

# 太湖地区主要类型水稻土上施用不同硫肥 对水稻氮、硫吸收的影响\*

赵洪涛 周健民 范晓晖<sup>†</sup> 刘崇群

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

## EFFECT OF DIFFERENT SULPHUR FERTILIZERS ON UPTAKE AND USE EFFICIENCY OF NITROGEN AND SULPHUR BY RICE IN THE PADDY FIELDS OF TAIHU LAKE AREA

Zhao Hongtao Zhou Jianmin Fan Xiaohui<sup>†</sup> Liu Chongqun

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

关键词 水稻土; 水稻; 不同形态硫肥; 氮、硫利用率

中图分类号 S158.3 文献标识码 A

硫是植物生长发育不可缺少的 16 种主要营养元素之一, 目前已被认为是继氮、磷、钾后第 4 位主要营养元素。硫在植物体内许多功能与氮相似, 其吸收量与磷大致相当, 只有当作物吸收充足数量硫后才可能实现高产和优质<sup>[1-3]</sup>。

水稻上氮硫交互作用的试验结果表明<sup>4,5</sup>, 在同等施氮水平下, 施硫肥和不施硫肥相比, 施硫能够显著促进作物对氮的吸收, 提高氮肥利用率。在同样施硫情况下, 氮肥也能够促进作物对硫的吸收。在施硫肥增产或不增产的情况下, 可相对减少施氮量 5%~10%。

氮和硫在植物体内的生理功能有许多相似之处<sup>[6]</sup>, 共同组成各种植物蛋白质中的含硫氨基酸。目前我国很多高产地区氮肥施用量往往超过作物正常需要量<sup>[7,8]</sup>, 在此情形下硫素供应不足不利于氮

素肥效的发挥。适量施硫也许可以提高作物氮素利用率, 减少氮素损失。近年来, 硫在农业上的重要性日益受到人们的重视, 但对硫肥在水稻生产中的研究不多, 尤其在太湖地区的水稻土上研究硫肥对水稻氮、硫吸收和产量作用的工作几乎没有<sup>[9]</sup>。为此, 开展了太湖地区主要类型水稻土上不同硫肥施用对水稻氮、硫吸收及其产量作用的研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤

试验于 2004 年在江苏省常熟市的辛庄镇合泰村和王庄镇时家坝村进行。土壤分别属于乌栅土和黄泥土。表层(0~20 cm)土壤的理化性质如表 1 所示。

表 1 供试土壤基本农化性状

土壤类型	pH <sup>1)</sup>	有机质(g kg <sup>-1</sup> )	全氮(g kg <sup>-1</sup> )	全磷(g kg <sup>-1</sup> )	全钾(g kg <sup>-1</sup> )
黄泥土	5.39	24.6	1.64	0.51	16.4
乌栅土	6.98	39.3	2.52	0.82	20.4
土壤类型	有效磷(mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾(mg kg <sup>-1</sup> )	全硫(mg kg <sup>-1</sup> )	有效硫(mg kg <sup>-1</sup> )	
黄泥土	5.35	76.5	328	70.3	
乌栅土	16.8	100	371	77.4	

1) 土水比为 1:2.5

\* 国家自然科学基金重大项目(30390080)、中国科学院知识创新工程项目(KZCX2-413-3)、国家重点基础研究发展规划项目(2005CB121108)资助

