

## 不同富钾土壤调理剂对植烟土壤供钾特性和烟叶品质的影响

李海平<sup>1</sup>, 丁梦娇<sup>2</sup>, 张发明<sup>1</sup>, 刘浩<sup>2</sup>, 段志超<sup>3</sup>, 周冀衡<sup>2</sup>, 范伟<sup>2</sup>, 肖志新<sup>1\*</sup>, 张毅<sup>2</sup>

(1. 云南省烟草公司保山市公司, 云南 保山 678000; 2. 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128; 3. 湖南中烟工业有限责任公司, 长沙 410014)

**摘要:** 为探究在中耕培土期追施富钾土壤调理剂对烤烟生产的影响, 利用矿物钾肥(水热法)、木本泥炭基腐植酸钾、矿物钾肥(煅烧法)部分替代追肥中的 $\text{KNO}_3$ 或 $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 研究其对烤烟根区土壤pH、钾含量及烤烟不定根生物量和烟叶品质的影响。结果表明, 在中耕培土期追施富钾土壤调理剂能显著提高采收结束时烟株根区土壤pH, 促进烟株不定根发育及地上部分生物量的增加, 效果为矿物钾肥(水热法)>木本泥炭基腐植酸钾>矿物钾肥(煅烧法)。追施矿物钾肥(水热法)及木本泥炭基腐植酸钾能显著提高耕层土壤速效钾(0~15 cm土层)、缓效钾(15~30 cm土层)及中下部烟叶中的钾含量, 其0~15 cm土层速效钾含量分别高于对照13.55%、12.10%, 15~30 cm土层缓效钾含量分别高于对照19.73%、18.90%, 中下部烟叶钾含量分别高于对照21.58%、15.68%。追施矿物钾肥(水热法), 中、下部烟叶烟碱含量较对照分别降低21.47%、17.02%。在酸化植烟土壤上, 中耕培土期间追施矿物钾肥(水热法)及木本泥炭基腐植酸钾后能改善土壤供钾能力, 改良土壤酸化, 提高烤烟不定根生物量及烟叶品质。

**关键词:** 中耕培土; 富钾土壤调理剂; 不定根; 化学品质; 钾素

中图分类号: S572.01

文章编号: 1007-5119(2017)04-0064-06

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2017.04.010

## The Effect of Different New Potassium-rich Soil Conditioners on Potassium Applying Characteristics of Soils and Tobacco Quality

LI Haiping<sup>1</sup>, DING Mengjiao<sup>2</sup>, ZHANG Faming<sup>1</sup>, LIU Hao<sup>2</sup>, DUAN Zhichao<sup>3</sup>, ZHOU Jiheng<sup>2</sup>,  
FAN Wei<sup>2</sup>, XIAO Zhixin<sup>1\*</sup>, ZHANG Yi<sup>2</sup>

(1. Yunnan Tobacco Company Baoshan City Company, Baoshan, Yunnan 678000, China; 2. College of Biological Science and Technology, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, China; 3. Hunan Tobacco Industry Co., Ltd., Changsha 410014, China)

**Abstract:** The purpose of this study was to explore the effect of the potassium-rich soil conditioners on the topdressing during cultivation hilling of flue-cured tobacco production. In this study mineral potash (hydrothermal method), mineral potash (calcination method) and wood peat derived potassium humate were used to replace part of  $\text{KNO}_3$  or  $\text{K}_2\text{SO}_4$  on the topdressing. Their effects on the contents of pH, K in flue-cured tobacco root zone and the adventitious root, biomass and quality of flue-cured tobacco were studied. The results showed that soil pH of tobacco root zone, adventitious roots and aboveground biomass of tobacco plants were significantly improved after topdressing the type of potassium rich soil conditioners during cultivation hilling. The effect was mineral potash (hydrothermal method)> wood peat derived potassium humate> mineral potash (calcination method). Topdressing mineral potash (hydrothermal method), wood peat derived potassium humate could significantly improve the available K, slow-release K content of soil and potassium contents of the middle, lower leaves. Compared with the control, the content of available K was increased by 13.55% and 12.10% at 0-15 cm soil horizon, the content of slow-release K was increased by 19.73% and 18.90% at 15-30 cm soil horizon, the content of potassium in the middle with lower leaves was increased by 21.58% and 15.68%, and the nicotine content in the middle and lower leaves of mineral potash (hydrothermal method) was decreased by 21.47% and 17.02%. The conclusion is that topdressing mineral potash (hydrothermal method), wood peat derived potassium humate before cultivation hilling can improve the ability of tobacco soil in maintaining potassium, improve soil acidification, increase tobacco adventitious root and biomass, and improve the quality of tobacco.

