

## 安徽省望江县油菜田土壤有效硫状况及硫肥效应<sup>①</sup>

李录久<sup>1</sup>, 孙礼胜<sup>2</sup>, 巨晓棠<sup>3</sup>, 孙义祥<sup>1</sup>, 胡长宏<sup>2</sup>, 张祥明<sup>1</sup>, 张福锁<sup>3\*</sup>, THOMAS Popp<sup>4</sup>

(1 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 合肥 230031; 2 安徽省望江县农业技术推广中心, 安徽望江 246200;

3 中国农业大学资源环境学院, 北京 100094; 4 Fertiva Pacific Pte Ltd., Singapore City 100060)

**摘 要:** 选择长江流域油菜主产区望江县研究安徽省土壤有效 S 状况和油菜施用 S 肥的效应。结果表明, 望江县土壤有效 S 平均含量 15.31 mg/kg, 缺 S 状况较为严重, 缺 S 土壤所占比例高达 61.29%, 潜在性缺 S 土壤所占比例为 35.48%。主要土壤类型中灰潮土缺 S 状况最为严重, 有效 S 不足的土壤所占比例高达 80%。在有效 S 极为缺乏的灰潮土上, 油菜施用 S 肥具有极为显著的增产效果, 与施尿素的对照相比, 盆钵栽培增产 10.89%~26.21%, 田间试验产量提高 9.42%~16.43%, 平均增产 15.80% 和 13.29%。

**关键词:** 土壤有效硫含量; 油菜; 硫肥; 望江县

**中图分类号:** S143

早在 150 年前, 硫 (S) 已被确定为作物生长发育不可缺少的营养元素, 就需要量而言, 仅次于 N、P、K, 被列为第四大营养元素<sup>[1-2]</sup>。油菜是需 S 量较多的作物, 油菜植株全 S 含量和吸 S 量甚至高于含 P 量和植株吸 P 量, 对缺 S 状况较为敏感。我国是世界最大的油菜生产国, 长江流域是世界最大的油菜生产带, 产量占世界油菜总产的 1/3。安徽是中国油菜 3 大主产区之一, 常年播种面积 120 万  $\text{hm}^2$ , 其中沿长江部分县市种植面积占耕地面积的比例超过 50%, 成为秋播面积最大的作物。然而, 长期以来, 油菜产区的农民只注意 N、P、K 的施用, 不施 S 肥, S 投入小于产出, 导致土壤有效 S 含量逐渐下降, 缺 S 面积不断扩大, 影响了油菜产量的进一步提高, 降低了施肥的增产效应, 部分地区土壤有效 S 缺乏已成为油菜高产的限制因素<sup>[3-4]</sup>。因此, 有必要了解和掌握土壤 S 现状及油菜对 S 肥的效应, 为实施平衡施肥提供依据。

望江县位于安徽省中部、长江沿岸, 土壤类型主要为灰潮土, 缺 S 状况较为严重<sup>[5]</sup>。该县油菜常年播种面积 2.2 万  $\text{hm}^2$ , 占秋播作物面积的比例高达 60%。从土壤类型、缺 S 状况和油菜生产水平等方面综合考虑, 望江县在安徽省沿长江油菜产区都有较好的代表性。2001—2004 年, 在国际植物营养研究所 (IPNI) 等的支持下, 选择长江流域油菜主产区的望江县, 开展了安徽省土壤有效 S 现状和油菜施用 S 肥的增产效

应研究。

### 1 材料与方法

#### 1.1 土壤有效 S 现状分析

根据安徽省土壤 S 肥力状况和油菜播种面积, 选择望江县代表安徽省沿长江油菜种植区缺 S 地区, 开展土壤有效 S 现状和油菜施用 S 肥效应研究。望江县主要土壤类型是灰潮土, 其次为水稻土、黄棕壤和黄红壤。根据土壤类型和油菜种植区域, 在全县 120  $\text{km}^2$  油菜主产区内, 选择 31 个有代表性的油菜田块, 每田采集 10 钻 0~20 cm 耕层土壤混和样品, 分析土壤有效 S 含量。

