

# 连续多年施用硫酸钾肥对烟田土壤及烟株硫素含量的影响

张继光<sup>1,2</sup>, 梁洪波<sup>1</sup>, 申国明<sup>1</sup>, 董建新<sup>1\*</sup>, 张清明<sup>3\*</sup>,  
陈向东<sup>4</sup>, 吴元华<sup>1</sup>, 查婷<sup>1</sup>, 于海容<sup>1</sup>

(1.农业部烟草生物学与加工重点实验室, 中国农业科学院青岛烟草资源与环境野外科学观测试验站, 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2.土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008;  
3.福建省烟草公司三明市公司, 福建 三明 365000; 4.贵州中烟工业有限责任公司, 贵阳 550001)

**摘要:**为明确连续施用硫酸钾肥对烟田土壤及烟株硫含量及硫分配的影响, 设置并开展了3年的硫酸钾肥定位试验。研究表明, 根际土的有效硫含量受烤烟生育期及施肥量的影响较小, 但根外土有效硫随施肥量的增加而增加, 且以旺长期最高。土壤全硫含量受烟草根系及施肥量的影响, 根际土中含量显著低于根外土, 且两者均随施肥量的增加而显著增加(对照的根际土除外)。硫酸钾肥显著增加了叶部全硫含量及其积累量, 并且随施用量的增加而增加; 其对茎部的影响次之, 对根部影响最小, 但施肥量对成熟期各部位全硫分配率的影响较小。连续3年施用含硫量达125.4 kg/hm<sup>2</sup>的肥料后, 各叶位的含硫量均达到0.7%及以上。因此, 应根据烟田土壤及烟叶硫含量的实际情况, 合理规范硫酸钾类肥料在烟草生产中的施用量。  
**关键词:** 定位试验; 烤烟; 根际; 硫素; 分配

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119(2013)06-0077-06

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2013.06.015

## Effects of Successive Fertilization of Potassium Sulfate on Change of Sulfur Content in Soil and Tobacco Plant

ZHANG Jiguang<sup>1,2</sup>, LIANG Hongbo<sup>1</sup>, SHEN Guoming<sup>1</sup>, DONG Jianxin<sup>1\*</sup>, ZHANG Qingming<sup>3\*</sup>,  
CHEN Xiangdong<sup>4</sup>, WU Yuanhua<sup>1</sup>, ZHA Ting<sup>1</sup>, YU Hairong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Tobacco Biology and Processing, Ministry of Agriculture, Qingdao Tobacco Resources and Environment Field Station of CAAS, Tobacco Research Institute of CAAS, Qingdao 266101, China; 2. Key State Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 3. Sanming Tobacco Company of Fujian Province, Sanming, Fujian 365000, China; 4. China Tobacco Guizhou Industrial Co., Ltd, Guiyang 550001, China)

**Abstract:** In order to evaluate the effect of successive fertilization of potassium sulfate on change of sulfur (S) content in soil and tobacco plant, a 3 year continuous fertilization field experiment was established and analyzed. The results showed that the soil available S content in rhizosphere of tobacco changed little with the growth stages and the fertilizer rates, but it increased with the S fertilizer rates, and decreased with the growth stages in out-rhizosphere, with the highest values at the vigorous growth stage. The total soil S was significantly affected by tobacco root and the S fertilizer rate. The total S content in rhizosphere was obviously lower than that in out-rhizosphere, and both of them increased with the S fertilizer rates except for the rhizosphere soil in CK. The application of potassium sulfate fertilizer significantly increased the total S content and its accumulation in leaves, and they both increased with the S fertilizer rates in general. But it had less effect on stem, and the least on root. Moreover, the S fertilizer rate had little influence on the distribution of total S in each part of tobacco at maturity stage. After 3 year's application of sulfate fertilizer with 125.4 kg/hm<sup>2</sup> per year in this study, the total S content at different leaf positions reached at 0.7% or above, which was the critical value affecting the quality of tobacco leave. In conclusion, the S fertilizer rates in tobacco plantation should be adjusted reasonably according to the soil condition and the S content in tobacco leaves in the future.

