

网络出版时间:2017-08-21 13:50

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2017.10.006

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20170821.1350.012.html>

叶面喷施微量元素对烤烟光合特性、 氮钾含量及产值的影响

郑璞帆¹, 勾 薇¹, 陈富彩¹, 张立新¹, 金保锋², 刘海轮³, 扈 强², 唐永红³

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2 广东中烟工业有限责任公司技术中心,
广东 广州 510385; 3 陕西省烟草公司, 陕西 西安 710000)

【摘 要】 【目的】探讨叶面喷施微量元素对烤烟生长发育的作用效果, 为提升烤烟品质提供支持。【方法】在陕西汉中烟区开展田间试验, 以云烟 99 为材料, 设置了团棵期和现蕾期各喷施 1 次、团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次、2 种喷施时期(即 X、D)及硅、钼、钛、钴(即 Si、Mo、Ti、Co)4 种肥料种类(XSi、XMo、XTi、XCo 和 DSi、DMo、DTi、DCo 处理)与对照(喷施清水, 即 X0、D0 处理)共 10 个处理, 每处理 3 次重复, 研究叶面喷施微量元素对烤烟烟叶光合特性、氮和钾含量及产量和质量的影响。【结果】叶面喷施硅、钼、钛、钴 4 种微量元素均能不同程度增加烤烟烟叶的叶绿素总量, 各处理均明显优于对照, 其中以 DSi 处理最优, 差异最为显著; 喷施微量元素显著提高了烤烟叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i), 同时降低了蒸腾速率(T_r), 其中以 DSi 和 XCo 处理的效果最为显著; 喷施微量元素能明显提高烟叶氮、钾含量, 在圆顶期和成熟期均以 XCo 处理表现最优; 各处理对烤烟农艺性状均有一定改善作用, 其中 DSi 处理的单叶面积较对照(D0)有显著提高; XCo 处理的烤烟的均价、产值和中上等烟比表现较优, 较对照(X0)分别显著提高 9.21%, 11.95% 和 8.30%。【结论】在陕西烤烟栽培区, DSi(团棵期和打顶后 2 d 叶面喷施硅肥)和 XCo(团棵期和现蕾期叶面喷施钴肥)两种处理的效果最佳, 能有效提升烤烟光合作用, 改善氮钾营养, 促进生长发育, 提高经济效益, 具有良好的推广潜力。

【关键词】 烤烟; 微量元素; 叶面喷施; 光合特性

【中图分类号】 S572

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2017)10-0041-08

Effect of trace element fertilizers on photosynthetic characteristics, nitrogen and potassium contents, output value of flue-cured tobacco

ZHENG Pufan¹, GOU Wei¹, CHEN Fucui¹, ZHANG Lixin¹, JIN Baofeng²,
LIU Hailun³, HU Qiang², TANG Yonghong³

(1 College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Technology Center, China Tobacco Guangdong Industry Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510385, China;

3 Tobacco Company of Shaanxi Province, Xi'an, Shaanxi 710000, China)

Abstract: 【Objective】Effect of spraying trace element fertilizers on tobacco growth were studied to find suitable patterns for increasing yield and quality of tobacco in Hanzhong, Shaanxi. 【Method】Ten treatments including two spraying periods (X spray at rosette stage and budding stage and D spray at rosette stage and 2 days after topping) with four trace element fertilizers Si, Mo, Ti, and Co (XSi, XMo, XTi, XCo, DSi, DMo, DTi, and DCo) and two control groups (spray water, X0 and D0) were set up for YN99 in Hanzhong to study effects of element fertilizers on photosynthetic characteristics, nitrogen and potassium

【收稿日期】 2016-08-01

【基金项目】 广东中烟工业有限责任公司技术中心和陕西省烟草专卖局(公司)科技项目(粤烟工 05XM-QK[2014]015)

【作者简介】 郑璞帆(1992—), 男, 河南许昌人, 在读硕士, 主要从事烟草营养生理生态研究。E-mail: 405359204@qq.com

【通信作者】 张立新(1969—), 男, 陕西韩城人, 教授, 博士, 主要从事烟草营养生理生态研究。E-mail: zhanglixin@nwsuaf.edu.cn

contents, and yield and quality of flue-cured tobacco. Each treatment was repeated for three times. 【Result】 Spraying trace element fertilizers increased chlorophyll content compared with control, especially for DSi treatment with significant difference. Spraying trace element fertilizers significantly enhanced net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and intercellular CO_2 concentration (C_i), while reduced transpiration rate (T_r), particularly in DSi and XCo treatment. Trace element fertilizers application improved nitrogen and potassium contents with the best effect in XCo at toping and maturing stages. It also showed increases in agronomy and economy characteristics after fertilizers spraying, especially for single leaf area under DSi treatment. Average price, output values and proportion of middle-upper tobacco in XCo treatment were increased by 9.21%, 11.95%, and 8.30%, respectively. 【Conclusion】 DSi and XCo treatments could efficiently improve photosynthesis, nitrogen and potassium nutrition, and economic benefits of flue-cured tobacco. They are suitable for wild application in Shaanxi tobacco-planting area.