#### 1.2 盆钵栽培

盆钵栽培试验在安徽省合肥市省农科院进行, 供试土壤取自望江县 2004 年田间试验地附近, 为普通灰潮土, 基本性状见表 1。试验在施用 N 0.2 g/kg 土、 $\text{P}_2\text{O}_5$  0.1 g/kg 土和  $\text{K}_2\text{O}$  0.2 g/kg 土的等量 N、P、K 肥基础上进行, 共设 6 个处理: ①UN + UN (CK, 基施和追施尿素 UN); ②ASN + ASN (基施和追施含 S 的 ASN 肥料); ③UN + ASN (基施 UN, 追施 ASN); ④UN + UN +  $\text{S}^{95}$  (基施 UN 及  $\text{S}^{95}$  0.05 g/kg 土, 追施 UN); ⑤UN + UN +  $\text{S}^{99}$  (基施 UN 及  $\text{S}^{99}$  0.05 g/kg 土, 追施 UN); ⑥UN + 石膏 (基施 UN 及石膏 0.05 g/kg 土, 追施 UN)。其中 ASN 由德国 BASF 公司提供, 全

①基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI)、德国 BASF 公司和安徽省人才基金项目 (AH-16) 资助。

\* 通讯作者 (zhangfs@cau.edu.cn)

作者简介: 李录久 (1962—), 男, 安徽长丰人, 博士, 研究员, 主要从事植物营养研究。E-mail: lilujia@yahoo.com.cn

N 含量 260 g/kg。其他肥料来源为 N:  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , P:  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , K:  $\text{KCl}$ , 均为化学纯试剂。70% 的 N 肥和全部 P、K 肥作基肥施用, 30% 的 N 肥作追肥。每

盆装土 2.5 kg, 重复 6 次。2003 年 10 月 20 日移栽油菜, 品种同田间试验 (华皖油 1 号), 定植 3 株/钵; 2004 年 5 月 11 日收获。

表 1 供试土壤的基本农化性状

Table 1 Basic chemical properties of experimental soils

| 年份<br>(年) | 试验<br>类型 | pH   | 有机质<br>(g/kg) | 全 N<br>(g/kg) | 全 P<br>(g/kg) | 碱解 N<br>(mg/kg) | 速效 P<br>(mg/kg) | 速效 K<br>(mg/kg) | 有效 S<br>(mg/kg) |
|-----------|----------|------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 2003      | 大田       | 6.21 | 19.41         | 0.87          | 0.74          | 83.30           | 20.00           | 82.00           | 11.57           |
| 2004      | 盆钵       | 6.35 | 28.76         | 1.61          | 0.45          | 109.80          | 15.75           | 109.40          | 6.06            |
| 2004      | 大田       | 6.29 | 26.80         | 1.51          | 0.37          | 107.00          | 13.75           | 100.50          | 7.36            |

### 1.3 田间小区试验

田间试验在安徽省望江县华阳镇进行, 供试土壤为灰潮土, 基本性状列于表 1, 缺 S 情况也较为严重。试验在施用 N 120 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup> 和 K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup> 的等量 N、P、K 基础上, 设以下 6 个处理: ① UN+UN (CK, 基施和追施尿素 UN); ② ASN+ASN (基施 ASN, 追施 ASN); ③ UN+ASN (基施 UN, 追施 ASN); ④ ASN+UN (基施 ASN, 追施 UN); ⑤ UN+UN+S<sup>95</sup> (基施 UN 及 S<sup>95</sup> 60 kg/hm<sup>2</sup>, 追肥 UN); ⑥ UN+UN+S<sup>99</sup> (基施 UN 及 S<sup>99</sup> 60 kg/hm<sup>2</sup>, 追肥 UN)。其他肥料来源为 N: 尿素, P: 磷酸二铵, K:  $\text{KCl}$ 。70% 的 N 肥和全部 P、K 肥作基肥, 30% 的 N 肥作追肥。小区面积 20.0 m<sup>2</sup>, 完全随机区组排列, 重复 4 次。供试油菜品种为华皖油 1 号, 种植密度 12.6 万株/hm<sup>2</sup>。当年 10 月中旬移栽, 第二年 5 月中下旬收获。其他栽培管理措施同当地一般大田油菜。

### 1.4 土壤有效 S 分析方法及分级

土壤有效 S 采用 BaSO<sub>4</sub> 比浊法测定: 称取通过 10 号筛的风干土 10.00 g 于 100 ml 三角瓶中, 加入含 P 500 mg/L 的 Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 溶液 50 ml, 25℃ 下振荡 1 h, 干

滤纸过滤后比浊测定<sup>[6]</sup>。土壤有效 S 丰缺分级标准, 参考文献[3,5,7], 结合安徽实际, 分为极缺 (有效 S 含量 < 8 mg/kg)、缺乏 (有效 S 为 8 ~ 16 mg/kg)、潜在性缺乏 (有效 S 为 16 ~ 30 mg/kg) 和充足 (有效 S > 30 mg/kg) 4 级。

