

网络出版时间:2013-09-22 17:04

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130922.1704.018.html>

硫肥对烤烟农艺性状及光合特性的影响

朱英华¹,周可金¹,吴社兰¹,张 国⁴,屠乃美^{2,3}

(1 安徽农业大学 农学院,安徽 合肥 230036;2 湖南农业大学 农学院,湖南 长沙 410128;

3 中国烟草中南农业试验站,湖南 长沙 410128;4 安徽皖南烟草责任有限公司,安徽 宣城 242000)

[摘 要] **【目的】**研究不同施硫量对烤烟农艺性状和光合特性的影响,以探明烤烟对硫的光合响应机制。**【方法】**以烤烟 K326 为供试材料,采用大田试验,施硫量分别为 0,50,100,150 和 200 kg/hm²,于烤烟移栽后不同时间测定烤烟农艺性状、叶绿素含量和光合参数。**【结果】**不同硫肥水平对烤烟的株高、茎围影响不大。在植烟土壤有效硫含量为 20.07 mg/kg 时,不施硫肥使烤烟叶片的最大叶面积和叶绿素含量显著降低,从而导致净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、叶面蒸汽压力亏缺(VPD)显著降低,气孔限制值(L_s)、瞬时水分利用率(WUE)和潜在水分利用率(WUE_i)明显升高。但过量施硫(200 kg/hm²)也会使烤烟的最大叶面积、节间距、叶绿素含量、 P_n 、 T_r 、 G_s 、 VPD 显著降低。在施硫量为 50~100 kg/hm² 时,烤烟最大叶面积显著增加,叶绿素含量、 P_n 、 T_r 、 G_s 、 VPD 明显提高,促进了烤烟正常的生长发育和光合作用。**【结论】**由于植物对养分的吸收受土壤条件、农田气候及作物特性等综合因素的影响,即使植烟土壤有效硫含量在适宜范围的上限,也应该对植烟土壤增施硫肥,但硫肥的用量不宜过高,以 50~100 kg/hm² 较为适宜。

[关键词] 烤烟;农艺性状;光合特性;硫肥

[中图分类号] S572.01

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2013)10-0105-07

Effect of sulfur fertilization on agronomic traits and photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco

ZHU Ying-hua¹, ZHOU Ke-jing¹, WU She-lan¹, ZHANG Guo⁴, TU Nai-mei^{2,3}

(1 College of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China; 2 College of Agronomy,

Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 3 Tobacco Agricultural Experiment Station of Central-South China, Changsha, Hunan 410128, China; 4 Tobacco Leaf Company of Wannan, Xuancheng, Anhui 242000, China)

Abstract: **【Objective】**The experiment was carried out to study the effect of different sulfur fertilization levels on agronomic traits and photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco. **【Method】**The field experiment was carried out using K326 as experiment material. The tested sulfur fertilization dosages were 0, 50, 100, 150, and 200 kg/hm². **【Result】**The sulfur fertilization levels had no significantly influence on plant height and stem girth. The greatest leaf area and the chlorophyll content of flue-cured tobacco were significantly reduced in the 0 kg/hm² level while net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatic conductance, and vapor pressure deficit were significantly lowered and the stomatic limited value, water use efficiency and intrinsic water use efficiency were significantly increased. The greatest leaf area, internode, net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatic conductance, and vapor pressure deficit significantly increased in the level of 50 kg/hm² and 100 kg/hm². Thus, the levels of 50 kg/hm² and 100 kg/hm² could

[收稿日期] 2012-12-03

[基金项目] 国家烟草局和湖南省烟草局资助项目(05-02);安徽农业大学农学院科研启动基金项目(2011004)

[作者简介] 朱英华(1973—),女,山东滨州人,副教授,主要从事烟草栽培生理及烟草调制研究。E-mail: zhu Yinghua1973@126.com

[通信作者] 屠乃美(1963—),男,安徽蚌埠人,教授,博士生导师,主要从事烟草栽培生理和水稻栽培生理。

promote the growth,development and photosynthesis of flue-cured tobacco. Further increase of sulfur fertilization resulted in decrease of these parameters.【Conclusion】Absorption of nutrition of crop was influenced by soil condition,climate in farmland,and crop characteristics. The sulfur fertilization should be applied in the plant-tobacco soil even if the available sulfur content of soil was close to the upper limit of suitable range. The suitable sulfur fertilization dosages were 50—100 kg/hm².