Key words: flue-cured tobacco; trace element; spraying; photosynthetic characteristics

植物生长不仅需要氮、磷、钾等大量元素,同时也需要硅、钼、钛、钴等微量元素^[1]。微量元素硅是植物的重要组成成分,在绝大多数植物体中均有分布,其不仅可以提高植物抗逆性,增强植株的抗病能力,还能增加作物产量并改善作物品质^[2]。钼是植物生长发育所必需的微量元素之一,植物对钼的需求量较低,但钼在植物体内却发挥着重要的作用。钼作为硝酸还原酶(NR)的组成成分,能增强硝酸还原酶的活性,促进 NO_3^- 的还原;同时,钼还参与植物体内的光合作用和呼吸作用,可以促进有机含磷化合物的合成和繁殖器官的建成^[3]。钛是一种过渡金属元素,是被国际卫生组织(WHO)允许植入人体的首选金属,钛不仅能够促进植物对养分的吸收和转运,促进植物体内多种酶的活性,钛的有机螯合物还能参与植物新陈代谢过程,激发植物体内酶的活性,增强植物细胞活力^[4]。钴能够刺激生长,调节叶绿素的合成,增强抗氧化作用,并通过强化 GSH-Px 系统增强光合能力,进而促进植株产量和质量的提高^[5]。目前针对微量元素在烟草中的应用研究较少,故本研究以云烟 99 为材料,对其叶面喷施硅、钼、钛、钴 4 种微量元素,探索微量元素对烤烟光合特性、氮钾含量及产质量的影响,以期为陕西烟区烟叶生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况及试验设计

1.1.1 试验地概况 试验地位于汉中市洋县黄安镇三道岭村,该村地理坐标为北纬 $33^\circ 11' 768''$,东经 $107^\circ 37' 374''$,海拔 542 m。供试烟草品种为云烟 99,前茬为玉米。试验地土壤类型为黄棕壤土,地势为坡地,肥力中等。耕层土壤基本理化性状: pH

7.41,有机质含量 31.51 g/kg,碱解氮含量 55.50 mg/kg,速效磷(P_2O_5)含量 17.19 mg/kg,速效钾(K_2O)含量 159.90 mg/kg。

1.1.2 试验设计 试验设喷施时期和施肥种类 2 个因素,其中喷施时期设 2 个水平,即团棵期和现蕾期各喷施 1 次(X)、团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次(D);施肥种类设 5 个水平,即清水对照、硅、钼、钛、钴(0、Si、Mo、Ti、Co)。2 个因素组合后共计 10 个处理,分别为: X0,团棵期和现蕾期各喷施 1 次清水; D0,团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次清水; XSi,团棵期和现蕾期各喷施 1 次速溶性硅肥; DSi,团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次速溶性硅肥; XMo,团棵期和现蕾期各喷施 1 次速溶性钼肥; DMo,团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次速溶性钼肥; XTi,团棵期和现蕾期各喷施 1 次速溶性钛肥; DTi,团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次速溶性钛肥; XCo,团棵期和现蕾期各喷施 1 次速溶性钴肥; DCo,团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次速溶性钴肥。

1.1.3 肥料来源及喷施方法 硅肥,中科启润牌水溶速效硅肥, $\text{Si} \geq 20\%$; 钼肥,中科启润牌农用钼肥, Mo 含量 $\geq 10\%$; 钛肥,中科启润牌农用钛肥, Ti 含量 $\geq 10\%$; 钴肥,中科启润牌农用钴肥, Co 含量 $\geq 10\%$ 。喷施方法: 4 种肥料均按 $m(\text{肥料}, \text{g}) : V(\text{水}, \text{mL}) = 1 : 1\,000$ 比例溶解,喷施在阴天或晴天无风的下午进行,全株喷湿,若喷后 4 h 内遇雨应重喷。各处理均重复 3 次,小区随机排列,烤烟行株距为 $1.2 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$,小区面积 $7.2 \text{ m} \times 9 \text{ m} = 64.8 \text{ m}^2$,每小区 6 行烤烟,共 114 株。各处理基肥为烟草专用肥, $m(\text{N}) : m(\text{P}_2\text{O}_5) : m(\text{K}_2\text{O}) = 10 : 12 : 18$,总养分含量为 40%,施氮量为 97.5 kg/hm^2 。于 2015-05-02 移栽,50% 烟株中心花开放时 1 次性打顶,留

叶数为 20 片。对以上未提及的烤烟生产措施则按当地优质烤烟栽培技术进行操作。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 光合特性与叶绿素含量 在烤烟圆顶期和成熟期,于上午 09:00—11:00,用 Li-6400 便携式光合仪测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(Tr)。每小区选定 5 株,测定上部叶(顶部倒数第 3 片功能叶)^[6]。同时用直径 10 mm 的打孔器在光合特性测定后的叶片上打孔取样,采用分光光度法进行鲜烟叶叶绿素含量(叶绿素 a 和叶绿素 b 含量之和)测定^[7]。

1.2.2 氮、钾含量 在烤烟圆顶期和成熟期,从每个小区选取 3 株,将整株烟叶杀青、烘干后,用于全氮全钾含量测定。采用浓硫酸-双氧水法消煮,全氮含量采用高分辨自动化学分析仪(型号 AA3)测定,全钾含量采用火焰光度计(型号 M410)测定^[8]。

1.2.3 农艺性状 在烤烟圆顶期,于每个小区选择长势长相均匀一致、能够代表小区生长状况的烟株 10 株,按照烟草农艺性状调查方法^[9],调查并测定每株烟株的农艺性状,包括株高、有效叶片数、茎围、节距及单叶面积。

1.2.4 经济性状 分区计产,统计烟叶产量、产值

和中上等烟叶比例,折算成每 hm^2 烟叶产量和产值^[6]。

1.2.5 烤后烟叶化学成分 取烤后烟叶中部叶进行烟碱、还原糖、总氮、钾含量的测定。烟碱含量采用比色法测定,还原糖含量采用蒽酮硫酸法测定,总氮、钾含量采用流动分析法测定^[10]。

