随即上水的低，但其差异也未达到显著水准。

此外，在封丘站进行的改进的基肥和追肥的配套施用方法的田间¹⁵N微区试验结果示于表2。结果表明，在习惯施肥方法下，氮肥的利用率只有17—25%，氮素损失高达63—71%。改进的施肥法与习惯施肥法相比，氮素损失减少29—35%，氮肥利用率提高22—30%。

表1 各试验站田间试验土壤的基本性质

站名	土壤	pH (H ₂ O)	有机质 g/kg	全氮 g/kg
海伦	黑土	7.8	54.0	2.3
沈阳	棕壤	6.6	22.1	0.9
阜康	水稻土	7.9	33.6	1.59
封丘	潮土	8.6	15.3	0.91
常熟	水稻土	7.5	33.2	1.96
鹰潭	水稻土	4.8	15.0	1.61

表2 不同施用方法对稻田中化肥氮去向的影响

(封丘站石灰性潮土，田间¹⁵N微区试验)

施氮量(kg/ha)	施用方法	占施入N的%		
		水稻吸收	土壤中残留	损失
60	习惯法	25.2b	11.8	63.0a
60	改进法	47.6a	21.2	28.2b
120	习惯法	17.4b	12.0	69.7a
120	改进法	47.2a	13.1	31.7b
180	习惯法	18.9b	12.3	63.8a
180	改进法	47.2a	12.8	39.9b
240	习惯法	17.0b	17.7	71.3a
240	改进法	47.6a	11.6	40.8b

注：习惯法为碳铵有水层混施作基肥，尿素有水层混施作追肥；改进法为碳铵犁沟条施作基肥，尿素以水带氮作追肥，基肥和追肥施氮量各为总施氮量的一半。

三、改进的施肥法的增产作用

表3列出了各试验站用差值法测得的氮肥利用率。有水层混施作基肥时,氮肥的利用率只有17.1—43.5%,平均28.9%。无水层混施作基肥时,氮肥利用率提高到32.4—52.5%,平均42.5%,比有水层混施高9.0—17.6%,平均高15.6%。犁沟条施和深层施用者,氮肥利用

表3 改进施用法和习惯用法对氮肥利用率(差值法,%)的影响

站名	基 肥			基肥+追肥		
	有水层 混 施	无水层 混 施	犁沟条施 或深层施	习 惯 法	改 进 法 —1	改 进 法 —2
海 伦	19.0	36.6	49.6	26.3	42.4	—
沈 阳	43.5	52.5	—	41.6	55.4	—
阜 康	28.6	45.6	—	16.2	27.9	—
封 丘	17.1	32.4	36.5	8.5	—	26.3
				(施60kgN/ha)		
				14.1	—	27.4
				(施120kgN/ha)		
				23.5	—	31.6
				(施180kgN/ha)		
				14.0	—	17.1
				(施240kgN/ha)		
鹰 潭	36.3	45.5	60.2	30.3	35.3	55.2

注:改进法—1…无水层混施作基肥,“以水带氮”作追肥,
改进法—2…犁沟条施作基肥,“以水带氮”作追肥。

表4 改进施用法的增产效果

站名	比习惯法增产							
	基 肥				基肥+追肥			
	无 水 层 混 施		犁沟条施 或深层施		改 进 法—1		改 进 法—2	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
海 伦	60**	15	92**	23	102**	23	—	—
沈 阳	64*	11	—	—	56	9	—	—
阜 康	41*	8	—	—	36*	7	—	—
封 丘	38*	16	11	5	—	—	24*	8
							(施60kgN/ha)	
							28*	8
							(施120kgN/ha)	
							25*	7
							(施180kgN/ha)	
							15	4
							(施240kgN/ha)	
常 熟	-15	-3	-13	-3	-18	-3	-17	-3
鹰 潭	19**	5	68**	19	22**	6	37**	11

注:见表3注。*为达到5%显著水准,**为达到1%显著水准。

率更高达36.5—60.2%，比有水层混施高19.4—30.6%，平均高24.6%。在基肥和追肥的配套施用中，习惯施肥法的氮肥利用率只有8.5—41.6%，平均22.9%（未计入封丘站施氮量240公斤/公顷处理）；采用改进法—1和改进法—2时，则分别提高到27.9—55.4%和26.3—55.2%，比习惯用法平均提高11.7%和16.0%。

表4的结果表明，除常熟站以及封丘站的高氮(240公斤/公顷)处理外，作基肥时，无水层混施和犁沟条施比有水层混施大多有显著的增产效果，增产率为5—19%，平均11%；每公斤施入氮所增产的稻谷公斤数(表5)，有水层混施时为5.8—23.6，无水层混施和犁沟条施时则为7.7—35.3，提高1.9—13.2，平均提高7.2(50%)。从基追肥配套施用来看，改进法—1和改进法—2也大多比习惯法有显著的增产，其增产率为6—23%，平均9.8%；每公斤施入氮所增产的稻谷公斤数，也由习惯法的7.0—22.1(平均10.2)提高到9.4—27.8(平均14.6)，净增2.1—10.2(平均4.5，相当于44%)。

应当说明，常熟站试验田的无氮区稻谷产量已高达7000公斤/公顷左右，施用氮肥无显著的增产效果。因此，各种改进的施肥方法也就不可能表现出增产效果。

表5 氮肥的增产效果 (kg稻谷/kg施入N)