Key words: flue-cured tobacco;agronomic traits;photosynthetic characteristics;sulfur fertilization

施肥是调控烤烟生长发育,提高烟叶产量和品质的重要措施。在烟草生产中,由于大量施用硫酸钾而向土壤中带入了过量的硫^[1];在我国,酸沉降阴离子主要是 SO₄²⁻ 离子,随着环境污染的加重,酸沉降的发展也日趋严重^[2]。因此,施肥和酸沉降导致植烟土壤中可用性硫不断提高,从而引起土壤 pH 值降低,导致土壤理化性状恶化。过多的硫素还会抵消增施钾肥的作用,并抑制烟草对镁的吸收。烟草吸收过多的硫时,大量 SO₄²⁻ 运输到叶片,还原形成含硫化物,使烟叶的燃烧性降低,甚至造成熄火现象^[3]。许自成等^[4]研究认为,湖南烤烟营养元素在各烟区间存在较大变异,其中氮、磷、钾、钙、锌、硼、氯含量适中,镁、铜、锰含量较低,硫含量较高;罗建新等^[5]也认为,湖南植烟土壤有效硫含量普遍偏高;朱英华等^[6]研究后认为,长期的烟-稻复种连作方式,导致植烟土壤中全硫和有效硫富集,植烟土壤过高的硫含量和作为氮肥及钾肥伴随离子的硫过量施用,将会严重威胁烟草生产安全。本研究以烤烟 K326 为试验材料,采用大田设计,设置不同施硫水平,研究不同施硫量对烤烟农艺性状和光合特性

的影响,以期烟草生产的科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材 料

供试土壤为黄壤,其基本理化性质为 pH 6.27,含有机质 41.0 g/kg,碱解氮 118.0 mg/kg,速效磷 15.80 mg/kg,速效钾 143.0 mg/kg,有效硫 20.07 mg/kg,交换性钙 11.69 cmol/kg,交换性镁 0.71 cmol/kg,水溶性氯 15.45 mg/kg。供试烤烟品种为 K326,于 2006-12-20 进行漂浮育苗,待烟苗长至 7 叶 1 心时,在 2007-03-26 选取生长一致的健壮幼苗移栽。

1.2 试验设计

试验设 5 个处理,施硫量分别为 0,50,100,150 和 200 kg/hm²,每处理重复 3 次,随机区组排列,小区面积为 60 m²。试验中硫处理用量为纯硫,所用硫肥为 K₂SO₄ 和(NH₄)₂SO₄,并且保持烤烟氮、磷、钾 3 种主要营养元素的平衡,以消除硫以外的其他营养元素对烤烟的影响。氮肥为硝酸钾、硝酸铵和硫酸铵,磷肥为钙镁磷肥,钾肥为硫酸钾和硝酸钾。具体施肥方案如表 1 所示。

表 1 不同施硫量处理的氮、磷、钾及硫肥用量

Table 1 Nitrogen,potassium,phosphorus and sulfur amounts for the different sulfur treatments kg/hm²

施硫量 Level of sulfur fertilization	氮肥 Nitrogen fertilization		钙镁磷肥 Calcium-magnesium phosphate fertilization	硫肥 Sulfur fertilization	
	NH ₄ NO ₃	KNO ₃		(NH ₄) ₂ SO ₄	K ₂ SO ₄
0	215.20	322.34	666.67	0	0
50	277.70	164.53	666.67	0	271.89
100	340.20	6.72	666.67	0	543.75
150	223.18	0	666.67	197.47	555.32
200	98.18	0	666.67	403.72	555.32

将 2/3 氮肥、硫肥和全部钙镁磷肥在烟草移栽前作为基肥施入土壤,剩余的 1/3 氮肥和硫肥在烟草移栽后 30 d 以硝酸钾和硫酸钾追施。氮磷钾配施比例为 $m(\text{N}):m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O})=1:1:2.5$,栽培与管理方法按当地常规方式进行。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 烤烟农艺性状 于烤烟打顶后测定烤烟的农艺性状。烤烟株高是指从地表到茎的最顶端的距离;最大叶面积是最大叶长×最大叶宽×0.634 5;

茎围是指从根部至茎高 1/3 处节间的周长;节间距是指在茎高 1/4 处测量上下各 5 节(共 10 节)的长度,取平均值^[3]。

1.3.2 烤烟叶绿素含量 于烟苗移栽后 35,45,55,65 和 75 d,选取代表性样品 3 株,于倒数第 5 叶取样,采用乙醇浸提分光光度法测定各处理的叶绿素含量^[7]。