**Keywords:** cultivation hilling; potassium-rich soil conditioner; adventitious root; chemical quality; potassium

基金项目: 中国烟草云南省公司科技计划项目“保山烟区酸化土壤改良关键技术研究与应用”(2015YN22);

湖南中烟工业有限责任公司科技项目“特色优质烟叶开发”(2016HN08)

作者简介: 李海平(1981-), 男, 硕士, 农艺师, 主要从事烤烟栽培及生产管理工作。E-mail: lhpwork@foxmail.com, \*通信作者, E-mail: 4355195@qq.com

收稿日期: 2017-03-03

修回日期: 2017-08-12

优质烟叶生产要求的土壤适宜 pH 为 5.5~6.5<sup>[1]</sup>, 腾冲市烟区 67.6% 的土壤呈弱酸性, 另有 31.4% 的土壤为强酸性<sup>[2]</sup>。土壤酸化会直接影响根系的生长, 进而影响到根系的吸收功能<sup>[3]</sup>; 有研究表明, 随着烟草根际土壤 pH 从 7.5 降至 4.5, 烟草根系各时期的根体积、干重、根系活跃吸收面积和总吸收面积均呈降低趋势<sup>[4]</sup>。酸性土壤影响烟株吸收  $K^+$  的原因: 随着土壤阳离子交换量 (CEC) 的降低,  $K^+$  的有效度降低; 土壤溶液中  $H^+$  浓度过高,  $H^+$  与  $K^+$  在根原生质膜上竞争结合位点, 使根原生质膜上  $H^+$  流出泵的效率下降, 因不能有效地排出  $H^+$  而抑制  $K^+$  的吸收; 酸性土壤固钾能力下降, 钾素淋溶流失加剧<sup>[3,5]</sup>。优质烤烟生产技术要求钾肥后移<sup>[6]</sup>, 但往往土壤供钾水平与烤烟需钾规律不一致。针对上述问题, 近年来国内一些烟区开展了有关利用土壤调理剂改良酸性土壤以及追施钾肥的研究<sup>[6-13]</sup>, 但中耕培土时利用富钾型土壤调理剂追肥对土壤及烟叶化学品质改良相关文献鲜见报道。以基肥形式施入矿物钾肥 (煅烧法)、矿物钾肥 (水热法)、腐植酸钾在增钾提质基础上, 均能有效提高植烟土壤 pH<sup>[3,14,15]</sup>。矿物钾肥主要由含富钾岩石转化而成, 是一种很好的土壤改良剂, 能改良土壤结构, 有利于作物根系生长<sup>[14]</sup>。木本泥炭基腐植酸钾由木本泥炭 (木本残体 >90%、有机质 >80%、总腐殖酸 38%, 黑棕腐殖酸 34%、阳离子交换量 1051 mmol/kg) 与 KOH 等反应生成, 适当增施有机物料, 提高土壤缓冲能力, 能使土壤 pH 在自然条件下不会因外界条件改变而剧烈变化<sup>[3]</sup>。因此, 本文通过在中耕培土期追施富钾土壤调理剂部分替代追肥中  $KNO_3$  或  $K_2SO_4$  的方法, 研究了土壤调理剂对改良酸性土壤, 促进烤烟不定根的生长, 改善烤烟品质, 提高土壤的钾肥供钾能力的影响, 从而为保山烟区烤烟生产中耕培土时土壤调理剂的合理施用提供理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

大田试验于 2016 年 4—9 月在云南省保山市腾

冲市界头镇 (25°01' N, 98°30' E) 进行, 该地海拔 1620 m, 年平均气温 14.8 °C, 年降雨量 1600~1700 mm, 无霜期 270 d, 全年日照时数 1500 h, 属典型的亚热带季风气候, 土壤类型为水稻土, 试验地土壤的理化性状为 pH 5.43, 有机质 23.40 g/kg, 全氮 1.52 g/kg, 全磷 2.13 g/kg, 全钾 15.02 g/kg, 碱解氮 106.88 mg/kg, 有效磷 48.67 mg/kg, 速效钾 76.68 mg/kg, 缓效钾 786.68 mg/kg, 交换性钙 1 064.10 mg/kg, 交换性镁 116.05 mg/kg, 有效硫 25.63 mg/kg。

### 1.2 供试材料

供试烤烟品种为烟区主栽品种 K326, 通过漂浮育苗到移栽期后进行大田移栽。

供试土壤调理剂矿物钾肥 (煅烧法) 含 4%  $K_2O$ 、矿物钾肥 (水热法) 含 27%  $K_2O$ , 均从山西紫光钾业有限公司购得; 木本泥炭基腐植酸钾含 10%  $K_2O$ , 购于香港中向国际有限公司。