站名	基 肥			基 肥 + 追 肥		
	有水层混施	无水层混施	犁沟条施或深层施	习惯法	改进法—1	改进法—2
海 伦	9.7	18.3(8.6)	22.0(13.2)	11.0	21.2(10.2)	—
沈 阳	22.0	28.3(6.3)	—	22.1	27.8(5.7)	—
阜 康	10.6	17.1(6.5)	—	7.1	9.4(2.3)	—
封 丘	5.8	12.2(6.4)	7.7(1.9)	7.3	—	13.3(6.0)
						(施60kgN/ha)
				7.0	—	10.5(3.5)
						(施120kgN/ha)
				7.8	—	9.9(2.1)
		(施180kgN/ha)				
		4.1	—	5.0(0.9)		
				(施240kgN/ha)		
常 熟	7.9	5.5(-2.4)	5.7(-2.2)	7.0	5.5(-1.5)	5.6(-1.4)
鹿 潭	23.6	26.8(3.2)	35.3(11.7)	9.1	11.4(2.3)	12.9(3.8)

注：见表3注。括号内为习惯法每公斤氮多增产的稻谷公斤数。

四、结 语

1. 本次网络研究证明，“力求减少施肥后存留于田面水中的氮量”的稻田氮肥合理施用的原则是正确的。在此原则指导下发展出来的“无水层混施”和“犁沟条施”的基肥施用方法，及其与中国水稻所提出的“以水带氮”的追肥方法组合而成的节氮水肥综合管理技术，能显著减少氮肥损失、提高氮肥的利用率和增产效果。

2. 在高肥力土壤上，以及在过量施用氮肥时，改进的施肥方法的增产效果却不显著。因此，在实际推广时，应将氮肥施用量控制在最高经济效益的施氮量以下。

参 考 文 献

- [1] 朱兆良: 我国土壤供氮和化肥氮去向研究的进展。土壤, 第17卷, 第1期, 第2—9页, 1985。
Bodenkd, 140: 63-70, 1977.
- [2] Zhu, Zhao-liang, Efficiency of urea in crop production in China. Proc. Inter. Symp. on Urea Technology and Utilization. 117-132. Malaysian Soc. Soil Sci. Kuala Lumpur, Malaysia. 1988.
- [3] Zhu, Zhao-liang, Management of nitrogen fertilizers for flooded rice in relation to nitrogen transformations. Trans. 14th Inter. Congr. Soil Sci. IV: 337-342. Kyoto, Japan. 1990.
- [4] 陈荣业、张建才、郭望模、陈芾: 稻田以水带氮肥(尿素)深施技术研究。中国水稻科学, 第1卷, 第3期, 184—191页, 1987。
- [5] 朱兆良、张绍林、徐银华: 种稻下氮素的气态损失与氮肥品种和施用方法的关系。土壤, 第19卷, 第1期, 5—12页, 1987。
- [6] 陈荣业: 尿素施入稻田后氮挥发损失的估测。中国水稻科学, 第1卷, 第1期, 58—64页。
- [7] 朱兆良、张绍林、陈德立、蔡贵信、徐银华、J.R. Simpson, J.R. Freney and A.V. Jackson: 黄淮海地区石灰性稻田土壤上不同混施方法下氮肥的去向和增产效果。土壤, 第20卷, 第3期, 121—125页, 1988。

(上接第230页)

除上述研究工作外, 还将重视新实验技术手段的引进和发展, 包括新电化学方法的引进与发展, 微机普及应用以及测量仪器的计算机化, 可以相信, 上述几方面的工作将会使土壤电化学的研究无论在深度上还是在广度上都会有所进展。

参 考 文 献

- [1] 于天仁等编著, 土壤的电化学性质及其研究法, 科学出版社, 1976。
- [3] 于天仁, 对国外土壤化学发展的一些看法, 土壤, 19(4): 169—172, 1987。
- [1] 陈家坊, 四十年来土壤化学的发展, 土壤学进展, 17(4): 17—22, 1989。
- [4] G. Sposito, The Surface Chemistry of Soils, Oxford University Press, N. Y., 1984.
- [5] D. L. Sparks (ed.), Soil Physical Chemistry, CRC Press Inc., 1986.
- [6] D. L. Sparks, Adv. in Agronomy, 38: 231-266, 1985.
- [7] D. L. Sparks, Future Developments in Soil Science Research, Soil Sci. Soc. Am., ed., SSSA Inc., 1987.
- [8] N. J. Barrow, Adv. in Agronomy, 38: 183-230, 1985.
- [9] M. B. McBride, Adv. in Soil Sci., 10: 1-56, 1989.
- [10] G. W. Bruemmer, J. Gerth, and K. G. Tiller, J. Soil Sci., 39: 37-52, 1988.
- [11] Adel. M. Elprince (ed.), Chemistry of Soil Solutions, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1986
- [12] A. K. Alva, M.E. Sumner, Y.C. Li and W. P. Miller, Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 38-44, 1989.
- [13] M. Congers, J. Soil Sci., 41: 147-156, 1990.
- [14] D. Hirsch S. Nir. and A. Banin. Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 716-721. 1989.
- [15] A. P. Schwab and W.L. Lindsay. Soil Sci. Soc. Am. J., 53: 29-38, 1989.
- [16] 第十四届国际土壤大会论文集(Ⅰ), 日本京都出版, 1990。
- [17] P. M. Huang and M. Schnitzer. (ed.), Interaction of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes Wisconsin, SSSA,
- [18] M. M. Mortland. Future Developments of Soil science Research, Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison. Wisconsin. 1987.