### 1.5 数据统计方法

油菜产量用 Excel 软件, 经方差分析进行显著性检验后, 采用 LSD 法进行多重比较。

## 2 结果和讨论

### 2.1 望江县土壤有效 S 现状

2.1.1 土壤有效 S 含量的统计特征 从表 2 可看出, 2002 年安徽省望江县土壤有效 S 最低含量仅 3.24 mg/kg, 平均含量 15.31 mg/kg, 低于 16 mg/kg 的缺 S 临界值指标, 总体属有效 S 缺乏水平, 表明望江县土壤缺 S 状况较为严重。但是, 不同地区土壤有效 S 含量差异较大。31 个土壤样品中, 最高有效 S 含量高达 31.58 mg/kg, 为最低值的 9.75 倍; 变异系数高达 42.98%, 说明该地土壤有效 S 的空间变异较大。

表 2 望江县土壤有效 S 状况及其历史变化

Table 2 Change of soil available S in Wangjiang County

| 采样时间<br>(年) | 采样地区 | 样本数<br>(个) | 最小值<br>(mg/kg) | 最大值<br>(mg/kg) | 平均值<br>(mg/kg) | 指数<br>(%) | 标准差<br>(mg/kg) | 变异系数<br>(%) |
|-------------|------|------------|----------------|----------------|----------------|-----------|----------------|-------------|
| 1993        | 长江平原 | 75         | -              | -              | 39.90          | 100       | 3.50           | 8.77        |
| 1996        | 望江县  | 15         | 7.76           | 59.82          | 21.98          | 55.1      | 14.58          | 66.33       |
| 2002        | 望江县  | 31         | 3.24           | 31.58          | 15.31          | 38.4      | 6.58           | 42.98       |

与张继榛<sup>[7]</sup>长江平原 75 个样品土壤有效 S 平均含量 39.9 mg/kg 和胡正义<sup>[5]</sup>望江县 15 个样品有效 S 平均含量 21.98 mg/kg 相比, 望江县 2002 年有效 S 含量分

别下降 61.63% 和 30.35%, 土壤最高有效 S 含量与最低有效 S 含量也由 59.82 mg/kg 和 7.76 mg/kg 下降到 31.58 mg/kg 与 3.24 mg/kg (表 2)。尽管由于不是定位

取样 (本次取样地点与前两次不同), 有效 S 空间变异较大会导致一定的取样误差, 不能完全说明整个区域土壤有效 S 含量已经大幅度下降, 但是根据作者对当地种植结构和农民施肥习惯的调查, 结合前人的研究<sup>[8-9]</sup>, 望江县土壤由于肥料结构的变化, 连年不施 S 肥, 土壤 S 自然补给量小于产出量, 土壤有效 S 含量逐步下降是可能的, 特别是沿江平原油菜-棉花轮作区, 由于油菜和棉花对土壤 S 消耗较多, 土壤有效 S 下降幅度可能更大。

2.1.2 土壤有效 S 分布频率 表 3 的结果表明, 土壤有效 S 含量低于 8 mg/kg (极为缺 S) 的样本与高于 30 mg/kg (有效 S 充足) 的样本数量相对都较少, 仅占总样本数的 12.90% 和 3.23%。有效 S 含量介于 8~16 mg/kg 之间和 16~30 mg/kg 之间的缺 S 土壤与潜在性缺 S 土壤所占比例较高, 分别占 48.39% 和 35.48%, 低于 16 mg/kg (有效 S 缺乏) 的土壤所占比例高达

61.29%。

表 3 土壤有效 S 含量的分布频率

Table 3 Distribution frequency of available S in soils

| 有效 S 含量 (mg/kg) | 样本数 (个) | 频率 (%) |
|-----------------|---------|--------|
| <8              | 4       | 12.90  |
| 8~16            | 15      | 48.39  |
| 16~30           | 11      | 35.48  |
| >30             | 1       | 3.23   |

2.1.3 不同土壤类型有效 S 含量 从表 4 可以看出, 主要土壤类型中灰潮土缺 S 状况最为严重, 20 个土壤样品有效 S 平均含量仅 12.30 mg/kg, 总体属缺 S 水平。其中 15% 的土壤处于极为严重的缺 S 状况, 65% 的土壤属于有效 S 缺乏水平, 缺 S 土壤所占比例高达 80%。

表 4 望江县主要类型土壤有效 S 含量 (mg/kg)