### 1.3 试验方法

烟苗于 4 月 30 日进行移栽, 100% 无病虫害壮苗移栽。株距 50 cm, 行距 120 cm。

试验共设 5 个处理, 各处理氮、磷、钾肥用量均为: N 8.9 kg/667 m<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 8.4 kg/667 m<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 20.8 kg/667 m<sup>2</sup>。于 5 月 7 日、5 月 16 日、和 6 月 2 日分别进行 3 次追肥。第 3 次追肥同时进行揭膜中耕培土, 肥料均匀混施于培土层。基肥、第 1、2、3 次追肥分别施 N 3.28、0.8、0.8、4.02 kg/667 m<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4.8、0、0、3.6 kg/667 m<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 8.5、1.5、1.5、9.3 kg/667 m<sup>2</sup>。基肥和第 1、2 次追肥, 肥料形态均为有机无机复混肥 [ $m(N)$   $m(P_2O_5)$   $m(K_2O)$ =7 12 9] 和  $KNO_3$  [ $m(N)$   $m(P_2O_5)$   $m(K_2O)$ =16 0 30]; 第 3 次追肥, 不同处理分别施用矿物钾肥 (煅烧法)、矿物钾肥 (水热法) 和木本泥炭基腐植酸钾, 以  $KNO_3$ 、硫酸钾 (含 50%  $K_2O$ )、硝酸铵 (含 15% N) 和有机无机复混肥调节使各处理氮、磷、钾肥施用量一致。各处理第 3 次追肥用量如表 1。T1 是当地烟农常规施肥方案, 为本试验的对照处理。

试验采用随机区组设计, 3 次重复, 共计 15 个

表1 各处理第3次追施氮、磷、钾及富钾土壤调理剂用量

处理	富钾土壤调理剂及肥料用量
T1 (对照)	$\text{KNO}_3$ 12 kg/667 m <sup>2</sup> + 有机无机复混肥 30 kg/667 m <sup>2</sup>
T2	矿物钾肥(煅烧法) 90 kg/667 m <sup>2</sup> + 有机无机复混肥 30 kg/667 m <sup>2</sup> + 硝酸铵 12.8 kg/667 m <sup>2</sup>
T3	矿物钾肥(水热法) 13.33 kg/667 m <sup>2</sup> + 有机无机复混肥 30 kg/667 m <sup>2</sup> + 硝酸铵 12.8 kg/667 m <sup>2</sup>
T4	木本泥炭基腐植酸钾 36 kg/667 m <sup>2</sup> + 有机无机复混肥 30 kg/667 m <sup>2</sup> + 硝酸铵 12.8 kg/667 m <sup>2</sup>
T5	硫酸钾 7.2 kg/667 m <sup>2</sup> + 有机无机复混肥 30 kg/667 m <sup>2</sup> + 硝酸铵 12.8 kg/667 m <sup>2</sup>

小区, 小区面积 50 m<sup>2</sup>。田间管理措施参照当地特色优质烟叶生产技术规程。

#### 1.4 测定项目与方法

植株样品: a) 培土前在垄顶部铺 1 层尼龙网袋, 然后培土, 便于收集不定根。分别在培土后 30、60、90 d, 每个处理选择长势一致的烤烟 3 株, 测定不定根以及地上部生物量。b) 各小区烟叶采收后按三段式烘烤法烘烤, 按烤烟 42 级国家标准(GB 2635—92) 分级, 每个小区分别取 X2F, C3F, B2F 3 个等级的烟叶各 1.5 kg, 分别测定烟叶总氮、钾、烟碱、总糖含量。采用烟草行业标准 YC/T 161—2002, YC/T 173—2003, YC/T 160—2002, YC/T 159—2002 测定。

土壤样品: 烤烟收获后取根区土样(烟株茎周边 5~10 cm), 每试验小区均利用土钻分 0~15 cm、15~30 cm 两层取样, 土壤 pH 采用复合电极法, 速效钾采用 1 mol/L  $\text{NH}_4\text{OAc}$  浸提-火焰光度法, 缓效钾采用 1 mol/L 热  $\text{HNO}_3$  浸提-火焰光度法进行测定。

