

# 土壤 pH 与烤烟钾素营养关系的研究\*

黎成厚 刘元生 何腾兵 杨宏敏 黄立栋 腾应\*\*

(贵州大学农学院农学系, 贵阳市花溪 550025)

**摘 要** 选择代表性的贵州植烟土壤, 施石灰提高 pH, 施硫酸亚铁和硫磺降低 pH, 通过两年烤烟盆栽试验, 研究了土壤 pH 对烤烟钾营养状况的影响。结果表明: 土壤 pH 平均为 5.33 和 6.1 时烟叶产量较高; 超出此 pH 范围, 产量有下降趋势; pH 低于 5.0 产量急剧下降。烟叶吸钾状况及施钾效果均以土壤平均 pH5.33 的最高; pH 低于 5.0 及高于 6.1 对烟株的钾素营养都有不同程度的影响, 以低 pH 对钾吸收的抑制作用最大。初步提出土壤 pH5.0 是烟株遭受  $Al^{3+}$  毒害的临界值。

**关键词** 烤烟, 钾营养, 土壤 pH, 施石灰, 施硫, 施硫酸亚铁

**中图分类号** S572.06

烤烟品质的优劣与其含钾量的高低有密切关系。我省乃至我国烤烟含钾量均偏低, 只有国际优质烟含钾量的一半左右<sup>[1]</sup>。近年来人们一直在探索提高烤烟含钾量的途径。除了烟田生态与烤烟生理的关系及其对烤烟含钾量影响的研究<sup>[1]</sup>以外, 主要集中在根系的环境对烤烟钾营养影响的研究<sup>[2]</sup>。有关土壤 pH 与优质烟生产的关系, 国内外的认识不尽一致。涉及土壤 pH 与烤烟钾营养关系的研究很少。本文通过施石灰提高酸性土壤的 pH, 施  $FeSO_4$  和硫磺以降低土壤 pH, 研究不同 pH 条件下烤烟的钾营养状况, 以期对钾肥的有效施用及提高烤烟含钾量提供参考依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 土样

1 号土为发育于第四纪红色粘土的强酸性黄壤(松林植被); 2 号为下伏白云质灰岩的复盐基中性黄泥土; 3 号为发育于砂页岩母质的近中性夹沙黄泥(田)。1' 和 2' 分别与 1 号和 2 号属同一母质; 3' 是与 3 同一母质的酸性夹沙黄泥土。土样均采自贵阳市花溪地区, 经风干, 过 10mm 孔径筛, 混匀, 每盆装土 20kg。供试土样有关性状如表 1。

### 1.2 肥料

氮肥用地产尿素, 磷肥用地产普钙, 钾肥用进口硫酸钾。

### 1.3 pH 调节剂

提高土壤 pH 用石灰(化学纯粉状)74g/盆。降低土壤 pH 分别用硫酸亚铁(工业品)75g/盆和升华硫

\* 贵州省科学基金资助项目

\*\* 农学系研究生

1) 云南烤烟低钾原因研究协作组。云南烤烟低钾原因初报。1994

收稿日期: 1998-01-12; 收到修改稿日期: 1998-09-10

表1 供试土壤的有关理化性状

Table 1 Some properties of soils used

土壤 编号 No	土壤类别 Soil type	pH	有机质	全氮	碱解氮	有效钾	缓效钾	颗粒组成(%)		质地 Texture
			O.M. (g/kg)	Total N (g/kg)	Available N(mg/kg)	Available K(mg/kg)	Slow available K(mg/kg)	<0.01mm	<0.001mm	
1	黄壤	5.3	20.1	1.18	95	97	98	80.4	66.2	中粘土
2	黄泥土	7.3	27.8	1.51	108	120	162	62.6	47.4	轻粘土
3	夹沙黄泥(田)	6.4	16.7	0.97	119	130	188	48.6	28.6	重壤土
1'	黄壤	5.3	19.9	1.25	101	96	106	78.2	65.4	中粘土
2'	黄泥土	7.4	28.6	1.71	125	85	170	58.2	42.2	重壤土
3'	夹沙黄泥(土)	5.5	12.6	0.81	98	88	110	31.4	20.4	中壤土