1.3.3 烤烟光合参数 于烟苗移栽后 30,45,60 和 75 d,选取代表性烟株,每处理选样 3 株,在光合有

效辐射(PAR)为 $1\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的条件下,测定各处理倒数第 5 叶的净光合速率(P_n)、蒸腾强度(Tr)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、叶面蒸气压亏缺(VPD)。试验仪器采用美国 LI-COR 生产的 LI-6400 型便携式光合作用测量仪测定。烤烟的气孔限制值(L_s)按照吴克宁等^[8]的方法计算: $L_s=1-C_i/C_a$ (C_a 为大气 CO_2 浓度)。根据 Penuelas 等^[9]的方法,以 P_n/Tr 计算瞬时水分利用效率(WUE),以 P_n/G_s 计算潜在水分利用效率(WUE_i)。

1.4 数据分析

采用 DPS 7.05 对数据进行统计分析,应用 Du-

can 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同施硫量对烤烟农艺性状的影响

由表 2 可以看出,烤烟的株高和茎围在施硫量为 $50\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 时达到最大值,在施硫量为 $100\sim 200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 时,随施硫量的增加而逐渐下降,但各处理间差异均未达到显著水平。烤烟的节间距随施硫量的增加逐渐下降,以不施硫处理最长,显著高于施硫量 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理。烤烟的最大叶面积在施硫量为 50 与 $100\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理间差异不显著,但均显著高于施硫量为 150 和 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的处理。

表 2 不同施硫量对烤烟农艺性状的影响

Table 2 Effects of different S treatments on the agronomic characteristics of flue-cured tobacco

施硫量/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) Level of sulfur fertilization	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem girth	节间距/cm Internode	最大叶面积/ cm^2 The greatest leaf area
0	147.67±19.73 a	7.40±0.31 a	9.0±1.0 a	1 265.56±54.51 bc
50	151.67±12.22 a	8.78±0.27 a	8.7±0.6 a	1 514.28±82.00 a
100	147.67±9.07 a	8.64±0.67 a	8.3±1.5 a	1 385.97±72.06 ab
150	145.67±9.87 a	7.73±0.65 a	7.3±0.6 ab	1 178.53±89.18 c
200	131.33±14.47 a	7.68±0.26 a	6.0±1.0 b	1 174.71±35.28 c

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异达 $P<0.05$ 显著水平。
Note:Data with different lowercase letters in the same column mean significant difference at $P<0.05$ level.

2.2 不同施硫量对烤烟叶绿素含量的影响

由图 1 可见,在烤烟移栽后 35 d,施硫量 50 与 $100\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理烤烟叶片的叶绿素 a 含量差异不显著,但均显著高于施硫量为 $0,150$ 和 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理,这说明在烤烟团棵进入旺长期,高施硫处理使烤烟叶片叶绿素 a 含量显著降低。施硫量 50 和 $100\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的处理烤烟叶片的叶绿素 b 和叶绿素 a+b 含量在烤烟移栽后 35 d 也高于施硫量 $0,150$ 和 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理,但各处理间的差异未达到显著水平;各处理叶绿素 a/b 值在烤烟移栽后 35 d 随施硫量的增加而降低,但各处理之间差异不显著。

在烤烟移栽后 45 d,烤烟叶片的叶绿素 a 和叶绿素 a+b 含量仍以施硫量 50 和 $100\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理的较高,但与施硫量 0 和 $150\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理间差异不显著,仅显著高于施硫量 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理,这说明在烤烟旺长初期,过高的硫用量显著降低了烤烟叶绿素 a 含量;各处理叶绿素 b 含量以施硫量 $50\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理较高,但各处理之间差异不大。

在移栽后 55 d,烤烟进入旺长中期,施硫量 50 和 $100\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理烤烟叶片的叶绿素 a 含量与施硫量 $150\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理差异不显著,但显著高于施硫量 0 和 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理;烤烟叶片叶绿素 b 和叶绿素 a+b 含量仍以施硫量 50 和 $100\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理的

较高,但各处理间差异不显著。

在烤烟移栽后 65 d,烤烟打顶后脚叶开始成熟采收,烤烟进入旺长末期及成熟初期,叶片逐渐进入成熟期,叶片的叶绿素在逐渐降解,各处理烤烟叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 含量都低于烤烟移栽后 55 d。施硫量 $50\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理的叶绿素 a 含量最高,显著高于施硫量 0 和 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理,但与施硫量 100 和 $150\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理差异不显著,并且随施硫量的增加,烤烟叶片叶绿素 a 含量逐渐降低。在烤烟移栽后 65 d,硫对不同处理烤烟叶绿素 b 含量产生显著影响,施硫量 50 和 $100\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理的叶绿素 b 含量显著高于施硫量 $0,150$ 和 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理;各处理叶绿素 a+b 含量的变化与叶绿素 b 含量一致。