#### 1.5 数据分析方法

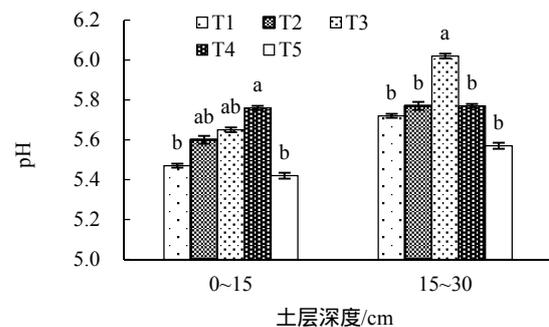
采用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 19.0 对数据进行统计分析。

## 2 结果

### 2.1 烤烟根区土壤 pH

由图 1 可知, 中耕培土期间追施富钾土壤调理剂均能有效提高耕层植烟土壤 pH。其中 0~15 cm 土层追施木本泥炭基腐植酸钾 T4 处理效果最显著, 土壤 pH 值为 5.76, 与追施  $\text{KNO}_3$  (T1)  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (T5)

处理达显著水平; 15~30 cm 土层以追施矿物钾肥(水热法) T3 处理效果最显著, pH 为 6.02, 与 T1、T5 处理有显著性差异。T2、T3、T4 处理耕层土壤均处于最适植烟土壤 pH (5.5~6.5) 内。各处理对耕层植烟土壤 pH 影响由大到小排列为 T3 > T4 > T2 > T1 > T5。



注: 不同小写字母表示差异达 5% 显著水平 ( $p < 0.05$ ), 下同。

图 1 中耕培土期追施富钾土壤调理剂对不同土层土壤 pH 的影响

Fig. 1 Effects on pH in different tobacco planting tillage soils with topdressing potassium-rich soil conditioners during turning and overlaying soil

### 2.2 烤烟根区土壤钾含量

由表 2 可知, 施用富钾土壤调理剂的 T2、T3、T4 处理土壤速效钾含量均高于 T1 处理, 且除 T3 处理 15~30 cm 土层外, 均与 T1 达到显著差异; 其中追施矿物钾肥(煅烧法)的 T2 处理最高, 0~15 和 15~30 cm 土层分别高于 T1 处理 58.49% 和 67.54%。

土壤缓效钾含量则为追施矿物钾肥(水热法)的 T3 处理最高, 0~15 和 15~30 cm 土层分别高于 T1 处理 18.68% 和 19.73%, 达到显著水平; 而追施矿物钾肥(煅烧法)的 T2 处理 0~15 和 15~30 cm 土层土壤缓效钾含量则不同程度低于其他处理。这表明矿物钾肥(煅烧法)能够在短期内为烟株提供较多的钾元素, 却并不能有效提高植烟土壤的钾素库容。T3 及 T4 处理缓效钾含量在 0~15 cm 土层与 T1 处理没有显著差异, 但在 15~30 cm 土层中显著高于 T1 处理, 表明这两种土壤调理剂能在深层土壤中为烟株持续的提供更多的钾素, 从而较好地解决优质烟叶生产中后期土壤钾素供应强度不足的

问题。追施  $K_2SO_4$  的 T5 处理速效钾与缓效钾含量在两个土层中均与 T1 处理没有显著差异。

表 2 中耕培土时追施富钾土壤调理剂对土壤钾含量的影响

Table 2 Effects on potassium in different tobacco planting tillage soils with topdressing potassium-rich soil conditioners during turning and overlaying soil mg/kg

试验处理	速效钾		缓效钾	
	(0~15 cm)	(15~30 cm)	(0~15 cm)	(15~30 cm)
T1	343.62c	336.97c	643.07ab	583.06b
T2	544.62a	564.57a	535.41b	562.12b
T3	390.17b	355.26bc	763.19a	698.10a
T4	385.19b	413.45b	634.84ab	693.24a
T5	358.58c	330.32c	581.44b	609.71ab

### 2.3 烤烟不定根生物量

从图 2 可看出,在培土 30 d 时各处理不定根生物量差异不明显,其数值范围为 4.42~5.08 g/株,这表明土壤调理剂在短期内无法促进烟株不定根的生成。培土 60 d 时,追施富钾土壤调理剂的 T2、T3、T4 处理不定根生物量高于 T1、T5 处理,表明土壤调理剂的缓效释放效果开始作用于烟株根系,促进不定根的生长。培土 90 d 时不定根生物量  $T3>T4>T2>T5>T1$ ,范围为 19.24~24.16 g/株。试验过程中 T5 和 T1 处理不定根生物量差异较小。两种矿物钾肥以及木本泥炭基腐植酸钾则对整个烟株生长过程中的不定根产生有明显促进作用,其中最有效的是矿物钾肥(水热法),其次是木本泥炭基腐植酸钾。