**Keywords:** fixed position experiment; flue-cured tobacco; rhizosphere; S nutrient; distribution

基金项目: 中国烟草总公司山东省公司科技项目(201002); 中国农业科学院烟草研究所所长基金(2010-12); 土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金(Y052010042)

作者简介: 张继光, 男, 博士, 助研, 主要从事土壤治理及土壤生态方面的研究。E-mail: zhangjiguang@caas.cn。\*通信作者, E-mail: dongjianxin@caas.cn  
收稿日期: 2013-07-20

硫作为植株吸收的第四大营养元素,在植物体内发挥着重要的生理作用,硫也是土壤中的主要元素之一<sup>[1]</sup>,随着土壤风化及土壤的形成,硫酸盐能不断从土壤中释放出来,从而被植物根系吸收变成植株内的有机硫及微生物组织<sup>[2]</sup>。土壤硫素对烤烟生长发育和品质形成具有重要意义,硫缺乏和过量均不利于烟草正常生长。当土壤中的有效硫缺乏时,烟草上部叶片失绿黄化,下部叶片早衰,生长停滞,烤后烟叶的可溶性蛋白质含量降低;当土壤有效硫含量过高时,烤烟的产量降低,烟叶品质下降,烟叶化学成分的协调性差,烟叶的燃烧性、香气、香气量和吃味均受到不同程度的影响<sup>[3]</sup>。

在烟草农业生产上,由于施用的肥料多是含硫肥料及烟草的选择性吸收,缺硫对烟草生长及烟叶品质的影响在目前生产中尚不多见<sup>[4]</sup>。相反,伴随着人们对钾肥重要性认识的提高及其他钾肥资源的限制,硫酸钾施用量越来越高,这容易给土壤带入过量硫素,加之过磷酸钙和有机肥中也含有一定量的硫,此外干湿沉降也会带入部分硫,这使得土壤及烟叶中硫含量不断提高。一些研究认为烟叶中的硫与其燃烧性和香吃味具有显著的负相关关系,过量的硫素营养将会降低烟叶的可用性,使烟叶色泽黯淡,燃烧性变差,导致烟叶品质下降<sup>[5-6]</sup>。目前硫过量问题已经引起了烟草业界的普遍关注,美国等烟草先进生产国已规定烟叶中硫的最高含量是0.7%<sup>[7]</sup>,我国也将烟叶中的硫含量作为烟叶品质的重要评价指标之一。

鉴于硫元素丰缺对烟草生长发育及烟叶产、质量的重要性,以及烟田存在大量施用硫酸钾肥提升烟叶含钾量的现实情况,开展烟田土壤及植株硫素营养及其调控研究显得十分重要。近年来,关于土壤硫素的形态、转化和利用等方面的研究报道较多<sup>[4,8-11]</sup>,但对烟草根际有效硫的动态及硫素积累分配的关注较少,研究连续使用硫酸钾后土壤硫素的时空变化特征及其在烟草不同部位的积累分配规律,为指导烟田合理施用含硫肥料,实现烟田土壤的定向培育和烟叶质量提升具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

硫酸钾肥定位试验设置在中国农业科学院青岛烟草资源与环境野外科学观测试验站(118.011°~120.033°E,36.007°~36.057°N)内。该试验站位于青岛即墨市龙泉镇石门村,属暖温带半湿润季风气候区,光热资源充足,年平均气温12.7℃,无霜期年均190d,年均降水量750mm,土壤类型为棕壤,具有良好的区域代表性,适宜各种类型的烟草种植。试前土壤的基本理化性质为pH(H<sub>2</sub>O,1:2.5)6.0,有机C含量9.39g/kg,有效硫含量34.43mg/kg,全N、全P及全K分别为0.98、1.42和15.83g/kg,碱解N、有效P(Olsen-P)及速效K(NH<sub>4</sub>OAc-K)分别为60.3、12.9和102mg/kg。

### 1.2 试验设计

该定位试验始于2009年,试验设4个处理(对照、低S、中S和高S),每个处理3次重复,随机区组排列。每个重复小区面积为22m<sup>2</sup>,栽烟40株,行距1.1m,株距0.5m,品种为NC89,种植制度采用烟草-冬闲制。

试验用肥料为烟草专用复合肥(含N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O及S分别为15%、15%、15%、12%)和硫酸钾(含K<sub>2</sub>O及S分别为50%、18%),按不同的氮磷钾比率进行配施,全部肥料在起垄时条施,作基肥一次性施入,具体试验处理及施肥量见表1。