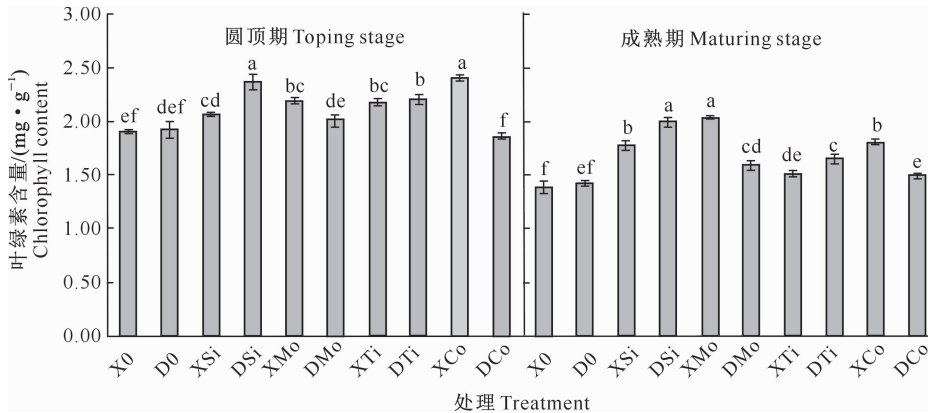
1.3 数据统计与分析

采用 Excel 2003 软件进行数据整理,用软件 SPSS 20.0 进行方差分析,用 Duncan's 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 叶面喷施微量元素对烤烟叶片叶绿素总量的影响

由图 1 可知,叶面喷施微量元素对圆顶期和成熟期烤烟叶片叶绿素总量均有显著影响。在圆顶期,XCo 处理烤烟叶片的叶绿素总量最高,较对照(X0)高出 26.84%;其次是 DSi 处理,较对照(D0)高出 22.80%。在成熟期,XMo 和 DSi 处理表现最优,较对照(X0 和 D0)分别高出 47.1%和 40.85%。可见叶面喷施微量元素可以有效抑制叶绿素降解,进一步增强叶片的光合作用。



同一生育期中标不同小写字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$)。下图同
Different lowercase letters represent significant difference among treatments at $P<0.05$. The same below.

图 1 叶面喷施微量元素对圆顶期和成熟期烤烟叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of spraying trace element fertilizers on chlorophyll content of flue-cured tobacco at topping and maturing stages

2.2 叶面喷施微量元素对烤烟叶片光合特性的影响

由表 1 可见,叶面喷施硅、钼、钛、钴微量元素对烤烟光合特性有显著影响。总体而言,DSi 和 XCo 处理在圆顶期和成熟期均能增加烟叶净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度,降低蒸腾速率,且效果显

著,其中净光合速率增幅较大(DSi 和 XCo 处理在圆顶期较 D0 和 X0 分别增加了 34.71%和 28.26%,在成熟期较 D0 和 X0 分别增加了 51.14%和 48.24%)。可见叶面喷施微量元素能在一定程度上提高光合性能,促进干物质积累,其中以 DSi 和 XCo 处理的效果最好。

表 1 叶面喷施微量元素对圆顶期和成熟期烤烟叶片光合特性的影响

Table 1 Effect of spraying trace element fertilizers on photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco at toping and maturing stages

处理 Treatment	圆顶期 Topping stage			
	净光合速率 $Pn/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 $Gs/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 $Ci/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 $Tr/$ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
X0	19.96±0.55 c	0.18±0.00 cd	129.00±4.16 d	4.75±0.06 a
D0	19.82±0.52 c	0.17±0.00 de	127.20±1.86 d	4.74±0.06 a
XSi	22.50±0.15 b	0.15±0.00 f	179.60±5.04 bc	4.73±0.07 a
DSi	26.70±0.66 a	0.20±0.01 b	192.20±2.91 ab	3.95±0.07 b
XMo	22.28±0.22 b	0.16±0.00 ef	131.40±1.86 d	4.70±0.03 a
DMo	22.90±0.56 b	0.17±0.00 de	168.20±6.44 c	3.43±0.03 c
XTi	18.44±0.38 c	0.19±0.00 bc	174.60±3.93 c	4.07±0.11 b
DTi	23.04±0.64 b	0.24±0.00 a	178.00±4.16 c	3.91±0.12 b
XCo	25.60±0.44 a	0.23±0.01 a	203.80±7.84 a	3.56±0.07 c
DCo	21.50±0.61 b	0.18±0.00 cd	174.20±3.67 c	2.86±0.04 d

处理 Treatment	成熟期 Maturing stage			
	净光合速率 $Pn/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 $Gs/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 $Ci/$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 $Tr/$ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
X0	13.06±0.09 e	0.10±0.00 e	117.60±2.85 f	3.74±0.03 a
D0	14.00±0.15 de	0.13±0.00 cd	118.40±1.33 f	3.70±0.02 a
XSi	15.44±0.50 c	0.19±0.01 a	156.60±3.28 bc	3.31±0.02 b
DSi	21.16±0.38 a	0.19±0.00 a	166.00±1.00 b	3.17±0.04 bc
XMo	19.32±0.54 b	0.12±0.00 d	135.20±2.67 e	3.13±0.03 bc
DMo	19.70±0.20 b	0.10±0.00 e	148.00±4.73 cd	3.00±0.11 cd
XTi	14.70±0.35 cd	0.08±0.00 f	177.00±3.51 a	3.14±0.03 bc
DTi	21.38±0.15 a	0.14±0.00 c	142.40±3.67 de	2.63±0.07 e
XCo	19.36±0.22 b	0.17±0.00 b	149.40±3.84 cd	2.50±0.09 e
DCo	14.82±0.39 cd	0.14±0.01 c	123.80±3.93 f	2.84±0.07 d

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。表 2~4 同。

Note: Different lowercase letters represent significant difference among treatments at $P<0.05$. The same for Tables 2~4.