### 2.4 烤烟地上部生物量

由图 3 可知,随追施土壤调理剂时间延长,烟株地上部生物量逐渐高于 T1 和 T5 处理。培土后 60 d,追施富钾土壤调理剂的 3 个处理显现生长优势,T1 和 T5 两个处理间差异不大,但地上部分生物量明显低于 T2、T3、T4 处理,表现为  $T3>T4>T2>T5>T1$  其中 T3、T4 处理显著高于 T1、T5 处理。培土 90 d 时,烟株生长基本停止,地上部分生物量不会明显再增加,在培土 60 d 时所产生的差异基本延续到了 90 d。

### 2.5 烟叶品质

由表 3 可知,追施土壤调理剂对上部叶总糖含

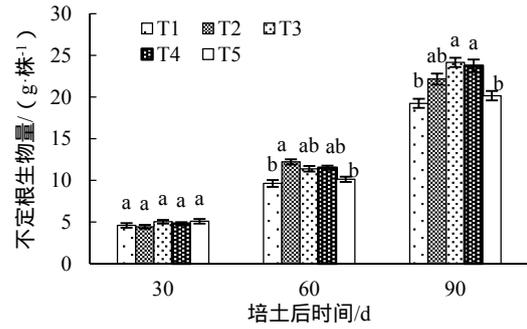


图 2 中耕培土时追施富钾土壤调理剂对烤烟不定根生物量的影响

Fig. 2 Effects on adventitious root biomass of flue-cured tobacco with topdressing potassium-rich soil conditioners during turning and overlaying soil

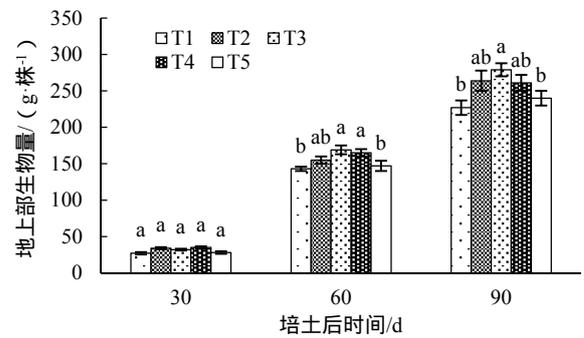


图 3 中耕培土时追施富钾土壤调理剂对烤烟地上部生物量的影响

Fig. 3 Effects on the aboveground biomass of flue-cured tobacco with topdressing potassium-rich soil conditioners during turning and overlaying soil

量影响较大,各处理烟叶总糖含量与 T1 处理差异显著,表明追施土壤调理剂后能提高上部烟叶中的总糖含量。追施  $K_2SO_4$  处理中部烟叶总糖含量显著低于其他处理,各部位烟叶总糖含量均值亦偏低,这表明在酸化土壤中追肥  $K_2SO_4$  不利于烟叶总糖含量的提高。上部烟叶总氮含量各个处理间没有显著差异,下部烟叶追施富钾土壤调理剂处理与 T1 处理差异不显著,T5 处理总氮含量显著高于 T1 处理 15%,中耕培土时追施  $K_2SO_4$  能提高中下部烟叶总氮含量。T3 处理下部叶和中部叶烟碱含量与其他处理有显著差异,分别显著低于 T1 处理 17.02%、21.47%,这表明中耕培土时追施矿物钾肥(水热法)能有效降低中下部烟叶烟碱含量。T2 与 T5 上部烟叶烟碱含量与其他处理也表现出显著差异性,说明追施矿物钾肥(煅烧法)和  $K_2SO_4$  能够降低上部叶中的烟碱含量,使上部烟叶可用性提高。追施富钾

表3 中耕培土时追施富钾土壤调理剂对各部位烟叶品质的影响  
Table 3 Effects on the quality of tobacco leaves with topdressing potassium-rich soil conditioners during turning and overlaying soil %

处理	总糖			总氮			烟碱			氧化钾		
	下部叶 (X2F)	中部叶 (C3F)	上部叶 (B2F)									
T1	20.99a	32.43a	28.54c	2.00b	2.02ab	2.63a	1.41a	1.77b	2.89a	2.99b	1.99b	1.51a
T2	17.44ab	32.64 a	31.42a	2.07ab	2.24a	2.45a	1.37a	1.98a	2.49b	3.17ab	2.08ab	1.35a
T3	19.71ab	31.42 a	30.06ab	2.03ab	1.71b	2.54a	1.17b	1.39b	2.82a	3.51a	2.53a	1.52a
T4	18.31ab	32.55 a	30.11ab	2.06ab	2.09ab	2.46a	1.34a	1.93a	2.80a	3.61a	2.14ab	1.47a
T5	17.19b	28.16 b	29.68ab	2.30a	2.25a	2.42a	1.36a	1.96a	2.53b	3.19ab	2.01ab	1.41a