(分析纯)48g/盆。施有机肥以期保持土壤 pH, 分别用秸秆粉 100g/盆(扣除其中的  $K_2O$  1.2g)和风化煤 100g/盆。

#### 1.4 实验处理

1995 年用 1, 2, 3 号土壤做盆栽, 1996 年用 1', 2', 3' 土壤作盆栽, 实验处理分 A、B、C、D 四类, 各处理的 N、P 水平皆同。A 为不施钾处理, 其 N、P 水平分别为每盆施尿素 15.2g, 普钙 85.0g。B 为施 N、P、K 处理, 底肥加施硫酸钾 20g/盆。C、D 为调节 pH 的处理, N、P、K 水平与 B 相同, 底肥与 pH 调节剂一起于栽烟前一天施下。具体处理详见表 2。实验在农院盆栽场进行, 所有处理重复三次。

表2 不同pH调节剂处理后原土与收获后土壤pH的比较

Table 2 Comparison of soil pH in different treatment of pot experiment

土壤 编号 No	原土 Origin	处理 Treatment			
		A NP	B NPK	C NPK	D NPK
1	5.3	5.22	5.31	5.35(加秸秆粉)	6.85(加秸秆粉+石灰)
2	7.3	7.03	6.89	6.09(加硫酸亚铁)	4.52 (加 硫)
3	6.4	6.28	6.07	5.43(加硫酸亚铁)	7.72 (加石灰)
1'	5.3	5.15	5.18	4.90(加硫酸亚铁)	6.84 (加石灰)
2'	7.4	7.20	7.15	6.70(加硫酸亚铁)	5.35 (加 硫)
3'	5.5	5.45	5.35	5.31(加风化煤)	7.80 (加石灰)

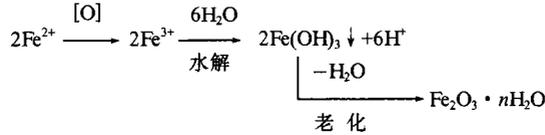
烟苗品种 K326, 5月27日移栽。6月19日追尿素 5.6g,  $K_2SO_4$  5.0g。7月6日第一次采收下部叶, 往后依次从下二棚到顶叶共分 6 次采收成熟叶片, 9月13日采收完。取其中一次中部叶片经烘烤调制供品质分析。其余 5 次于烘箱 70℃ 杀青, 60℃ 烘干, 磨细过 1mm 筛, 供钾的测定, 收烟后取土样供 pH、速效钾等的测定。钾的测定用火焰光度计法; pH 的测定用电位法; 其他项目的测定按常规方法进行<sup>[3]</sup>。

## 2 结果及分析

### 2.1 施用 pH 调节剂的效果

表 2 为原土 pH 与收烟后各处理土壤 pH 值(平均值, 下同)的比较。在石灰施用量相

同的情况下,质地粘重的强酸性土壤 pH 上升到中性;微酸性土及质地较轻的强酸性土壤 pH 上升至碱性。加硫或硫酸亚铁能使中性、微酸性甚至强酸性土壤的 pH 明显下降(表 2)。其机理分别为:  $\text{FeSO}_4$  中的  $\text{Fe}^{2+}$  在土壤中可被氧化成  $\text{Fe}^{3+}$ , 后者经水解释放出  $\text{H}^+$ , 最后生成水化度不同的氧化铁:



硫磺粉经土壤中的硫细菌氧化产生硫酸,使土壤酸化。

## 2.2 土壤 pH 对烟叶产量的影响

酸性土施石灰使 pH 升高,其烟叶产量(与处理 B 相比下同)除了石灰加秸秆粉的处理升高以外,其余均呈下降趋势(表 3)。

表3 各处理的叶片产量(g/盆)与pH值的比较

Table 3 Relation between yield of tobacco leaves (g/pot) and soil pH

土壤 编号 No	处 理 Treatment							
	A		B		C		D	
	pH	产量 Yield	pH	产量 Yield	pH	产量 Yield	pH	产量 Yield
1	5.22	51.4	5.31	49.5	5.35	55.0	6.85	58.1
2	7.03	57.1	6.89	75.7	6.09	64.0	4.52	55.9
3	6.28	75.5	6.07	81.8	5.43	84.8	7.72	80.1
1'	5.15	59.6	5.18	66.8	4.90	57.2	6.84	60.3
2'	7.20	56.0	7.15	67.0	6.70	65.9	5.35	89.0
3'	5.45	59.1	5.35	70.3	5.31	90.0	7.80	56.0