2.3 叶面喷施微量元素对烤烟叶片氮含量的影响

从图 2 可知,各处理烤烟叶片中的氮含量由圆顶期到成熟期呈下降趋势,叶面喷施微量元素可以不同程度地增加烟叶氮含量。在圆顶期,DSi 和 XCo 处理的表现最好,烟叶氮含量较 D0 和 X0 分别

增加了 16.65%和 16.43%。在成熟期,各处理烟叶氮含量表现为 XCo>DSi>DCo>XTi>DTi>DMo>D0>XMo>XSi>X0,说明叶面喷施微量元素能提高烤烟的氮含量,其中以 XCo 处理效果最佳。

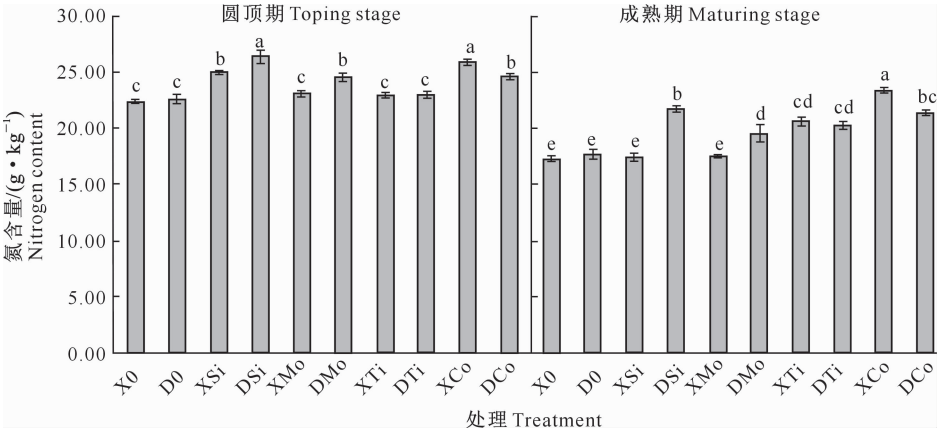


图 2 叶面喷施微量元素对圆顶期和成熟期烤烟叶片氮含量的影响

Fig. 2 Effect of spraying trace element fertilizers on nitrogen content of flue-cured tobacco at toping and maturing stages

2.4 叶面喷施微量元素对烤烟叶片钾含量的影响

由图 3 可以看出,喷施微量元素叶面肥对烤烟

叶片钾含量有不同程度的提高作用,说明叶面喷施微量元素能够有效改善烤烟的钾营养,有利于进一

步改善烤烟品质。其中,XCo 处理的烟叶钾含量增幅最大,在圆顶期和成熟期分别较对照 X0 增加了

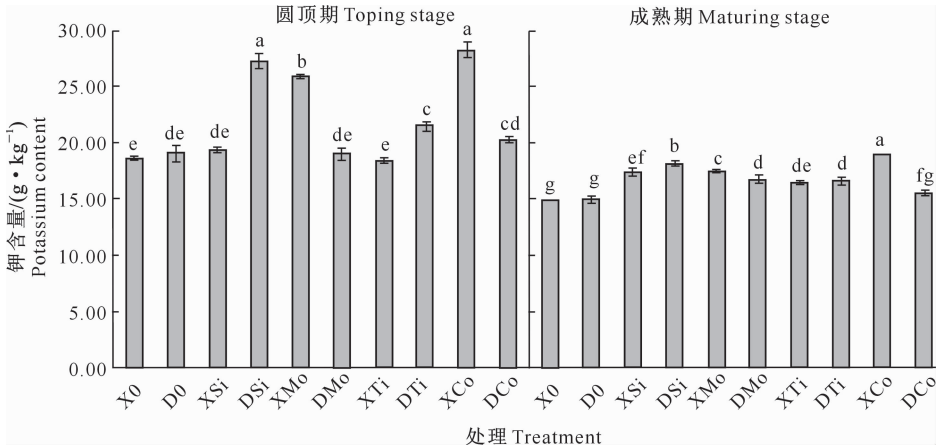


图 3 叶面喷施微量元素对圆顶期和成熟期烤烟叶片钾含量的影响

Fig. 3 Effect of spraying trace element fertilizers on potassium content of flue-cured tobacco at toping and maturing stages

2.5 叶面喷施微量元素对烤烟农艺性状的影响

从表 2 可知,叶面喷施微量元素对烤烟各农艺性状均有不同程度的促进作用,其中以茎围和单叶面积增加趋势较明显,XCo 处理烤烟的茎围较对照

(X0)增加了 6.62%,DSi 处理烤烟的单叶面积较对照(D0)增加了 13.54%。可见叶面喷施微量元素能够促进烤烟烟株生长,增大叶面积,为烟叶产量的提高奠定了基础。

表 2 叶面喷施微量元素对烤烟农艺性状的影响

Table 2 Effect of spraying trace element fertilizers on agronomy characteristics of flue-cured tobacco