土壤调理剂烟叶中钾含量均高于 T1 处理,其中 T3、T4 处理下部烟叶钾含量分别显著高于 T1 处理 17.39%、20.74%; T3 处理中部烟叶钾含量显著高于 T1 处理 27.14%, T4 处理中部烟叶钾含量高于 T1 处理 7.54%,表明中耕培土时追施富钾土壤调理剂能显著提高中下部烟叶钾含量,其中 T3 处理效果较优,采烤结束烤烟根区土壤速效钾、缓效钾含量也是 T3、T4 处理最优。

### 3 讨论

研究表明,中耕培土时追施  $K_2SO_4$  处理土壤 pH 最低,追施矿物钾肥(水热法)处理 0~15 cm、15~30 cm 耕层土壤 pH 值均高于追施  $K_2SO_4$  处理,这主要是由于硫酸钾中含有的硫酸根会使土壤 pH 进一步降低,不利于酸化土壤的改良,这与魏国胜<sup>[15]</sup>研究结果一致,室内淋洗模拟试验表明钾肥的致酸效果是硫酸钾>硝酸钾。在酸化土壤中,土壤胶体吸收较多的氢离子,土壤难以形成良好的团粒结构,降低了土壤的可耕性,使得土壤板结,团粒结构被破坏,物理特性变差<sup>[16]</sup>,因此导致追施  $K_2SO_4$  处理与 T1 处理相比,对不定根发生的促进作用较差。追施富钾土壤调理剂能够提高采烤结束时土壤 pH;大田期烤烟不定根产生是在烟苗移栽后 10~20 d 左右,在采烤期不定根生物量占整个根系总生物量的 45.6%<sup>[17]</sup>,在烤烟生长旺长期追施富钾土壤调理剂对不定根的生长具有较明显的促进效果,T2、T3、T4 处理不定根生物量总和分别高于 T1 处理 16.00%、21.29%、19.74%。不定根的大量生成最终将成为烟草活性吸收根系的主体,这些不定根将会大量吸收营养元素来维持优质烟叶的产生<sup>[18]</sup>。追施富钾型土

壤调理剂对不定根的促进效果最终体现在烟株的生长发育上,T2、T3、T4 处理地上部分生物量总和分别高于 T1 处理 14.11%、20.91%、16.12%。其中地上部分生物量和不定根生物量最大的是追施矿物钾肥(水热法)处理,其次是施用木本泥炭基腐植酸钾处理;对耕层植烟土壤 pH 改善效果最好的也是追施矿物钾肥(水热法)处理。

烟田钾素亏缺已成为优质烟叶生产可持续发展的重要限制因素之一<sup>[19-20]</sup>,以往为了提高烟叶钾含量,烟农往往大量追施  $K_2SO_4$ ,但研究表明,中耕培土时追施  $K_2SO_4$ ,土壤中速效钾与缓效钾含量与常规处理在各个土层都没有显著性差异,追施  $K_2SO_4$  不能使采烤结束时根区土壤钾库容增加,也不能在烟株整个生长期持续提供钾素的供应强度。土壤钾素肥力的供应强度主要决定于速效钾和缓效钾,缓效钾和速效钾之间存在动态平衡,是土壤速效钾的主要库源,是土壤供钾潜力的指标<sup>[21]</sup>。追中耕培土时施矿物钾肥(煅烧法)能够短时间为烟株提供比常规处理更多的速效钾,但其所提供的缓效钾有限,随着速效钾的流失,在烟株生长后期不能满足烟株对钾素的需求。在 0~15 cm 土层中,追施矿物钾肥(水热法)以及木本泥炭基腐植酸钾处理速效钾含量显著高于 T1 处理 13.55%、12.10%,15~30 cm 土层中的缓效钾含量分别显著高于 T1 处理 19.73%、18.90%,表明这两个处理在提高土壤供钾强度方面优于常规处理,而且这两种土壤调理剂能在深层土壤中为烟株持续供应钾素,从而较好地解决优质烟叶生产中后期植烟土壤钾素供应强度不足的问题。