中性土加  $\text{FeSO}_4$  pH 下降至 6.09 和 6.70 的产量均降低,加硫使 pH 下降至 4.52 的产量下降幅度最大(降 26%);而 pH 降至 5.35 的其产量却明显升高(升 32.8%,表 3)。

施有机质的处理,其 pH 保持在 5.35 和 5.31,产量分别增加 11.1% 和 28%(表 3)。从两年试验的 18 个施钾处理来看,pH 平均为 5.33 和 6.08 的烟叶产量较高,pH 低于此范围产量急剧下降;高于此范围产量亦有下降趋势。由此可见,pH 低于 5 的强酸性土才有必要施石灰。中性土适当下调 pH 对提高烟叶产量有利。

## 2.3 供试土壤的供钾能力及施钾的效果

土壤供钾能力是以不施钾处理的烟株总吸量来衡量的。由于烟叶含钾量占全株吸钾量的大部分,约 60%<sup>[1,2]</sup>。故暂用烟叶吸钾量来讨论(下同)。土壤速效钾含量高,特别是 > 120mg/kg 的,其供钾能力明显高于速效钾 < 100mg/kg 的。6 个土样供钾能力差异明显(表 1,表 4)。

从土壤 pH 来看,4 个酸性土的平均吸钾量为 2.618g/盆,明显高于两个中性土 2.407g/盆。从施钾效果(指处理 B、C、D 的吸钾量减去处理 A 的吸钾量)来看,土壤供钾能力低

者,其施钾效果明显高于供钾能力强者(表4)。这与曹文藻等的研究结果一致<sup>[4]</sup>。

表4 土壤pH对烟叶吸钾量及施钾效果的影响(g/盆)  
Table 4 Effect of soil pH on absorbing capacity of potassium  
by tobacco leaves and efficiency of potassium fertilizer

土壤 编号	处 理 Treatment										
	A		B			C			D		
No	pH	吸钾量 A <sup>1)</sup>	pH	吸钾量 A	施钾效果 FKE <sup>2)</sup>	pH	吸钾量 A	施钾效果 FKE	pH	吸钾量 A	施钾效果 FKE
1	5.22	0.824	5.31	1.933	1.109	5.35	2.091	1.267	6.85	2.187	1.363
2	7.03	1.162	6.89	2.713	1.551	6.09	2.424	1.262	4.52	1.738	0.576
3	6.28	1.532	6.07	3.000	1.468	5.43	3.199	1.667	7.72	2.847	1.315
1'	5.15	0.913	5.18	2.582	1.669	4.90	2.192	1.279	6.84	2.142	1.229
2'	7.20	0.359	7.15	2.100	1.741	6.70	1.918	1.559	5.35	3.487	3.128
3'	5.45	0.413	5.35	2.955	2.542	5.31	3.319	2.906	7.80	2.183	1.770

1) A Absorbed K(g/pot)

2) FKE K fertilization efficiency

#### 2.4 调整土壤 pH 对烤烟吸钾量及施钾效果的影响

不管是酸性土、微酸性土还是中性土调整 pH 后,烟叶吸钾量和施钾效果的变化趋势与其产量的变化趋势相同。即土壤 pH 在 5.31~5.43 的处理(包括施有机质)不仅烟叶产量高,而且吸钾量高,施钾效果也好,低于此 pH 范围则急剧下降;高于此 pH 范围也呈下降趋势。酸性土施石灰加秸秆粉的处理,其吸钾量和施钾效果与产量的变化趋势相同,均略有上升(表4)。