<sup>†</sup> 通讯作者, E-mail: xhfan@issas.ac.cn

作者简介: 赵洪涛(1978~), 山东平原人, 硕士研究生, 主要从事土壤肥力与植物营养的研究工作

收稿日期: 2005-04-25; 收到修改稿日期: 2005-11-03

## 1.2 试验设计

两种土壤前作均为小麦, 于 2004 年 6 月 26 日移栽水稻, 10 月 25 日收获。两个试验地分别设 5 个处理: (1) 无硫对照区 (CK), 不施任何硫肥; (2) 施硫磺 (S); (3) 施硫酸铵 (NS); (4) 施过磷酸钙 (SSP); (5) 施硫包膜尿素 (CU)。试验小区面积为  $30 \text{ m}^2$  ( $6 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ ), 各小区之间筑 20 cm 高的埂, 水稻种植密度与当地农民习惯一致。每个处理重复 4 次, 采用随机排列。每个处理中氮、磷、钾肥用量相同, 其中氮肥  $\text{N } 200 \text{ kg hm}^{-2}$ , 磷肥  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ } 60 \text{ kg hm}^{-2}$ , 钾肥  $\text{K}_2\text{O } 120 \text{ kg hm}^{-2}$ , 硫肥用量除对照不施外, 均为  $\text{S } 83 \text{ kg hm}^{-2}$ 。氮肥的分配比例为基肥: 分蘖肥: 孕穗肥= 5: 2: 3, 施肥方式为有水层混施或撒施, 磷钾硫肥基肥一次施入。

## 1.3 分析测试

为了小区中取样有代表性, 在水稻分蘖期和孕穗期分别在每个小区中对 20 穴水稻计分蘖数, 根据平均分蘖数, 采 3 穴水稻植株样品, 测定其生物量;

收获后, 测定籽粒和秸秆产量。

植株全氮采用凯氏法<sup>[10]</sup>测定。植株全硫采用  $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$  消煮法- 等离子发射光谱 (ICP) 法<sup>[10]</sup>测定。表观硫素利用率按下式计算:

表观硫素利用率 (%)

$$= \frac{\text{施硫区作物吸硫量} - \text{无硫区作物吸硫量}}{\text{所施硫肥的总硫量}} \times 100\%$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同硫肥对水稻氮、硫养分吸收的影响

试验结果 (表 2) 表明, 在相同施氮水平上施用硫肥, 不论是乌栅土还是黄泥土, 均能提高水稻茎秆的含氮量和吸氮量, 并且 S 和 NS 处理与对照 (CK) 有显著差异。但施硫对黄泥土水稻籽粒部分含氮量没有显著影响, 而 NS 处理的籽粒吸氮量与 CK 之间达到了显著水平, 其他处理的效果不显著; 在乌栅土上, NS 处理也显著提高了籽粒含氮量和吸氮量, 其他处理的效果不显著。