Table 4 Available S contents of main soil types in Wangjiang County

| 土壤类型 | 样本数 (个) | 最小值   | 最大值   | 平均值          | 土壤有效 S 分布频率 (%) |      |       |      |
|------|---------|-------|-------|--------------|-----------------|------|-------|------|
|      |         |       |       |              | <8              | 8~6  | 16~30 | >30  |
| 灰潮土  | 20      | 3.24  | 17.43 | 12.30 ± 3.96 | 15.0            | 65.0 | 20.0  | 0    |
| 黄红壤  | 3       | 12.09 | 23.48 | 19.12 ± 5.02 | 0               | 33.3 | 66.7  | 0    |
| 黄棕壤  | 4       | 7.91  | 25.23 | 17.15 ± 6.30 | 25.0            | 25.0 | 50.0  | 0    |
| 水稻土  | 4       | 16.49 | 31.58 | 25.67 ± 5.65 | 0               | 0    | 75.0  | 25.0 |

水稻土是 4 种土壤中有效 S 含量最高的土壤类型, 有效 S 平均含量 25.67 mg/kg, 虽然总体处于潜在性缺 S 状况, 但有效 S 含量都较高, 土壤最低有效 S 含量超过 16 mg/kg, 最大有效 S 含量 31.58 mg/kg, 是 31 个土壤样品中唯一超过 30 mg/kg 的有效 S 充足的样品。黄棕壤与黄红壤有效 S 含量介于灰潮土和水稻土之间, 缺 S 样本占总样本数的比例较少, 目前缺 S 状

况不是很严重。

2.2 油菜施用 S 肥的增产效应

表 5 的结果说明, 在有效 S 极为缺乏的望江县灰潮土上, 油菜施用 S 肥具有极为显著的增产效果。盆栽试验, 与施用尿素处理的 CK 相比, 施用 S 肥的增产幅度为 10.89%~26.21%, 平均增产 15.80%, 达显著或极显著水平。其中基施和追施含 S 的 ASN 肥料处

表 5 施用 S 肥对油菜籽粒产量的影响

Table 5 Effect of S fertilizers on the yield of rapeseed

| 处理                        | 盆栽栽培       |         | 处理                        | 大田 2002-2003 年           |         | 大田 2003-2004 年           |         |
|---------------------------|------------|---------|---------------------------|--------------------------|---------|--------------------------|---------|
|                           | 产量 (g/pot) | 增产率 (%) |                           | 产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) | 增产率 (%) | 产量 (kg/hm <sup>2</sup> ) | 增产率 (%) |
| UN + UN (CK)              | 2.48 c     | -       | UN + UN (CK)              | 1956.3 b                 | -       | 2587.5 b                 | -       |
| ASN + ASN                 | 3.13 a     | 26.21   | ASN + ASN                 | 2212.5 a                 | 13.10   | 3012.5 a                 | 16.43   |
| UN + ASN                  | 2.78 ab    | 12.10   | UN + ASN                  | 2187.5 a                 | 11.82   | 2831.3 a                 | 9.42    |
| UN + UN + S <sup>95</sup> | 2.93 a     | 18.13   | ASN + UN                  | 2206.3 a                 | 12.78   | 2987.5 a                 | 15.46   |
| UN + UN + S <sup>99</sup> | 2.75 b     | 10.89   | UN + UN + S <sup>95</sup> | 2162.5 a                 | 10.54   | 2925.0 a                 | 13.04   |
| UN + UN + 石膏              | 2.77 b     | 11.69   | UN + UN + S <sup>99</sup> | -                        | -       | 2900.0 a                 | 12.08   |

注: 盆栽试验 LSD<sub>0.05</sub>=1.45 g/pot, 2003 年田间试验 LSD<sub>0.05</sub> = 161.9 kg/hm<sup>2</sup>, 2004 年 LSD<sub>0.05</sub> = 244.8 kg/hm<sup>2</sup>。同一列内字母不同表示处理间差异显著 (p<0.05)。

理,油菜籽粒产量最高,较 CK 相对提高 26.21%,达极显著水平 ( $p < 0.01$ )。田间试验结果与盆栽相似,施用 S 肥后油菜籽粒产量增加 9.42% ~ 16.43%,平均增产率为 13.29%,也达显著 ( $p < 0.05$ ) 或极显著 ( $p < 0.01$ ) 水平,并且最大增产幅度也是施用含 S ASN 肥料的处理。