追施富钾土壤调理剂后上部烟叶总糖含量与 T1 处理相比显著增加,表明这 3 种土壤调理剂能够较有效地提高上部烟叶总糖含量。中耕培土时追施  $K_2SO_4$  处理中部烟叶总糖含量显著低于其他处理,各部位烟叶总糖含量均值亦偏低,表明在酸性土壤中追肥  $K_2SO_4$  不利于烟叶总糖含量的提高。T5 处理中部烟叶中总氮含量均高于其他处理,下部烟叶总氮含量显著高于 T1 处理 15%,说明中耕培土时追施  $K_2SO_4$  能提高中下部烟叶总氮含量。T3 处理下部叶和中部叶烟碱含量与其他处理有显著差异,分别显著低于 T1 处理 17.02%、21.47%,这表明中耕培土时追施矿物钾肥(水热法)能有效降低中下部烟叶烟碱含量。T2 与 T5 处理上部烟叶烟碱含量与其他处理也表现出显著差异性,说明追施矿物钾肥(煅烧法)和  $K_2SO_4$  能够降低上部烟叶中的烟碱含量,使上部烟叶可用性提高。T3、T4 处理下部烟叶钾含量分别显著高于 T1 处理 17.39%、20.74%,中部烟叶钾含量分别高于 T1 处理 27.14%、7.54%,表明中耕培土时追施矿物钾肥(水热法)及木本泥炭基腐植酸钾能显著提高中下部烟叶钾含量,这可能是由于采摘结束烤烟根区土壤速效钾、缓效钾含量 T3、T4 处理较高,这两种钾肥缓释效果较好,这与前人研究结果一致,与常规钾肥相比,大田缓释钾肥处理的土壤速效钾含量在烤烟生长后期并未降低且有增加趋势<sup>[13]</sup>,施用缓释钾肥以及缓释钾肥与其他钾肥配施显著提高了烤后烟叶中的钾含量<sup>[13,22-24]</sup>。

综合对土壤酸化的改良效果、烤烟不定根的生成量、烤烟品质的提高及土壤的钾肥保持能力等方面得出,在烤烟中耕培土期追施矿物钾肥(水热法)及木本泥炭基腐植酸钾效果最佳,追施  $K_2SO_4$  效果较差。

#### 参考文献

- [1] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [2] 邵丽,周冀衡,陶文芳,等. 植烟土壤 pH 值与土壤养分的相关性研究[J]. 湖南农业科学,2012(3):52-54.
- [3] 尹永强,何明雄,邓明军. 土壤酸化对土壤养分及烟叶

- 品质的影响及改良措施[J]. 中国烟草科学,2008,29(1):51-54.
- [4] 徐晓燕,孙五三,李章海,等. 烤烟根系合成烟碱的能力及 pH 对其根系和品质的影响[J]. 安徽农业大学学报,2004,31(3):315-319.
- [5] H 马斯纳. 高等植物的矿质营养[M]. 曹一平,等,译. 北京:北京农业大学出版社,1991:17-25.
- [6] 代晓燕,张芊,王建安,等. 不同钾肥施用量及基追施比对烤烟中性致香物质含量的影响[J]. 中国烟草科学,2014,35(1):26-31.
- [7] LIU K H, FANG Y T, YU F M, et al. Soil acidification in response to acid deposition in three subtropical forests of subtropical China[J]. Pedosphere, 2010(3): 399-408.
- [8] 郭豪,宋鹏飞,黄嵩,等. 土壤改良剂对酸性土壤改良效应和烤烟产量、质量的影响[J]. 江苏农业科学,2014,42(6):95-98.
- [9] 朱克亚,孙星,程森,等. 不同改良剂对皖南烟田土壤性状及烤烟产量和品质的影响[J]. 土壤,2016,48(4):720-725.
- [10] 邢世和,熊德中,周碧青,等. 不同改良剂对烟区土壤肥力性状及烤烟产量和质量的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2004,33(3):384-389.
- [11] 张翔,毛家伟,翟文汇,等. 不同钾肥种类及追施深度对烤烟经济性状和养分吸收的影响[J]. 中国烟草科学,2014,35(2):69-73.
- [12] 戴勋,王毅,刘彦中,等. 不同钾肥追施量对烤烟 K326 生长及产质量的影响[J]. 中国烟草科学,2009,30(1):19-22.
- [13] 刘金,李进平,涂书新,等. 几种缓释钾肥对烤烟钾含量及产量产值的影响[J]. 中国烟草科学,2014,35(3):17-22.
- [14] 汪家铭. 不溶性钾矿制取矿物钾肥及综合利用研究进展[J]. 化学工业,2014,32(1):25-28.
- [15] 魏国胜. 植烟土壤酸化机理及调控技术研究[D]. 北京:中国农业科学院,2014.
- [16] 李忠意. 重庆涪陵榨菜种植区土壤酸化特征及其改良研究[D]. 重庆:西南大学,2012.
- [17] 易建华,孙在军,贾志红. 烤烟根系构型及动态建成规律的研究[J]. 作物学报,2005,31(7):915-920.
- [18] 邵丽,周冀衡,陶文芳,等. 植烟土壤 pH 值与土壤养分的相关性研究[J]. 湖南农业科学,2012(3):52-54.
- [19] 谢建昌,周建民. 我国土壤钾素研究和钾肥使用的进展[J]. 土壤,1999,31(5):244-254.