处理 Treatment	株高/cm Plant height	有效叶片数 Effective leaves	茎围/cm Stem girth	节距/cm Pitch	单叶面积/cm² Single leaf area
X0	94.61±3.90 a	17.40±0.30 a	8.21±0.08 b	5.36±0.09 a	1 380.02±11.57 d
D0	94.42±1.52 a	17.20±0.15 a	8.20±0.18 b	5.38±0.14 a	1 422.73±16.06 cd
XSi	95.94±2.57 a	17.80±0.42 a	8.47±0.18 ab	5.30±0.12 a	1 464.33±25.72 bc
DSi	97.57±2.50 a	17.40±0.38 a	8.49±0.12 ab	5.58±0.10 a	1 615.44±22.30 a
XMo	97.65±1.35 a	17.40±0.57 a	8.39±0.07 ab	5.56±0.11 a	1 444.34±30.21 cd
DMo	98.72±1.32 a	17.60±0.18 a	8.45±0.12 ab	5.50±0.05 a	1 489.96±42.71 bc
XTi	96.79±2.08 a	17.80±0.17 a	8.36±0.24 ab	5.41±0.19 a	1 525.49±16.39 b
DTi	97.72±1.37 a	17.40±0.42 a	8.51±0.09 ab	5.46±0.14 a	1 433.93±8.57 cd
XCo	98.38±1.21 a	18.00±0.14 a	8.75±0.22 a	5.39±0.14 a	1 519.89±16.97 b
DCo	97.92±2.37 a	17.60±0.09 a	8.64±0.18 ab	5.50±0.07 a	1 425.50±16.06 cd

2.6 叶面喷施微量元素对烤烟经济性状的影响

从表 3 可知,叶面喷施微量元素对烤烟经济性状有一定的促进作用。其中,XCo 处理烟叶的均价、产值和中上等烟叶比例等均与对照(X0)达到了

显著差异水平,较对照分别提高了 9.21%,11.95%和 8.30%。说明叶面喷施微量元素可以改善烟叶经济性状,提高烟叶可用性。

表 3 叶面喷施微量元素对烤烟经济性状的影响

Table 3 Effect of spraying trace element fertilizers on economy characteristics of flue-cured tobacco

处理 Treatment	单叶质量/g Single leaf weight	均价/(元 · kg⁻¹) Average price	产量/(kg · hm⁻²) Yield	产值/(元 · hm⁻²) Output values	中上等烟叶比例/% Proportion of middle-upper tobacco
X0	7.82±0.18 a	18.68±0.17 b	2 187.95±30.01 abc	40 880.67±927.36 b	84.37±1.89 b
D0	7.79±0.08 a	18.53±0.44 b	2 255.10±51.36 abc	41 825.15±1 845.19 ab	85.40±2.07 ab
XSi	7.92±0.23 a	18.72±0.35 b	2 221.50±55.76 abc	41 576.16±1 131.01 ab	85.60±1.10 ab
DSi	7.74±0.12 a	19.36±0.27 ab	2 170.95±65.54 bc	42 008.84±869.14 ab	87.30±0.70 ab
XMo	7.86±0.10 a	19.60±0.13 ab	2 204.70±35.11 abc	43 219.56±745.90 ab	88.40±1.83 ab
DMo	7.62±0.09 a	19.26±0.17 ab	2 144.10±28.13 c	41 278.79±187.47 b	85.17±2.30 ab
XTi	7.80±0.11 a	18.62±0.24 b	2 322.40±49.46 a	43 248.82±1194.49 ab	87.40±1.21 ab
DTi	7.78±0.04 a	19.34±0.41 ab	2 182.20±42.51 abc	42 228.02±1578.41 ab	89.40±1.60 ab
XCo	8.00±0.20 a	20.40±0.21 a	2 244.05±31.95 abc	45 765.80±254.28 a	91.37±2.28 a
DCo	8.02±0.14 a	19.26±0.75 ab	2 300.15±28.36 ab	44 341.45±2 262.78 ab	90.60±2.59 ab

2.7 叶面喷施微量元素对烤后烟叶化学成分的影响

参考王彦亭^[11]烤烟化学成分指标赋值方法,烟碱的最适含量为 2.20%~2.80%,还原糖的最适含量为 18.00%~22.00%,总氮的最适含量为 2.00%~2.50%,钾的最适含量应为≥2.50%。各指标均以最适范围为 100 分,高于或低于该最适范

围依次降低分值。从表 4 可知,对烟碱含量而言,XSi、DSi 和 XCo 处理烟叶在最适范围内,评 100 分;对还原糖含量而言,DSi、DMo、XTi 和 XCo 处理烟叶表现最优,在最适范围内,评 100 分;总氮含量以 XMo 和 XCo 处理烟叶最好,评 100 分;钾含量以 DSi 处理表现最优。综合各项化学指标结果,以 DSi 和 XCo 处理烟叶的化学成分更为协调。

表 4 叶面喷施微量元素对烤后烟叶化学成分含量的影响

Table 4 Effect of spraying trace element fertilizers on chemical compositions of flue-cured tobacco after baking %				
处理 Treatment	烟碱含量 Nicotine content	还原糖含量 Reducing sugar content	总氮含量 Total nitrogen content	钾含量 Potassium content
X0	3.36±0.06 bc	14.94±0.27 de	1.69±0.01 de	1.43±0.04 e
D0	3.50±0.05 b	16.52±0.07 c	1.60±0.02 e	1.14±0.03 g
XSi	2.62±0.08 f	17.90±0.53 b	1.77±0.03 cd	1.69±0.04 c
DSi	2.53±0.01 f	19.45±0.08 a	1.69±0.01 de	2.07±0.04 a
XMo	3.84±0.09 a	14.30±0.50 e	2.04±0.03 a	1.25±0.02 fg
DMo	3.39±0.03 bc	19.00±0.37 ab	1.77±0.03 cd	1.57±0.05 d
XTi	3.24±0.08 c	18.14±0.30 b	1.82±0.03 bc	1.87±0.04 b
DTi	3.05±0.02 d	16.55±0.52 c	1.88±0.05 b	1.46±0.01 e
XCo	2.49±0.05 f	18.51±0.48 ab	2.03±0.03 a	1.78±0.04 bc
DCo	2.87±0.06 e	15.87±0.32 cd	1.90±0.05 b	1.31±0.04 f