表1 各试验处理的养分施用量  
Table 1 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O and S rates of each treatment

处理	NPK 配比	养分投入量/(kg·hm <sup>-2</sup> )			
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S
CK	无肥	0.0	0.0	0.0	0.0
低S	1:1:1	82.5	82.5	82.5	66.0
中S	1:1:2	82.5	82.5	165.0	95.7
高S	1:1:3	82.5	82.5	247.5	125.4

### 1.3 样品采集与测定

1.3.1 土壤样品 2011年在烤烟生长的3个主要生育期,即旺长期(2011-07-15)、现蕾期(2011-08-19)和成熟期(2011-09-20)分别采样。每个小区每次取带土烟株3棵,采用抖根法采集烟草根际土,同

时取茎体上两颗烟之间的 0~20 cm 耕层土样作为烟草根外土,各生育期的根际土及根外土带回实验室,风干过筛后测定土壤有效硫,并取烤烟成熟期的烟草根际土和根外土测定土壤全硫含量。土壤有效硫及全硫含量的测定均采用硫酸钡比浊法<sup>[12]</sup>。

1.3.2 烟株样品 在烤烟的旺长期,取样烟株分 3 个部位(根、茎、叶),在成熟期,分 6 个部位(根、茎、下部叶、中部叶、上部叶和花序)制样,样品经 105 °C 杀青 30 min,65 °C 恒温烘干称重,计算烟株各部分生物量,粉碎过 100 目筛后测定其全硫含量。烟株样品的全硫含量测定采用浓硫酸-双氧水消化法<sup>[12]</sup>。

1.4 数据处理

数据的统计分析采用 SPSS 13.5 软件进行,不同处理间的差异显著性水平采用 LSD 法进行检验。

2 结 果

2.1 烟草根际及根外土有效硫的动态

烟草根际及根外土有效硫的动态如图 1 所示,总体上根际土有效硫含量随生育期变化不大。在烤烟旺长期(07-15),根际土有效硫以 CK 处理最高(39.02 mg/kg),其他 3 个施硫处理间的差异不大;其原因可能是 CK 与其他处理相比,烟草根系的硫输出远低于从土壤获得的硫补给。在现蕾期(08-19),根际土的有效硫含量在各处理间无显著

差异;在成熟期(09-20),根际土有效硫含量随硫酸钾用量增加呈增加趋势,高 S 处理的有效硫含量与低 S 处理相比差异显著,但与 CK 无显著差异。

根外土有效硫含量随生育期的变化主要受前期施肥的影响,即均随着硫酸钾用量的增加而增加,具体表现为:高 S>中 S>低 S>CK。施硫酸钾肥处理的有效硫含量均在旺长期时最高,其中高 S 处理的含量最高为 201.29 mg/kg,CK 处理最低仅为 29.21 mg/kg。在现蕾期和成熟期,硫酸钾肥施用对根外土有效硫的影响减弱,表现为硫酸钾肥处理的根外土有效硫含量与 CK 处理间的差值在减小。其原因可能是旺长期之后,土壤中硫的输入量减少,同时烟草对硫的吸收量迅速增加,而且该时期降水量较大,容易造成土壤有效硫的严重淋失<sup>[13]</sup>。在整个生育期中,CK 处理的有效硫含量变化不大,说明该处理在烟草生育过程中的硫素输入、输出基本保持平衡。

2.2 成熟期烤烟根际及根外土全硫含量的差异

在烤烟成熟期,从各处理根际及根外土的土壤全硫含量变化可以看出(图 2),土壤全硫含量受根系及施肥量的显著影响。在根际土及根外土中,土壤全硫含量均随硫酸钾肥施用量的增加而显著增加。根际土及根外土中全硫含量均以高 S 处理最高,其含量分别是 0.08 和 0.171 g/kg,中 S 处理次之。