#### 2.5 调节土壤 pH 对烟叶含钾量的影响

不管是全株(1~6次采样测定的平均值)还是中部叶(2~5次)的含钾量仍以土壤 pH5.18~5.43 的最高;pH6.70 和 4.52 的明显偏低,其他各处理差异并不大,即使是 pH4.9 的,其含钾量亦相当高(产量很低)(表5)。

表5 各处理烟叶含钾量(g/kg)  
Table 5 Potassium content in tobacco leaves

土 壤 编 号 No	处 理 Treatment							
	A		B		C		D	
	全株 <sup>1)</sup>	中部叶	全株	中部叶	全株	中部叶	全株	中部叶
	Overall	Middle	Overall	Middle	Overall	Middle	Overall	Middle
1	18.00	14.57	39.52	38.39	37.38	37.61	37.90	36.90
2	21.83	19.34	39.74	35.78	37.94	34.95	34.20	29.64
3	21.33	19.26	38.85	36.36	39.68	37.48	36.78	35.78
1'	17.85	13.28	40.83	36.69	40.62	36.70	37.44	35.28
2'	6.24	6.83	34.20	30.09	33.14	27.62	41.37	37.71
3'	6.29	7.60	45.31	40.84	42.09	35.20	41.76	36.43

1) 全株为6次取样分别测定的平均值;中部叶为去掉脚叶和顶叶4次测定的平均值。

## 3 讨论

### 3.1 土壤 pH 对烟叶产量的影响

实验条件下,土壤 pH 平均为 5.33(5.18~5.43)和 6.08 的烟叶产量较高。高于此范围产量呈下降趋势(个别土样增加);低于此 pH 下限产量急剧下降。这 and 低 pH 条件下土壤中活性  $\text{Al}^{3+}$  浓度剧增,导致对烟株生长的危害有关。由于  $\text{Al}^{3+}$  的第一级水解常数的  $\text{p}K_{w1}$  为 5 左右(有报道为 5 或 4.7 的)<sup>[5]</sup>。也就是说在土壤 pH 为 5 或 4.7 的情况下, $\text{Al}^{3+}$  和  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  各占一半。再从  $\text{Al}(\text{OH})_3$  的溶度积来看,随着 pH 的降低, $\text{Al}^{3+}$  浓度呈 3 个数量级的关系升高,即 pH 每下降 1 个单位, $\text{Al}^{3+}$  浓度升高 1000 倍。可见 pH 低于 5.0 活性  $\text{Al}^{3+}$  浓度的急剧增加对烟株生长的危害不容忽视。曹志洪也提出了这个观点<sup>[1]</sup>。从实验中每株根系重量的测定来看,pH4.52 和 4.9 的处理比其他处理平均低 40% 左右,且须根少。可以初步认为土壤 pH5.0 是烟株遭受  $\text{Al}^{3+}$  毒害的临界值。而 pH 高于 5.33,  $\text{Al}^{3+}$  对烟株生长影响的可能性极小。

### 3.2 pH 对烤烟钾素营养的影响

土壤 pH 低于 5.0 除了活性  $\text{Al}^{3+}$  对烟株生长、发育以及产量的影响以外, $\text{H}^+$  离子浓度过高还会影响  $\text{K}^+$  的吸收。这是因为在低 pH 条件下,土壤胶体的  $\text{K}^+$  饱和度由于土壤实际的 CEC 降低,以及  $\text{H}_3\text{O}^+$  和  $\text{Al}^{3+}$  与  $\text{K}^+$  竞争而会降低。而且随着  $\text{K}^+$  饱和度的降低, $\text{K}^+$  的有效度亦降低(尤其是施 K 量低的南方烟区,在烟株生长的后期会更突出),从而影响烟株对  $\text{K}^+$  的吸收。