表 2 不同硫肥对水稻吸收氮、硫养分的影响

土壤类型	处理代号	茎 秆				稻 谷				总吸氮量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	总吸硫量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ )
		含氮量 ( $\text{g kg}^{-1}$ )	吸氮量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	含硫量 ( $\text{g kg}^{-1}$ )	吸硫量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	含氮量 ( $\text{g kg}^{-1}$ )	吸氮量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ )	含硫量 ( $\text{g kg}^{-1}$ )	吸硫量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ )		
黄泥土	CK	10.9 <sub>bc</sub>	92 <sub>c</sub>	2.80 <sub>bc</sub>	25.0 <sub>b</sub>	16.5 <sub>a</sub>	144 <sub>b</sub>	1.67 <sub>c</sub>	15.3 <sub>b</sub>	236 <sub>b</sub>	40.3 <sub>b</sub>
	S	12.5 <sub>ab</sub>	124 <sub>ab</sub>	4.35 <sub>a</sub>	35.5 <sub>a</sub>	16.5 <sub>a</sub>	152 <sub>ab</sub>	2.13 <sub>ab</sub>	18.3 <sub>ab</sub>	276 <sub>ab</sub>	53.8 <sub>a</sub>
	NS	12.7 <sub>a</sub>	146 <sub>a</sub>	3.13 <sub>b</sub>	34.0 <sub>a</sub>	16.9 <sub>a</sub>	157 <sub>a</sub>	2.25 <sub>ab</sub>	20.5 <sub>a</sub>	303 <sub>a</sub>	54.5 <sub>a</sub>
	SSP	11.5 <sub>abc</sub>	106 <sub>bc</sub>	2.70 <sub>c</sub>	27.0 <sub>b</sub>	16.2 <sub>a</sub>	154 <sub>ab</sub>	1.90 <sub>bc</sub>	16.0 <sub>b</sub>	260 <sub>b</sub>	43.0 <sub>b</sub>
	CU	10.2 <sub>c</sub>	106 <sub>bc</sub>	2.73 <sub>bc</sub>	26.3 <sub>b</sub>	15.1 <sub>b</sub>	137 <sub>c</sub>	2.35 <sub>a</sub>	21.3 <sub>a</sub>	243 <sub>b</sub>	47.6 <sub>ab</sub>
乌栅土	CK	8.78 <sub>b</sub>	70 <sub>c</sub>	3.18 <sub>a</sub>	26.5 <sub>c</sub>	14.5 <sub>cd</sub>	113 <sub>b</sub>	2.08 <sub>a</sub>	17.3 <sub>b</sub>	183 <sub>c</sub>	43.8 <sub>c</sub>
	S	10.7 <sub>a</sub>	85 <sub>abc</sub>	3.30 <sub>a</sub>	29.9 <sub>ab</sub>	15.4 <sub>ab</sub>	112 <sub>b</sub>	2.20 <sub>a</sub>	17.7 <sub>ab</sub>	197 <sub>bc</sub>	47.6 <sub>b</sub>
	NS	10.1 <sub>a</sub>	90 <sub>ab</sub>	3.17 <sub>a</sub>	27.1 <sub>bc</sub>	15.9 <sub>a</sub>	132 <sub>a</sub>	2.20 <sub>a</sub>	18.7 <sub>a</sub>	222 <sub>a</sub>	45.8 <sub>b</sub>
	SSP	10.0 <sub>a</sub>	77 <sub>bc</sub>	3.23 <sub>a</sub>	31.6 <sub>a</sub>	15.0 <sub>bc</sub>	119 <sub>b</sub>	2.13 <sub>a</sub>	17.5 <sub>ab</sub>	196 <sub>bc</sub>	49.1 <sub>a</sub>
	CU	10.6 <sub>a</sub>	98 <sub>a</sub>	3.33 <sub>a</sub>	30.9 <sub>a</sub>	14.2 <sub>d</sub>	116 <sub>b</sub>	1.95 <sub>a</sub>	17.0 <sub>b</sub>	214 <sub>ab</sub>	47.9 <sub>b</sub>

在黄泥土上施用硫铵和硫磺均可显著提高水稻茎秆的含硫量和吸硫量, 并且施用硫铵、硫磺和硫包膜尿素都显著提高了水稻籽粒中的含硫量, 其中施硫铵的吸硫量与不施硫达到显著差异。在乌栅土上施硫对水稻茎秆和籽粒的含硫量均没有明显影响, 但过磷酸钙、包膜尿素和硫铵处理分别显著提高了水稻茎秆吸硫量, 硫铵处理还提高了水稻籽粒的吸硫量。这与景金富等在水稻上施氮量为  $\text{N } 100 \text{ kg hm}^{-2}$  时, 施硫磺可使籽粒和秸秆中的硫

吸收量分别比不施硫处理提高 24% 和 22% 的结果相一致<sup>[5]</sup>。

从地上部养分总吸收量来看, 黄泥土和乌栅土上施硫均可提高水稻植株对氮的总吸收量, 其中硫铵处理效果最明显, 均与对照达到了显著差异, 施硫对水稻秸秆的吸氮量的增加幅度要比籽粒的增加幅度大; 同时施硫处理与不施硫处理的水稻植株的总吸硫量相比, 也明显增加, 其中黄泥土上硫磺、硫铵处理与不施硫达到了显著差异; 乌栅土所有施硫处