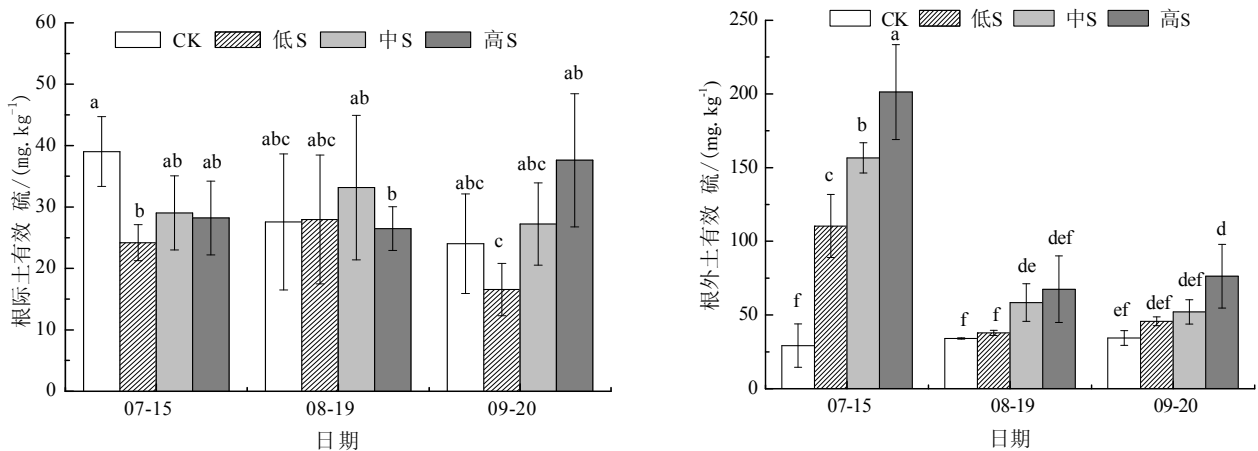


图 1 不同处理烟草根际土及根外土有效硫动态

Fig. 1 Dynamics of soil available S content in and out rhizosphere of different treatments

注:不同小写字母表示在  $p < 0.05$  水平上差异显著,下同。

除 CK 外，其他 3 个处理均表现为根外土中的全硫含量高于根际土，特别是中 S 和高 S 处理的烤烟根外土全硫含量显著高于根际土。

### 2.3 旺长期烟株全硫状况

图 3 显示了旺长期烟株各部位全硫的质量分数及其累积量。从图中可以看出，烟株各部位全硫的质量分数整体上以叶部最高，其次是烟茎，烟根最低，但 CK 处理的根部全硫质量分数稍高于茎部。在试验各处理中，高 S 处理的叶部含硫量最高，为 0.59%；低 S 处理的根部含硫量最低，为 0.28%。基于烟株各部位的生物量，计算出各部位的全硫累积量也具有类似趋势，其全硫累积量顺序为：叶部 > 茎部 > 根部，特别是叶部的硫累积量随硫酸钾

用量的增加而显著增加。

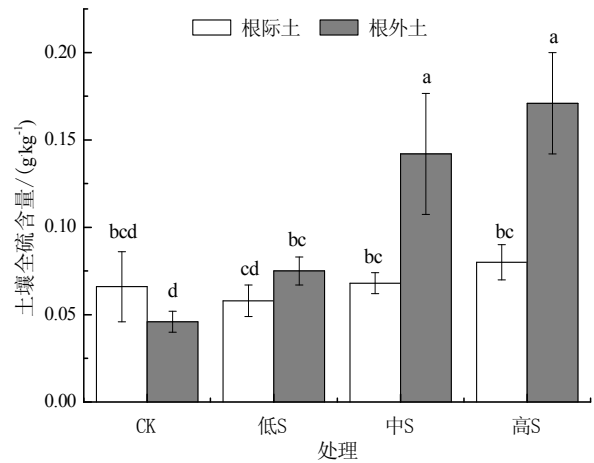


图 2 不同处理烟草根际土及根外土全硫含量差异  
Fig. 2 Soil total S content difference in and out rhizosphere in different treatment

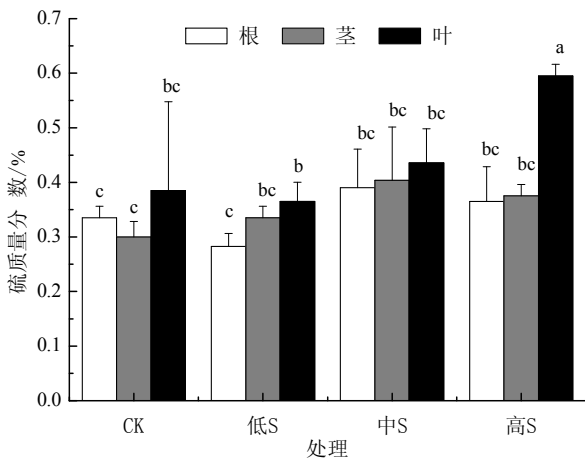


图 3 旺长期烟株各部位全硫的质量分数及其硫素累积量

Fig. 3 The content and accumulation of total S in different parts of tobacco plant at vigorous growth stage