在移栽后 75 d,烤烟进入成熟期,施硫量 $50\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理的叶绿素 a 和叶绿素 a+b 含量显著高于其他处理,并且随施硫量的增加,烤烟叶片叶绿素 a 和叶绿素 a+b 含量显著降低,各处理间达显著水平;烤烟叶片叶绿素 b 含量以施硫量 $50\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理最高,且显著高于施硫量 150 和 $200\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理,但与施硫量 0 和 $100\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 处理差异不显著。

移栽后不同时间,不同施硫量对烤烟叶片叶绿素 a/b 值影响不大,各处理间差异均不显著。

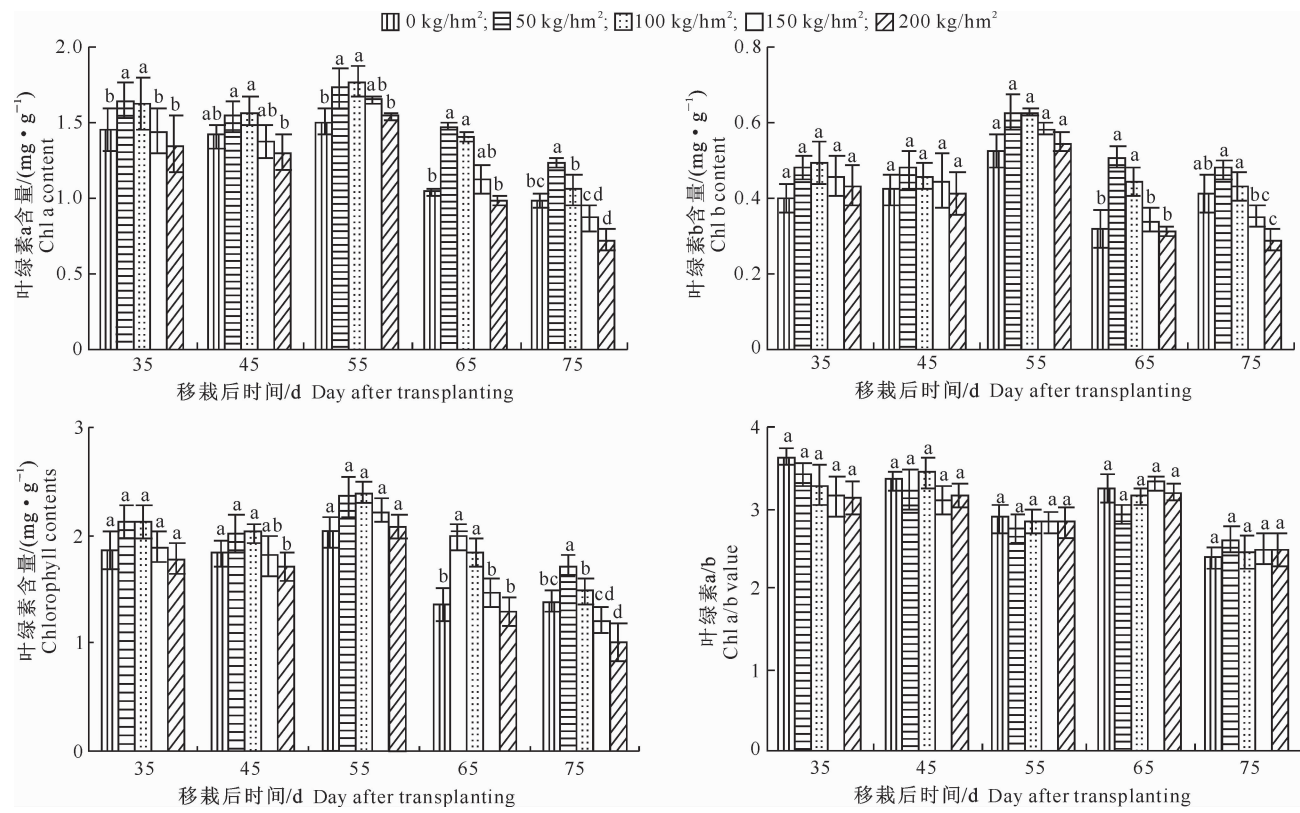


图 1 不同施硫量对烤烟叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of different S treatments on chlorophyll in flue-cured tobacco leaves