理与不施硫处理都达到了显著差异。

## 2.2 不同硫肥对氮、硫利用率的影响

不同硫肥对氮、硫肥的利用率的影响结果列于表3, 无论黄泥土还是乌栅土, 施硫都能明显提高氮肥的利用率。在黄泥土上氮肥利用率增加量范围为3.5%~33.5%, 平均为17.3%; 乌栅土上为6.5%~

19.5%, 平均为12.1%, 这与刘光荣等在施氮N 180 kg hm<sup>-2</sup>条件下, 施用硫肥提高早、晚稻的氮肥利用率7.4%~14%的结果相似<sup>[4]</sup>。其中施用硫铵的氮肥利用率增加量在两种土壤上都比其他硫肥处理高。乌栅土的土壤肥力较黄泥土高, 可能是造成乌栅土施硫肥后氮肥利用率提高比黄泥土较低的原因。

表3 不同形态硫肥对氮、硫肥料利用率的影响

处理代号	黄泥土				乌栅土			
	吸氮增量 (kg hm <sup>-2</sup> )	吸硫增量 (kg hm <sup>-2</sup> )	增加的氮肥 利用率(%)	硫肥利用 率(%)	吸氮增量 (kg hm <sup>-2</sup> )	吸硫增量 (kg hm <sup>-2</sup> )	增加的氮肥 利用率(%)	硫肥利用 率(%)
CK	0	0	0	0	0	0	0	0
S	40.0ab	13.5a	20.0ab	16.3ab	14.0a	3.4a	7.0a	4.1a
NS	67.0a	14.2a	33.5a	17.1a	39.0a	2.0a	19.5a	2.4a
SSP	24.0c	2.7bc	12.0bc	3.3c	13.0a	5.3a	6.5a	6.4a
CU	7.0bc	7.30b	3.5c	8.8bc	31.0a	4.1a	15.5a	4.9a

水稻在黄泥土和乌栅土上的硫肥利用率也存在明显的差别, 在黄泥土上硫的利用率比乌栅土上的高, 这可能是由于黄泥土土壤有效硫含量较乌栅土低。在两种土壤上硫铵的硫肥利用率均较其他硫肥处理高, 这可能是硫铵中硫为硫酸根形态, 为水稻易于吸收的形态。黄泥土上硫肥利用率平均为11.4%, 范围在3.3%~17.1%之间; 乌栅土硫肥利用率平均为4.5%, 范围在2.4%~6.4%之间。本研究结果较刘光荣等在早、晚稻上硫肥利用率分别为8.4%~25.6%和8.9%~28.3%的结果低<sup>[4]</sup>。

## 2.3 不同硫肥对水稻生物量的影响

两种土壤上的硫肥对水稻籽粒增产效果的表现大体相同, 黄泥土上硫肥的增产率平均为4.80%, 乌栅土为3.03% (表4), 这与刘崇群水稻增产统计

结果15.7%相比偏低<sup>[11]</sup>, 这可能与太湖地区水稻土的有效硫含量较高有关系。但硫肥对水稻秸秆的增产幅度比对籽粒要大, 黄泥土平均为15.5%, 变化范围为7.61%~25.3%, 乌栅土平均为6.76%, 变化范围为0%~14.2%。其中硫铵处理在两种土壤上对水稻地上部增产效果与CK都均达到了显著差异, 这与宋勇生等在常熟乌栅土上的试验结果一致<sup>[12]</sup>。硫包尿素在黄泥土上对水稻地上部的影响与CK也达到了显著水平。李玉颖的硫铵、硫磺、普钙和石膏四种硫肥的水稻田间试验结果表明, 硫铵和硫磺较为适宜水稻使用<sup>[13]</sup>。但也有研究表明, 在水稻上使用硫酸铵、石膏、硫磺对水稻产量和硫吸收无显著差异<sup>[11]</sup>, 这可能与各试验土壤性质不同有关。