2.8 微量元素喷施时期与种类及其互作效应

从表 5 可知,微量元素的喷施时期和施肥种类及其互作均对圆顶期和成熟期烤烟叶片叶绿素总量、净光合速率及氮和钾含量有显著或极显著影响,

施肥种类及其互作对单叶面积有极显著影响,施肥种类对中上等烟叶比例效应显著。综上可见,施肥种类的影响效应最大,施肥时期与施肥种类互作的效应次之,喷施时期效应较小。

表 5 叶面喷施微量元素后喷施时期与种类及其互作效应

Table 5 Interaction effect of spray time and fertilizer after spraying trace element fertilizers										
处理 Treatment	叶绿素总量 Chlorophyll content		净光合速率 Photosynthetic rate		氮含量 Nitrogen content		钾含量 Potassium content		叶面积 Single leaf area	中上等烟叶比例 Proportion of middle-upper tobacco
	圆顶期 Toping	成熟期 Maturing stage	圆顶期 Toping	成熟期 Maturing stage	圆顶期 Toping	成熟期 Maturing stage	圆顶期 Toping	成熟期 Maturing stage		
	stage	stage	stage	stage	stage	stage	stage	stage		
喷施时期 Spray time	5.49 *	9.93 **	10.78 **	76.54 **	5.17 *	15.80 **	5.95 *	6.45 *	0.55	0.02
施肥种类 Fertilizer species	13.49 **	66.03 **	29.98 **	94.19 **	50.30 **	50.07 **	53.41 **	37.20 **	9.35 **	3.13 *
喷施时期×施肥种类 Spray time × Fertilizer species	23.87 **	36.03 **	25.22 **	93.45 **	8.03 **	21.22 **	114.63 **	45.26 **	10.50 **	0.69

注:*,** 分别表示在 $P<0.05$, $P<0.01$ 水平上影响显著。
Note: *, ** represent different significance at $P<0.05$ and $P<0.01$ levels, respectively.

3 讨论与结论

光合作用通过叶绿素将光能转换为化学能,将 CO₂ 转变为碳水化合物从而形成干物质的积累,是烤烟产量与品质形成的基础。施用微肥可以通过调控相关酶活性,调节叶绿素的合成,进而改变植株的光合特性。唐旭等^[12]研究表明,硅能调节植物的光合作用和蒸腾作用。赵晓美^[13]及卢刚等^[14]的研究表明,在甜瓜上施用硅肥可以增加甜瓜叶片的叶绿素含量,提高净光合速率,降低蒸腾速率。有研究表明,钼是烟草必需的微量元素,施钼能够提高烟叶的

叶绿素含量,增强光合作用,促进碳水化合物的合成与转移,同时对提高硝酸还原酶(NR)活性,促进烟草生育前期硝态氮的转化起着重要作用^[15-16]。叶面喷施钛肥可以调节植物多种酶的活性,提高叶绿素的含量,增强光合作用,从而促进植物对养分的吸收、利用和转运^[17-19]。孙永杰^[20]指出,施用含钛叶面肥可以增加叶片厚度,提高叶绿素含量,有利于叶片积累光合产物。安毅等^[4]指出,叶面喷施钛肥可以增加绿叶数并延长绿叶寿命,从而有利于提高叶片的光能利用率,对作物的地上部分生长有一定的促进作用。郭孝等^[5]研究表明,硒钴配施能够显著

促进分枝期到现蕾期单位面积有效光合叶面积的增加,增强光合作用,降低呼吸作用。以上结论与本研究的结果相符。研究表明,叶面喷施硅、钼、钛、钴 4 种微量元素可以增加烤烟叶绿素含量,提高叶片净光合速率,增加气孔导度和胞间 CO_2 浓度,降低蒸腾速率,从而有利于叶片积累光合产物,提高烤烟品质,其中以团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次速溶性硅肥(DSi)处理、团棵期和现蕾期各喷施 1 次速溶性钴肥(XCo)处理效果最为突出。

氮作为氨基酸的组成元素,对茎叶的生长发育起着重要作用,是与产量最密切的营养成分;钾则被称为烟叶的“品质元素”,能够显著改善烟叶的燃烧性,增进烟叶香气、吃味及品质^[21]。因此,提高烟叶中的氮、钾含量有利于提高烤烟的产量和质量,而施用微肥如硅可以通过与其他营养元素之间的协同作用,提高土壤供给能力,促进作物对营养的吸收与利用^[22]。李清芳等^[2]研究表明,硅能促进氮、磷肥的增产效应,影响植株氮、磷、钾、钙、镁的含量。李余湘等^[16]研究表明,施钼能明显提高烟叶含钾量,改善烟叶油分状况。刘国^[23]研究表明,对烟株叶面喷施钛土肥,可以提高烟叶钾含量,明显改善烟叶品质,增加烟叶香气,降低焦油生成量。同时,安毅等^[4]指出,叶面喷施钛肥能够提高烟株干物质积累速率并改善烟叶的品质。这可能是由于叶片吸收钛肥后,能够有效地促进烟株对其他营养物质和矿质元素的吸收,并能够使烟株的各矿质营养元素在烟株体内得到最大可能的平衡和协调分配。有研究表明,钴可以参与酶的组成,同时还是许多酶的活化剂,可调节植物体内营养物质的含量^[24]。本研究表明,叶面喷施硅、钼、钛、钴 4 种元素,能够增加烟叶氮、钾含量,但 4 种元素会因喷施时间的不同而产生不同的效果,对于其具体的机理需进一步深入研究。