2.3 不同施硫量对烤烟叶片光合参数的影响

烤烟为喜光作物,光合作用是烟叶产量和品质形成的基础,但其光合特性受外在环境和内在因素的综合影响^[3]。由图 2 可以看出,烤烟的净光合速率(P_n)随施硫量的升高先上升后下降,在烤烟移栽后 45 d 内,各处理烤烟的 P_n 差异不大,处理间未达到显著水平。在移栽后 60 d,烤烟进入打顶期和成熟初期,施硫量 100 kg/hm² 处理的 P_n 最高,且显著高于施硫量 200 kg/hm² 处理,但与施硫量 0, 50 和 150 kg/hm² 处理差异不显著。在移栽后 75 d,烤烟进入成熟期,由于叶绿素含量的降低,烤烟叶片的净光合速率也较以前有所降低,施硫量 50 和 100 kg/hm² 处理的 P_n 显著高于施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理。

烤烟叶片的气孔导度(G_s)在移栽后 30 d 以施硫量 100 和 150 kg/hm² 处理最高,且显著高于施硫量 0, 50 和 200 kg/hm² 处理,而后三者之间差异不显著。在移栽后 45~60 d,烤烟 G_s 随施硫量的增加先升高后降低,以施硫量 100 kg/hm² 处理最高,但处理间差异不显著。在移栽后 75 d,烤烟叶片 G_s 随施硫量的增加而显著降低,施硫量 50 与 100 kg/hm² 处理之间差异不显著,但显著高于施硫量 0

和 200 kg/hm² 处理。

烤烟叶片的 C_i 在移栽后 30 d 以施硫量 100 kg/hm² 处理的最高,显著高于施硫量 50 和 200 kg/hm² 处理,与施硫量 0 和 150 kg/hm² 处理差异不显著。在移栽后 45~60 d,烤烟的 C_i 在各处理间差异不大。在移栽后 75 d,施硫量 0~150 kg/hm² 处理间的 C_i 差异不显著,但施硫量 50~150 kg/hm² 处理显著高于施硫量 200 kg/hm² 处理。

烤烟在移栽后 30 d,施硫量 100 和 150 kg/hm² 处理的蒸腾速率(Tr)显著高于不施硫处理,但与施硫量 50 和 200 kg/hm² 处理差异不显著。在移栽后 45~60 d,烤烟各处理间的 Tr 差异不显著。在移栽后 75 d,施硫量 50~150 kg/hm² 处理的 Tr 差异不显著,但显著高于施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理。

叶面饱和蒸气压亏缺(VPD)是植株体内水分向环境散失的动力,当植物体水分散失超过允许范围时,叶片通过调节气孔导度限制植物体内水分的散失,从而达到有限水分的有效利用。由图 2 可见,高施硫量处理使移栽后 30 d 烤烟叶片的 VPD 显著下降,施硫量 150 和 200 kg/hm² 处理的 VPD 显著低于施硫量 50 和 100 kg/hm² 处理。在移栽后 45 d,以施硫量 50 kg/hm² 处理的 VPD 最高,但各处

理间差异不显著。移栽后 60 d,施硫量 0~150 kg/hm²处理的 VPD 差异不显著,施硫量 0 和 100 kg/hm² 处理的 VPD 显著高于施硫量 200 kg/hm² 处

理。烤烟移栽后 75 d,施硫量 50 和 100 kg/hm² 处理的 VPD 显著高于施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理。