### 2.4 成熟期烟株全硫状况

成熟期各处理烟株不同部位的全硫质量分数如表 2 所示，总体上，除根部外烟株其他部位的全硫含量均随硫酸钾肥用量的增加而增加，其中茎的全硫含量受施肥的影响相对较小。各部位全硫质量分数的总体顺序为：下部叶>中部叶>上部叶>花序>茎>根。其中高 S 处理的下部叶全硫质量分数最高为 1.01% 其次是中部叶，全硫质量分数也达 0.82%。且各施硫处理叶部的全硫质量分数较旺长期时有明显增加。

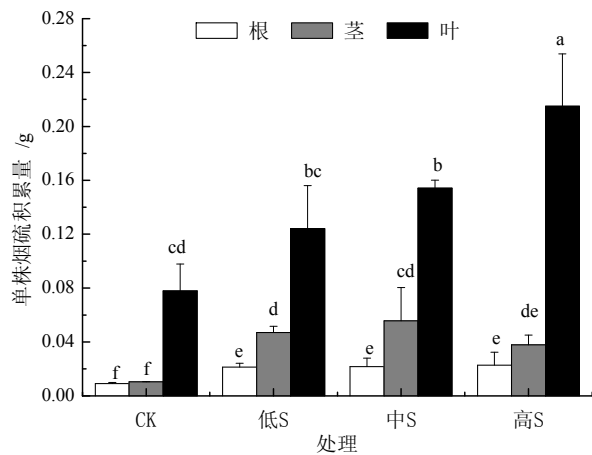


图 4 为成熟期不同处理烟株各部位的硫素累积量及其分配率。从图中可以看出，低 S 和中 S 处理的中部叶及上部叶的全硫累积量，均与茎部累积量相当；而 CK 和高 S 处理的全硫累积量则显著高于茎部。从烟草吸收的硫在各部位的分配率可以看出，根部全硫的分配率占 8.1%~11.6%，茎部是 13.2%~22.1%，叶部是 59.0%~77.5%，其中下部叶是 12.2%~15.7%，中部叶是 22.3%~35.7%，上部叶是 21.0%~32.2%，花序仅占 0.01%~0.07%，且各部位的全硫分配率受施肥量影响较小。

表 2 各处理烟株不同部位的全硫质量分数 %  
Table 2 The content of total S in different parts of tobacco plants %

处理	根	茎	下部叶	中部叶	上部叶	花序
CK	0.37±0.06 a	0.31±0.01b	0.30±0.03d	0.37±0.06c	0.40±0.05b	0.33±0.01c
低 S	0.29 ± 0.04ab	0.27 ± 0.01b	0.49 ± 0.04c	0.45 ± 0.07c	0.42 ± 0.06b	0.39 ± 0.04bc
中 S	0.29 ± 0.01b	0.30 ± 0.03b	0.65 ± 0.06b	0.63 ± 0.06b	0.48 ± 0.09b	0.41 ± 0.01b
高 S	0.34 ± 0.01 ab	0.43 ± 0.07a	1.01 ± 0.16a	0.82 ± 0.11a	0.70 ± 0.10a	0.60 ± 0.00a