(下转第 75 页)

- 2007.
- [3] 周杨全, 徐金丽, 徐光军, 等. 液相色谱-串联质谱法检测吡啶磺菌胺在烟叶中的残留及消解动态[J]. 农药学报, 2015, 17(5): 585-589.
- [4] 周杨全, 徐光军, 徐金丽, 等. 烟草中溴菌腈农药残留检测方法及其消解动态[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(1): 67-71.
- [5] 杨立强, 徐光军, 闫晓阳, 等. 拟除虫菊酯类杀虫剂在烟叶烘烤过程中的消解动态与最终残留[J]. 农药学报, 2013, 15(5): 534-540.
- [6] 李修平, 朱涛, 朱丽萍. 叶面肥与农药配合喷施对冬小麦产量和产量构成的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(21): 169-172.
- [7] 邵光永, 郑伟年, 吴良欢. 植物源杀虫剂与氮磷钾混配叶面肥对小白菜施用效果研究[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(1): 59-62.
- [8] 汤鸣强, 黄伙水, 姚源琼. 叶面肥喷施宝对芥蓝菜农药残留及抗氧化酶活性的效应[J]. 中国农学通报, 2014, 30(31): 308-315.
- [9] 汤鸣强, 吴凤林, 姚源琼. 喷施宝叶面肥对农药胁迫下土壤中常见微生物生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(11): 361-364.
- [10] 汤鸣强, 姚源琼. 含腐植酸喷施宝叶面肥降解土壤农药残留探讨[J]. 腐植酸, 2013(2): 27-31.
- [11] 王缉东, 汤鸣强, 连秦勇. 喷施宝水溶肥降解茶叶中毒死蜱农药残留量试验初报[J]. 中国农技推广, 2016, 32(10): 56-57.
- [12] 汤鸣强, 姚源琼, 陈木兰. 含腐植酸喷施宝有机水溶肥料对芥蓝菜农药残留降解初探[J]. 腐植酸, 2013(4): 12-14.
- [13] 中华人民共和国农业部农药检定所. NY/T 788 农药残留试验准则[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [14] 中华人民共和国农业部农药检定所. 农药登记残留田间试验标准操作规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [15] 吴岩, 姜冰, 徐义刚, 等. QuEChERS-液相色谱-串联质谱法同时测定果蔬中16种农药残留[J]. 色谱, 2014, 33(3): 228-234.
- [16] 孙星, 丁悦, 汪佳蕾, 等. QuEChERS-高效液相色谱-串联质谱法测定果蔬中多效唑残留[J]. 食品科学, 2014, 35(8): 76-79.
- [17] European Commission. Guidance document on analytical quality control and validation procedures for pesticide residues analysis in food and feed[EB/OL]. (2013-09-19) [2017-02-21]. [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides\\_mrl\\_guidelines\\_wrkdoc\\_11945.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_11945.pdf).
- [18] TEWARY D K, KUMAR V, RAVINDRANATH S D, et al. Dissipation behavior of bifenthrin residues in tea and its brew[J]. Food Control, 2005, 16(3): 231-237.
- [19] 华飞雯. 化肥, 农药, 植物生长调节剂如何混用[J]. 农村新技术, 2016(10): 38-39.



(上接第69页)

- [20] ZHEN L, ZOEBISCH M A, CHEN G B, et al. Sustainability of farmers' soil fertility management practices: A case study in the North China Plain[J]. Journal of environmental management, 2006, 79(6): 409-419.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010: 39-114.
- [22] 刘国顺, 何永秋, 杨永锋, 等. 不同钾肥配施对烤烟质体色素和碳氮代谢及品质的影响[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(6): 49-55.
- [23] 刘国顺, 王景, 徐辰生, 等. 生物钾肥对烤烟含钾量和经济性状的影响[J]. 中国烟草科学, 2005, 26(4): 46-48.
- [24] 余垚颖, 蒋长春, 顾会战, 等. 有机无机复混钾肥钾素表观释放特征及对烤烟产质量的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(1): 14-19.