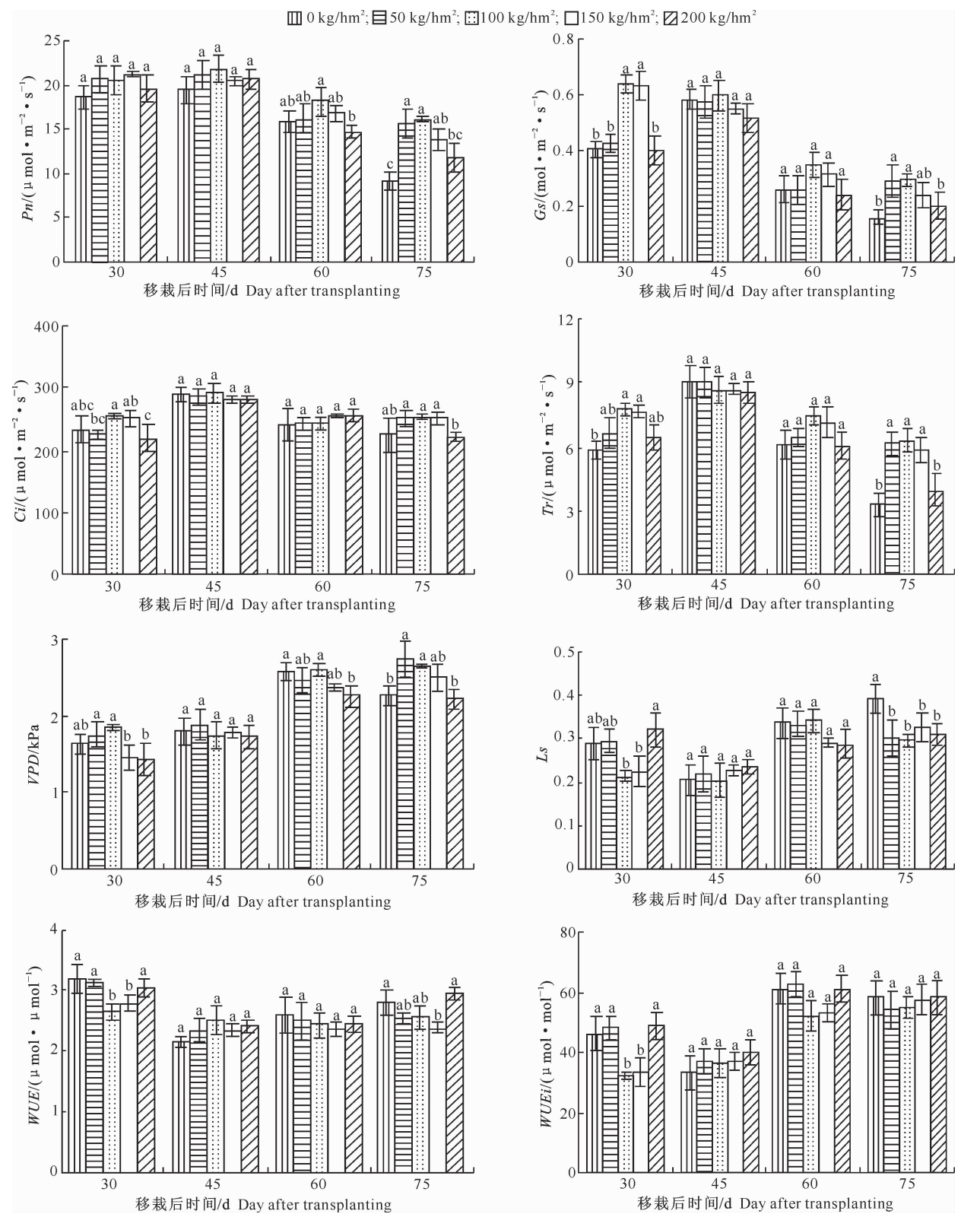


图 2 不同施硫量对烤烟叶片光合参数的影响

Fig.2 Effects of different S treatments on photosynthetic parameters in flue-cured tobacco leaves

在移栽后 30 d, 烤烟叶片的气孔限制值(L_s)以施硫量 100 和 150 kg/hm² 处理最低, 显著低于施硫量 200 kg/hm² 处理, 但与施硫量 0 和 50 kg/hm² 处理差异不显著。在移栽后 45 d, 以施硫量 100 kg/hm² 处理的 L_s 最低, 但各处理间差异不显著。移栽后 75 d, 烤烟不施硫处理的 L_s 最高, 显著高于施硫量 50~200 kg/hm² 的各处理; 不施硫处理的 L_s 在尚熟期显著高于其他 4 个处理, 这导致其 P_n 和 G_s 显著下降。

烤烟叶片的瞬时水分利用效率(WUE)在移栽后 30 d 以施硫量 150 和 100 kg/hm² 处理最低, 显著低于施硫量 0, 50 和 200 kg/hm² 处理。在移栽后 45~60 d, 各处理的 WUE 差异不显著。移栽后 75 d, 在施硫量为 0~150 kg/hm² 时, WUE 随施硫量的增加而降低, 但施硫量为 200 kg/hm² 时 WUE 又显著升高。施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理的 WUE 相对较高, 这主要是由 Tr 的显著降低引起的。烤烟潜在水分利用效率(WUE_i)的变化趋势与 WUE 基本相同。