注：同列内小写字母不同表示不同处理在  $p < 0.05$  水平上差异显著。

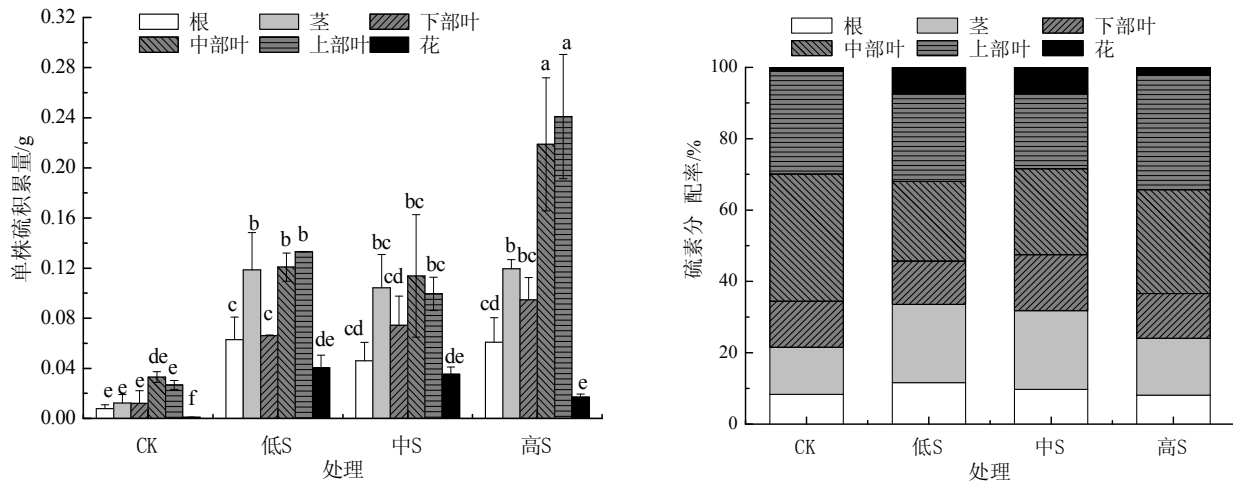


图 4 成熟期烟株各部位的硫素积累量及其分配率

Fig. 4 The accumulation and distribution of total S in different parts of tobacco plants at mature stage

### 3 讨论

作物对硫的吸收主要由根系从土壤中吸收，一般占植物吸硫总量的  $2/3$ <sup>[14]</sup>，主要是在根毛区以  $SO_4^{2-}$  的形式从土壤溶液中吸收。此外，作物冠层及其气孔也能从大气沉降中吸收硫元素，从大气中吸收的量取决于土壤供硫量和大气中硫化物的浓度。当土壤供硫不足时，大气中低浓度的  $SO_2$  和  $H_2S$  也能为烟草地上部吸收以提供部分硫营养<sup>[8]</sup>。有研究表明，肥料硫施入土壤后，土壤硫浓度会明显增加，但几个月后，由于植株吸收、流失或同化为有机质而降低，并且发现植株的硫含量与土壤初始硫存在显著相关性 ( $r = 0.72$ )<sup>[15]</sup>。本研究结果也显示，在施肥后的旺长期，各施肥处理根外土的有效硫含量最高，但在随后的现蕾期和成熟期，其含量迅速降低并保持平稳状态，这与烟株的吸收及淋流失损失等造成的输入输出变化有关。

一般烟叶全硫含量在 0.2% ~ 0.7% 范围内，硫元素在根、茎、叶、顶权的含量分布为顶权 > 叶 > 根 > 茎<sup>[16]</sup>，这与本研究结果稍有不同。本试验各处理均

显示叶部全硫含量最高，其次是花序，根茎含量差别不大。硫素的运转取决于该部位细胞组织的硫素供应以及其他部位对硫素的需求状况，一般情况下，硫素不发生移动，在代谢加强或者是硫胁迫时才会出现硫的转移<sup>[17]</sup>。另外，烟草体内硫元素含量的变化分布是不均一的，与部位密切相关。由于烟株上不同部位烟叶营养条件不同，硫元素含量也有很大差异，本研究中不同叶位间全硫含量表现为下部叶 > 中部叶 > 上部叶，这与刘勤等<sup>[18]</sup>在红壤和潮土上盆栽试验的研究结果一致。

在影响烟叶含硫量的因素中，除土壤硫含量为重要因素外，硫肥施用量的影响也十分显著。随施硫量增加，根际土及根外土中的有效硫含量明显上升，由于在根区有充足可利用硫，烟叶硫含量会显著升高，甚至超过通常认为的最高临界值 0.7%<sup>[19]</sup>。本研究中，成熟期高 S 处理的下部叶及中部叶的全硫含量分别是 1.01% 和 0.82%，已经超过临界值，将会严重影响烟叶的品质。但 Marchand 等<sup>[20]</sup>的研究认为即使施用  $800 \text{ kg/hm}^2$  硫酸钾，也只使烟叶硫