叶面喷施微量元素对烤烟产量和质量有重要影响,在提高烟叶可用性方面具有一定潜力。申昌优等^[25]发现,施用全水溶性硅肥能改善原烟品质,降低烟叶烟碱含量,提高烤烟的产量和产值。刘光亮等^[26]研究表明,施用水溶性硅肥可以提高烤烟产量、经济效益和外观质量,降低烟叶烟碱含量,促进化学成分协调,改善原烟感官评吸质量。李余湘等^[16]指出,叶面喷施钼肥对促进烤烟叶片生长、提高烟叶产量和上等烟叶比例、改善烟叶油分和色泽、减少上部烟叶挂灰、改善上部烟叶化学成分的协调性均具有一定作用。有研究表明,喷施钛肥能够提高烟株大田生育期间的干物质积累速率,改善白肋

烟的田间农艺性状和烟叶化学成分的协调性,提高烟叶糖碱比和氮碱比,降低烟碱含量^[4]。钴肥对植物增产具有较为显著的效果,例如车轴草、亚麻、大麦和甜菜等在施用钴肥后均有相当明显的增产效应,少量的钴即可显著加速橡树和番茄的生长,增加马铃薯和茄子的产量^[24]。本研究进一步证明,叶面喷施硅、钼、钛、钴 4 种元素可以提高烤烟中上等烟叶比例,增加产量及产值。

本研究发现,施用 4 种微量元素均可以有效增强烤烟光合作用,改善氮、钾营养,促进生长发育,提高经济效益。综合分析认为,在陕西烤烟栽培区,于烟株团棵期和打顶后 2 d 各喷施 1 次速溶性硅肥(DSi)或在团棵期和现蕾期各喷施 1 次速溶性钴肥(XCo),效果较佳,具有良好的推广潜力。

[参考文献]

- [1] 朱立新,任天祥,周国华,等. 微量元素在提高烟草产量和品质上的试验应用成果 [J]. 物探与化探,1993,17(5):374-379.
Zhu L X, Ren T X, Zhou G H, et al. Achievements gained in the tentative application minor elements to raising the output of tobacco and improving its quality [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 1993, 17(5): 374-379.
- [2] 李清芳,马成仓,尚启亮,等. 干旱胁迫下硅对玉米光合作用和保护酶的影响 [J]. 应用生态学报,2007,18(3):531-536.
Li Q F, Ma C C, Shang Q L, et al. Effects of silicon on photosynthesis and antioxidative enzymes of maize under drought stress [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(3): 531-536.
- [3] 李超. 硅、钼、硒及其配合喷施对几种蔬菜吸收、积累镉及蔬菜品质的影响 [D]. 武汉:华中农业大学,2011.
Li C. The effect of silicon, molybdenum, selenium and their complexes spraying on quality, cadmium uptake and accumulation of different vegetables [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011.
- [4] 安毅,李辉,任胜超,等. 叶面喷施钛肥对白肋烟生长发育及品质的影响 [J]. 江西农业学报,2011,23(11):69-72.
An Y, Li H, Ren S C, et al. Effects of spraying Ti fertilizer on leaf surface on growth, development and quality of burley tobacco [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2011, 23(11): 69-72.
- [5] 郭孝,介晓磊,化党领,等. 硒钴肥对苜蓿生长的影响 [J]. 草地学报,2008,16(6):640-645.
Guo X, Jie X L, Hua D L, et al. Influence of selenium and cobalt fertilizers on the growth of alfalfa [J]. Acta Agrestia Sinica, 2008, 16(6): 640-645.
- [6] 张喜峰,张立新,高梅,等. 不同移栽期对陕南烤烟氮钾含量、光合特性及经济性状的影响 [J]. 中国烟草科学,2013,34(4):20-24.
Zhang X F, Zhang L X, Gao M, et al. Effect of different transplanting time on nitrogen and potassium contents, photosyn-