3 讨 论

据报道, 施用硫、硒肥能明显提高茎瘤芥根、膨大茎、叶片及单株的干物质量^[10]。李玉梅等^[11]研究表明, 硫用量过大(225.0 kg/hm²)会使烟叶品质下降, 减产减值。蔡海洋等^[12]的盆栽试验表明, 在一定范围内施硫有助于烤烟光合色素含量提高, 对烤烟光合作用和产量有促进作用, 但当施硫量超过 0.12 g/kg 干土后, 则上述指标随施硫量增加而降低。在氮供应较充足的条件下, 硫才能发挥作用, 进而改善小麦烘烤品质, 否则, 氮将成为硫发挥作用的限制因素^[13]。施硫提高了小麦群体的光合速率、旗叶蒸腾速率, 同时提高了叶片叶绿素含量, 尤其显著提高了旗叶的净光合速率(P_n), 延缓了灌浆后期 P_n 的下降^[14]。本研究结果表明, 不同施硫量对烤烟的株高、茎围影响不大; 随施硫量的增加, 烤烟的节间距逐渐降低, 施硫量 200 kg/hm² 处理烤烟的节间距显著低于其他处理。烤烟的最大叶面积以施硫量 50 kg/hm² 处理最高, 且显著高于施硫量 0, 150 和 200 kg/hm² 处理, 但与施硫量 100 kg/hm² 处理之间差异不显著。施硫量 50 和 100 kg/hm² 处理的叶绿素 a 含量总体显著高于施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理, 表明不施硫或施硫量过高将使烤烟的叶绿素 a 含量显著下降; 不同施硫量对生长初期的烤烟叶绿素 b 含量影响不大, 但对烤烟生长后期

的叶绿素 b 含量影响显著, 施硫量 50 和 100 kg/hm² 处理的叶绿素 b 含量显著高于其他处理; 烤烟叶片叶绿素 a+b 含量也总体以施硫量 50 和 100 kg/hm² 处理最高, 其他处理显著降低。施硫量 50~150 kg/hm² 处理烤烟的净光合速率(P_n)总体明显高于施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理。在团棵期和尚熟期, 施硫量 100 和 150 kg/hm² 处理烤烟的气孔导度(G_s)显著高于施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理, 旺长期各处理差异不显著。烤烟在团棵和尚熟期, 胞间 CO₂ 浓度(C_i)以施硫量 200 kg/hm² 处理最低, 在旺长期各处理差异不大。烤烟团棵期不施硫处理蒸腾速率(Tr)显著低于施硫量 50~150 kg/hm² 处理, 尚熟期施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理的 Tr 显著低于其他处理, 旺长期各处理之间差异不显著。烤烟团棵期的 VPD 以施硫量 150 和 200 kg/hm² 处理显著低于施硫量 50 和 100 kg/hm² 处理, 尚熟期以施硫量 0 和 200 kg/hm² 处理显著低于施硫量 50 和 100 kg/hm² 处理, 旺长末期不施硫处理的 VPD 显著高于 200 kg/hm² 处理, 而与其他处理差异不显著。团棵期烤烟叶片的 L_s 以施硫量 100 和 150 kg/hm² 处理最低, 显著低于 200 kg/hm² 处理, 尚熟期则以不施硫处理的最高, 显著高于其他 4 个处理, 旺长期各处理之间差异不显著。烤烟叶片 WUE 和 WUE_i 在团棵和旺长期的变化趋势与 L_s 基本相同, 在尚熟期以施硫量为 200 kg/hm² 处理的 WUE 显著升高。这可能是叶绿素 a 和叶绿素 a+b 的显著降低及 L_s 的升高所致。罗建新等^[5]研究认为, 植烟土壤有效硫含量为 10~20 mg/kg 为适宜范围, 但作物生长发育对养分的需求受土壤条件、农田气候及作物特性等综合因素的影响, 在时间、空间上变化很大^[15-16]。因此, 即使土壤有效硫含量为 20.07 mg/kg, 也要增施硫肥, 才能促进烤烟正常的生长发育及光合特性的提高; 但硫肥的用量不能过大, 以 50~100 kg/hm² 较为适宜, 如果过量施用, 不仅造成肥料浪费, 而且对烤烟的生长发育及光合特性都将产生不同程度的抑制作用, 同时会导致烤烟叶片硫含量过高, 使烟叶品质降低, 燃烧性下降。

[参考文献]

- [1] 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(2): 105-109.
Wang Z L, Zhang X H, Wang P H, et al. Study on sulphur (S) uptake pattern by flue-cured tobacco in the field [J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2004(2): 105-109. (in Chi-