表 5 的结果还表明,施用不同 S 肥的处理,除 ASN 产量最高外,施用 S<sup>95</sup> 的效果也较好,较 CK 分别增产 18.13% (盆栽栽培) 和 15.46% (田间试验),增产效果也达极显著水平 ( $p < 0.01$ )。基施 ASN、追施尿素,田间试验产量提高 12.08%;基施尿素、追施 ASN 肥料,盆钵栽培产量提高 12.10%,田间试验增产 9.42%,差异达显著水平 ( $p < 0.05$ ),与 2002—2003 年度的试验结果相近。施用 S<sup>99</sup> 的处理,效果稍差,盆钵和第一年大田试验增产幅度在 10% 左右;施用石膏处理的增产幅度介于两者之间。

### 3 小结

安徽省望江县作为长江流域油菜主产区,土壤有效 S 平均含量 15.31 mg/kg,缺 S 状况较为严重,缺 S 土壤所占比例高达 61.29%,潜在性缺 S 土壤所占比例为 35.48%。主要土壤类型中灰潮土缺 S 状况最为严重,有效 S 缺乏的土壤所占的比例高达 80%。水稻土含 S 量最高,有效 S 含量接近充足范围。黄棕壤与黄褐土有效 S 含量介于灰潮土和水稻土之间,总体处于潜在性缺 S 状况。

在有效 S 极为缺乏的望江县灰潮土上,油菜施用

S 肥具有极为显著的增产效果。与施用尿素的对照相比,盆钵栽培增产 10.89% ~ 26.21%,田间试验产量提高 9.42% ~ 16.43%,平均增产 15.80% 和 13.29%。其中基施和追施含 S 的 ASN 肥料处理,油菜籽粒产量最高,较对照相对提高 26.21%。

### 参考文献:

- [1] 赵洪涛,周健民,范晓辉,刘崇群.太湖地区水稻土施用不同硫酸对水稻氮硫吸收的影响.土壤学报,2006,43(5): 864-867
- [2] Janzen HH, Bettany JR.(周伟金译).油菜的硫素营养-氮硫用量和施硫对硫酸效果的影响.土壤学进展,1986 (2): 29-33
- [3] 刘崇群,曹淑卿,陈国安,吴锡军.中国南方农业中的硫.土壤学报,1990,27(4): 398-404
- [4] 黄启为,杨志辉,刘鹏,黎星辉,葛旦之.湖南省旱地土壤硫素状况及施硫效应.土壤,2003,35 (3): 126-130
- [5] 胡正义,张继榛,李若清.长江冲积土壤硫肥力研究.安徽农业科学,1997,25(1): 26-27
- [6] 南京农业大学主编.土壤农化分析.北京:中国农业出版社,1994
- [7] 张继榛,竺伟民,章力干,褚海燕,刘诚,李孔浩.安徽省土壤有效硫现状研究.土壤通报,1996,27(5): 222-225
- [8] 石元值,马立峰,韩文炎,阮建云.浙江安徽茶园土壤硫素营养状况及近十年变化.土壤,2000,32 (4): 201-203
- [9] Zhao YW, Hu ZY, Cao ZH, Beaton JD, Henderson AM. Transformation efficiency of sulfur for a mulberry leaf-silkworm cocoon system in the lower-middle reaches of the Yangtze River, China. Pedosphere, 2005, 15(3): 281-285

## Soil Available S in Wangjiang County of Anhui Province and Response of Rapeseed to S Fertilizers

LI Lu-jiu<sup>1</sup>, SUN Li-sheng<sup>2</sup>, JU Xiao-tang<sup>3</sup>, SUN Yi-xiang<sup>1</sup>, HU Chang-hong<sup>2</sup>,

ZHANG Xiang-ming<sup>1</sup>, ZHANG Fu-suo<sup>3</sup>, THOMAS Popp<sup>4</sup>

(1 Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China; 2 Soil and Fertilizer Station of Wangjiang County, Wangjiang, Anhui 246200, China; 3 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China; 4 Fertiva pacific Pte. Ltd., Singapore City 100060, Singapore)

**Abstract:** Rapeseed production region in the Yangtze River valley of Anhui Province was selected to study soil available S and the response of rapeseed yield to S fertilizers. Results showed that average content of soil available S was 15.31mg/kg, insufficient seriously. About 61.29% and 35.48% of the total soil area were of S-insufficient and potential S-insufficient, respectively. Among the main important soils, gray-alluvial meadow soil was of the most S-insufficient, about 80% of this soil area was of S-insufficient, this soil showed a remarkable response of rapeseed yield to S fertilizers. Compared with CK (only urea applied), rapeseed yield with S-fertilizers increased by 10.89% ~ 26.21% with a mean of 15.80% in the pot experiment and 9.42% ~ 16.43% with a mean of 13.29% in the field experiment.

**Key words:** Soil available sulfur content, Rapeseed, Sulfur, Wangjiang County