- thetic characteristics and economic traits of flue-cured tobacco in southern Shaanxi province [J]. Chinese Tobacco Science, 2013, 34(4): 20-24.
- [7] 张立军, 樊金娟. 植物生理学实验教程 [M]. 郑州: 河南科技出版社, 1990.
- Zhang L J, Fan J Q. The experiment course of plant physiology [M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1990.
- [8] 张喜峰, 张立新, 高 梅, 等. 密度与氮肥互作对烤烟氮钾含量、光合特性及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013(2): 32-36.
- Zhang X F, Zhang L X, Gao M, et al. Effects of interaction between nitrogen application rate and planting density on nitrogen and potassium contents, photosynthesis characteristics and yield of flue-cured tobacco [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2013(2): 32-36.
- [9] 国家烟草专卖局. YC/T 142—2010 烟草农艺性状调查方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- State Tobacco Monopoly Administration. YC/T 142—2010 Investigating methods of agronomical character of tobacco [S]. Beijing: China Standard Press, 2010.
- [10] 张喜峰, 张立新, 高 梅, 等. 不同氮肥形态和腐殖酸对陕西典型生态区烤烟化学成分和产质量的影响 [J]. 草业学报, 2013, 22(6): 60-67.
- Zhang X F, Zhang L X, Gao M, et al. Effects of different nitrogen fertilizer types and humic acid (HA) on chemical composition, yield and quality of flue-cured tobacco traits in typical ecological zones of Shaanxi province [J]. Acta Pratacultuae Sinica, 2013, 22(6): 60-67.
- [11] 王彦亭. 中国烟草种植区划 [M]. 北京: 科学出版社, 2009: 3-4.
- Wang Y T. Tobacco-planting regionalization in China [M]. Beijing: Science Press, 2009: 3-4.
- [12] 唐 旭, 郑 毅, 汤 利, 等. 高等植物硅素营养研究进展 [J]. 广西科学, 2005, 12(4): 347-352.
- Tang X, Zheng Y, Tang L, et al. The advance in research of silicon nutrition of higher plants [J]. Guangxi Sciences, 2004, 12(4): 347-352.
- [13] 赵晓美. 钙、硅对西瓜生长发育及品质的影响 [D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- Zhao X M. Effects of Si, Ca on the growth and development and quality of watermelon [D]. Nanning: Guangxi University, 2012.
- [14] 卢 钢, 曹家树. 硅对甜瓜早熟性及光合特性的影响 [J]. 园艺学报, 2001, 28(5): 421-424.
- Lu G, Cao J S. Effects of silicon on earliness and photosynthetic characteristics of melon [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2001, 28(5): 421-424.
- [15] 崔国明, 张 辉. Mo 肥对烟叶产量品质的影响 [J]. 烟草科技, 2000(3): 39-41.
- Cui G M, Zhang H. Effects of Mo fertilizer on quality and yield of flue-cured tobacco [J]. Tobacco Science & Technology, 2000(3): 39-41.
- [16] 李余湘, 张西仲, 李章海, 等. 烤烟叶面喷施钼肥效应研究 [J]. 贵州农业科学, 2011, 39(2): 60-62, 66.
- Li Y X, Zhang X Z, Li Z H, et al. Effects of molybdenum on yield and quality of flue-cured tobacco by foliage spray [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2011, 39(2): 60-62, 66.
- [17] 杨建民, 康文学, 赵治中, 等. 钛肥在果品生产中的应用 [J]. 河北林学院学报, 1995, 10(2): 150-154.
- Yang J M, Kang W X, Zhao Z Z, et al. Application of titanium fertilizer in fruit production [J]. Journal of Hebei Forestry College, 1995, 10(2): 150-154.
- [18] Pais I. The biological importance of titanium [J]. Journal of Plant Nutrition, 1983, 6(1): 3-131.
- [19] 刘 铮. 土壤与植物中的钛 [J]. 土壤学进展, 1991, 19(1): 1-7.
- Liu Z. Titanium in soil and plants [J]. Advances in Soil Science, 1991, 19(1): 1-7.
- [20] 孙永杰. 钛微肥对春蕾桃新梢生长的影响 [J]. 山西果树, 2009(4): 7-8.
- Sun Y J. Effect of titanium fertilizer on shoot growth of Chun-lei peach [J]. Shanxi Fruits, 2009(4): 7-8.
- [21] 李银科, 王 菲, 羊 波, 等. 微肥施用对云南烟叶化学成分和感官评吸的影响 [J]. 湖北农业科学, 2014, 53(5): 1090-1095.
- Li Y K, Wang F, Yang B, et al. Influences of trace fertilizer supplying on chemical composition and sensory taste of Yunnan tobacco leaf [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2014, 53(5): 1090-1095.
- [22] 孟 建, 崔 栗, 韩江伟, 等. 植物硅素营养研究进展 [J]. 安徽农学通报, 2013, 19(17): 26-28.
- Meng J, Cui L, Han J W, et al. Research progress of silicon nutrition in plants [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2013, 19(17): 26-28.
- [23] 刘 国. 钛土肥在烤烟上的应用效果初探 [C]//四川省烟草学会川东南片区 2007 年度学术年会论文集. 成都: 四川省烟草学会川东南片区 2007 年度学术年会, 2007: 89-93.
- Liu G. Study on application of titanium fertilizer of flue-cured tobacco [C]//Collection of annual conference of the southeast Sichuan area of tobacco association of Sichuan province in 2007. Chengdu: Annual conference of the southeast Sichuan area of tobacco association of Sichuan province in 2007, 2007: 89-93.
- [24] 刘雪华. 土壤中的钴及其对植物的影响 [J]. 土壤学进展, 1991, 19(8): 9-15, 42.
- Liu X H. Cobalt in soil and its effects on plants [J]. Advances in Soil Science, 1991, 19(8): 9-15, 42.
- [25] 申昌优, 刘 毅, 刘卫东, 等. 全水溶性硅肥对江西烟区烤烟生长及质量的影响 [J]. 南方农业学报, 2013, 44(2): 257-260.
- Shen C Y, Liu Y, Liu W D, et al. Effect of water soluble silicon fertilizer on growth & quality of flue-cured tobacco in Jiangxi [J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(2): 257-260.
- [26] 刘光亮, 陈 刚, 窦玉青, 等. 水溶性硅肥在烤烟中的应用研究 [J]. 中国烟草科学, 2011, 32(1): 32-34, 38.
- Liu G L, Chen G, Dou Y Q, et al. Studies on spraying water soluble siliceous fertilizer to flue-cured tobacco [J]. Chinese Tobacco Science, 2011, 32(1): 32-34, 38.