表4 不同硫肥对水稻产量的影响

处理代号	黄泥土				乌栅土			
	秸秆(t hm <sup>-2</sup> )	籽粒(t hm <sup>-2</sup> )	地上部(t hm <sup>-2</sup> )	增产(%)	秸秆(t hm <sup>-2</sup> )	籽粒(t hm <sup>-2</sup> )	地上部(t hm <sup>-2</sup> )	增产(%)
CK	8.70b	8.62a	17.32b	—	8.30c	7.85a	16.15c	—
S	9.50ab	8.82a	18.32ab	2.3	8.45bc	7.83a	16.28c	-0.3
NS	10.89a	9.38a	20.27a	8.9	9.20ab	8.36a	17.56a	6.5
SSP	9.36ab	8.81a	18.17ab	2.3	8.30c	8.31a	16.61bc	5.9
CU	10.44ab	9.11a	19.55a	5.7	9.48a	7.86a	17.34ab	0

### 3 小 结

1) 本试验中乌栅土和黄泥土施硫能提高水稻茎秆的含氮量和吸氮量,但对水稻籽粒的影响不如秸秆明显,其中以硫铵效果最好;施硫能显著提高水稻秸秆和籽粒的吸硫量。

2) 在黄泥土上施硫使水稻氮肥利用率增加量平均达到 17.3%,其增加量大小为: NS> S> SSP> CU; 乌栅土上平均为 12.1%,其增加量大小为: NS> S> CU> SSP。黄泥土上硫肥利用率平均为 11.4%,乌栅土平均为 4.5%,不同形态硫肥的利用率高低次序在两种土壤上一致,均为 NS> S> CU> SSP。

3) 两种土壤上的硫肥对水稻籽粒增产效果的表现大体相同,黄泥土上硫肥的增产率平均为 4.80%,乌栅土为 3.03%,并且硫铵的增产量在两种土壤上均最高。

#### 参 考 文 献

- [ 1 ] 罗奇祥. 作物生产中硫的重要性. 江西农业科技, 1983, (6): 29~ 32
- [ 2 ] Byers M, Bolton J. Effect of nitrogen and sulfur fertilizers on the

yield, N and S content, and amino acid composition of the grain of spring wheat. J. Sci. Food Agric., 1979, 30: 251~ 263

- [ 3 ] Dijkshaon W, von Wijk A L. The sulfur requirements of plants as evidenced by the sulfur-nitrogen reaction in organic matter. Plant and Soil, 1967, 26: 129~ 157
- [ 4 ] 刘光荣, 袁福生, 李祖章, 等. 氮硫配施对水稻的效应研究. 江西农业学报, 2001, 13(2): 1~ 7
- [ 5 ] 景金富, 孟赐福, 马军伟, 等. 施用氮、硫肥对油菜和水稻产量的交互作用. 浙江农业学报, 2000, 12(2): 61~ 65
- [ 6 ] 何念祖, 孟赐福. 植物营养原理. 上海: 上海科学技术出版社, 1987. 227~ 228
- [ 7 ] 徐心慰. 太仓市化肥投入使用的几个问题. 上海农业科技, 1994, (4): 29
- [ 8 ] 蔡贵信, 朱兆良. 太湖地区水稻土的氮素供应和氮肥的合理施用. 土壤, 1983, 15(6): 203~ 204
- [ 9 ] 吕玉平, 陈光亚. 江苏省土壤有效硫状况与施肥预测. 土壤, 1998, 30(6): 324~ 327
- [ 10 ] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [ 11 ] 刘崇群. 硫肥的重要性和我国对硫肥的需求趋势. 硫酸工业, 1995, (5): 20~ 23
- [ 12 ] 宋勇生, 范晓晖. 太湖地区稻田氮肥吸收及其利用的研究. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2 081~ 2 083
- [ 13 ] 李玉颖. 水稻施硫效果及硫肥施用技术研究. 黑龙江农业科学, 1997, (1): 6~ 9
- [ 14 ] Sam O S, Graeme J B. Sulfur nutrition of rice II. A comparison of fertilizer sources of flooded rice. Agron. J., 1983, 75: 203~ 206