的最大浓度达到 0.49%，尚保持在临界值以下。结果不一致的原因可能与各研究点的土壤全硫量及其有效性有关，也与硫酸钾的利用率及淋流失等损失有关。因此，在不同地区的烟叶生产中，要因地制宜施用含硫肥料，特别根据土壤及烟叶中硫元素的含量情况，合理调控含硫肥料（如硫酸钾、过磷酸钙及含硫复合肥等）的施用，防止因施入土壤硫素过量而带来烟叶品质的负面影响。

## 4 结 论

（1）在山东棕壤烟田进行的连续 3 年硫酸钾肥定位试验显示，根际土的有效硫含量随烤烟生育期及施肥量的变化不大，但根外土与此不同，其有效硫含量随施肥量的增加而增加，且各生育期中以旺长期最高，随后急剧下降。

（2）土壤全硫含量受根系及施肥量的显著影响，在烟草根际土及根外土中，土壤全硫含量均随硫酸钾肥施用量的增加而显著增加。

（3）硫酸钾肥的施用显著增加了叶部的全硫含量及其积累量，对茎部硫含量及积累量的影响次之，对根部影响最小。各处理中全硫的分配率均为叶部>茎部>根部，且叶部以中部及上部叶为主。

（4）连续 3 年施用含硫为 125.4 kg/hm<sup>2</sup> 的肥料后，烤烟不同叶位的硫含量均达到 0.7% 临界值及以上。因此，应根据土壤及烟叶中硫含量的情况，合理规范硫酸钾类肥料在烟草生产中的施用量。

### 参考文献

[1] 王庆仁, 林葆. 植物硫营养研究现状与展望[J]. 土壤肥料, 1996, 29(3): 16-19.

[2] Aguilera M, Mora, M L, Borie G, et al. Balance and distribution of sulphur in volcanic ash-derived soils in Chile[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002, 34(9): 1355-1361.

[3] 许自成, 王林, 肖汉乾, 等. 湖南烟区烤烟硫含量与土壤有效硫含量的分布特点[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2507-2511

[4] 王照林, 张晓海, 王平华, 等. 烤烟对硫素的田间吸收利用规律研究[J]. 云南农业大学学报, 2004, 19(1): 105-109.

[5] 张晓海, 王绍坤. 利用 <sup>35</sup>S 研究烤烟对 S 的吸收分配与再分配[J]. 云南农业大学学报, 2001, 16(2): 64-69.

[6] 邓小华, 周冀衡, 赵松义, 等. 湖南烤烟硫含量的区域特征及其对烟叶评吸质量的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2853-2859.

[7] 曹志洪. 优质烤烟生产的钾素与微肥[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 36-46.

[8] 刘勤, 曹志洪. 烟草硫素营养与烟叶品质研究进展[J]. 土壤, 1998, 30(6): 320-323, 327.

[9] 胡正义, 曹志洪. 我国南方地区典型土壤有机硫矿化速率及供硫潜力研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(6): 69-74

[10] 刘勤, 赖辉比, 曹志洪. 不同供硫水平下烟草硫营养及对 N、P、Cl 等元素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 63-68

[11] Eriksen J. Gross sulphur mineralisation-immobilisation turnover in soil amended with plant residues[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37(12): 2216-2224.

[12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.

[13] 刘宝存, 吴静, 孙明德. 京郊小麦-玉米轮作土壤有效硫的动态变化[J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 6(1): 58-62

[14] 朱英华. 烤烟硫营养特性及其调控技术研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.

[15] Eriksen J. Sulphur cycling in Danish agriculture soils: inorganic sulphate and plant uptake[J]. Soil Biology & Biochemistry, 1997, 2(9-10): 1379-1385.

[16] 宾柯, 周清明, 杨虹琦, 等. 烟草硫素营养研究现状与展望[J]. 作物研究, 2007, 21(5): 719-721.

[17] 邵惠芳, 任晓红, 乔宁, 等. 烟草硫素营养研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(3): 304-307.

[18] 刘勤, 张新, 赖辉比, 等. 土壤烤烟系统硫素营养研究[J]. 中国烟草学报, 2000, 6(3): 14-17.

[19] Tso T C. Production, Physiology and Biochemistry of Tobacco Plant[M]. IDEALS, Inc. Beltsville, Maryland USA, 1990: 341-342.

[20] Marchand M. 不同钾肥品种对烟草产量与化学成分的影响研究[J]. 中国烟草科学, 1997(2): 6-11.