- nese)
- [2] 石盛莉,潘根兴,张乐华,等. 酸沉降影响下庐山森林生态系统水相硫的分布与动态研究 [J]. 生态学报, 2001, 21(9): 1463-1468.
- Shi S L, Pan G X, Zhang L H, et al. Sulfate in liquid phase of forest ecosystem and its dynamics in Mt. Lushan under acid deposition [J]. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(9): 1463-1468. (in Chinese)
- [3] 刘国顺. 烟草栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- Liu G L. Crop cultivation science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003. (in Chinese)
- [4] 许自成, 黎妍妍, 肖汉乾, 等. 湖南烤烟营养元素含量与总糖和烟碱的关系 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(1): 138-144.
- Xu Z C, Li Y Y, Xiao H Q, et al. Status of the contents of mineral elements and their relationships with total sugar and nicotine content in flue-cured tobacco leaves in Hunan province [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2008, 36(1): 138-144. (in Chinese)
- [5] 罗建新, 石丽红, 龙世平. 湖南主产烟区土壤养分状况与评价 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(4): 376-380.
- Luo J X, Shi L H, Long S P. Appraising on the nutrient state of tobacco-growing soil in main areas of Hunan [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences Edition, 2005, 31(4): 376-380. (in Chinese)
- [6] 朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等. 烟-稻复种连作年限对土壤钙镁硫含量的影响 [J]. 华北农学报, 2012, 27(1): 218-222.
- Zhu Y H, Tu N M, Xiao H Q, et al. The effect of the years of continuous and multiple cropping of flue-cured tobacco-rice on soil Ca-Mg and S content [J]. Acta Agriculture Boreali-Sinica, 2012, 27(1): 218-222. (in Chinese)
- [7] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- Zhang Z L, Qu W J. Botany-Physiology experiment instruction [M]. Beijing: High Education Press, 2003. (in Chinese)
- [8] 吴克宁, 赵彦锋, 吕巧灵, 等. 潮土区灌浆水和施磷对冬小麦光合作用和产量的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 428-434.
- Wu K N, Zhao Y F, Lü Q L, et al. Effect of irrigation during grain filling stage and applying phosphate on the photosynthetic efficiency and yield of winter wheat in the fluvo-aquic soil area [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(4): 428-434. (in Chinese)
- [9] Penuelas J, Filella I, Llusia J, et al. Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia* [J]. Journal of Experiment Botany, 1998, 49(319): 229-238.
- [10] 王丽霞, 汤举红, 罗庆熙, 等. 施用硫肥和硒肥对茎瘤芥产量及抗氧化作用的影响 [J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(8): 151-156.
- Wang L X, Tang J H, Luo Q X, et al. Effects of application of sulfur and selenium into stem mustarde (*Brassica juncea* var. *tumida*) on its yield and antioxidation [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2012, 40(8): 151-156. (in Chinese)
- [11] 李玉梅, 徐茜, 熊德忠. 不同硫肥用量对烤烟产量和品质的影响 [J]. 中国农学通报, 2005, 21(2): 171-174.
- Li Y M, Xu Q, Xiong D Z. Effects of sulfur fertilization content on yield and quality of flue-cured tobacco [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(2): 171-174. (in Chinese)
- [12] 蔡海洋, 李玉梅, 熊德忠. 不同硫肥用量对烤烟光合作用和产量的影响 [J]. 亚热带农业研究, 2009, 5(3): 155-158.
- Cai H Y, Li Y M, Xiong D Z. Effects of sulfur fertilizer content on photosynthesis and yield of flue-cured tobacco [J]. Subtropical Agriculture Research, 2009, 5(3): 155-158. (in Chinese)
- [13] 赵首萍, 胡尚连, 杜金哲, 等. 硫对不同类型春小麦湿面筋和沉降值及氨基酸的效应 [J]. 作物学报, 2004, 30(3): 236-240.
- Zhao S P, Hu S L, Du J Z, et al. Effects of sulphur on wet gluten, SDS-sedimentation value and amino acid in spring wheat cultivars with different quality [J]. Acta Agronomic Sinica, 2004, 30(3): 236-240. (in Chinese)
- [14] 朱云集, 谢迎新, 郭天财, 等. 硫肥对两个不同穗型小麦品种光合特性及产量的影响 [J]. 作物学报, 2006, 32(3): 436-441.
- Zhu Y J, Xie Y X, Guo T C, et al. Effect of sulphur fertilizer on photosynthesis characteristics and grain yield of two winter wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars with different spike types [J]. Acta Agronomic Sinica, 2006, 32(3): 436-441. (in Chinese)
- [15] Gupta R K, Mostaghimi S, McClellan P W, et al. Spatial variability and sampling strategies for $\text{NO}_3\text{-N}$, P, and K determinations for site-specific farming [J]. Trans ASAE, 1997, 40: 337-343.
- [16] Mamo M, Malzer G L, Mulla D J, et al. Spatial and temporal variation in economically optimum nitrogen rate for corn [J]. Agron J, 2003, 95: 958-964.