另一方面,土壤溶液中  $\text{H}^+$  浓度过高, $\text{H}^+$  与  $\text{K}^+$  竞争原生质膜上的结合点,或使根原生质膜上的  $\text{H}^+$  流出泵的效率下降,因不能有效地排出  $\text{H}^+$  而抑制  $\text{K}^+$  的吸收<sup>[6]</sup>。研究表明:在加钙的介质中根对  $\text{K}^+$  的吸收量以 pH5 左右最大;不加钙的介质中以 pH6 左右吸收量最大。此外,pH 过低还因缺  $\text{Ca}^{2+}$  使原生质膜的透性增加而影响  $\text{K}^+$  的净吸收。如  $\text{pH} < 4$  则发生  $\text{K}^+$  的净损失(外流)<sup>[6]</sup>。本试验是在普施过磷酸钙的条件下(相当于加钙)进行的,得出平均 pH5.33 时钾的吸收量最高(施钾效果亦最好),其次是 pH6.08。这与根吸收  $\text{K}^+$  的生理特性相吻合。说明在该 pH 范围内既不会产生较高浓度的活性  $\text{Al}^{3+}$  危害烟株生长,以致影响对  $\text{K}^+$  的吸收;也不具备足够大的  $\text{H}^+$  浓度来与  $\text{K}^+$  竞争;再加上有适量的  $\text{Ca}^{2+}$  浓度以维持原生质膜的透性,故促进了  $\text{K}^+$  的吸收。土壤 pH 高于 6.1 直至碱性,烟株对  $\text{K}^+$  的吸收呈下降趋势。这与高 pH 条件下  $\text{Ca}^{2+}$  或  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  对  $\text{K}^+$  吸收的竞争作用有关<sup>[1,6]</sup>。由于本文各处理的 pH 值是收烟后的土壤测定的与栽烟前相比要低 0.1~0.2pH 单位(施肥的影响),故以上结果与曹志洪关于偏酸性的植烟土壤上的烟叶含钾量高<sup>[1]</sup>;茆寅生水培条件下 pH5.5 的中上部烟叶含钾量最高<sup>[2]</sup>,以及加拿大在高原砂土上加石灰调节 pH,使之保持在 5.5~6.0 之间,其产出的烤烟质量最优,产量最高<sup>[7]</sup>等结果基本上是一致的。

### 3.3 施 pH 调节剂对烤烟钾素营养的影响问题

施石灰使土壤 pH 升至中性及其以上应考虑引入的  $\text{Ca}^{2+}$  对  $\text{K}^+$  吸收的负面影响。而施  $\text{FeSO}_4$  和 S 降低土壤 pH 的过程实际上引入了  $\text{H}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (见 2.1),由于  $\text{SO}_4^{2-}$  对  $\text{K}^+$  的吸收并不起促进作用,相反有报道认为某些情况下,高浓度的  $\text{SO}_4^{2-}$  还可以

抑制  $K^+$  的吸收<sup>[6]</sup>; 而水化度不同的氧化铁成了土壤固相的一部分, 它对植物的钾素营养没有直接影响。由此可以认为, 下调土壤 pH 对烤烟钾营养的影响主要是由于土壤介质中  $H^+$  浓度的改变所为。此外, 施 pH 调节剂后在土壤中产生的钙离子、碳酸钙、氧化铁以及高浓度的氢离子等可能影响土壤中磷及某些微量元素的有效性, 进而影响烟株生长及其对钾的吸收。由于这种影响(包括铝离子毒害及相关联的缺钙等)又都随 pH 的变化而消长。故 pH 调节剂对烤烟钾素营养的影响终归是通过 pH 变化起作用的。至于土壤中  $SO_4^{2-}$  浓度过高可能引起烟株对硫的过量吸收, 进而影响卷烟的香气问题, 有待进一步研究。

### 3.4 加有机质对烤烟钾素营养的影响问题

有机质不仅有调节土质的作用, 还可改变肥料的利用率来影响烤烟的钾素营养。鉴于本试验所用土壤的 pH、质地、有机质含量以及供钾能力等的差异都较大, 因此, 讨论时未扣除有机质的影响。如果去掉 1 号土, 即使扣除风化煤的影响, 其结果(15 个施钾处理)也能支持文中的结论。至于质地、有机质以及土壤固钾能力等对烤烟钾营养的影响问题将另文讨论。

## 4 结论

土壤平均 pH5.33 和 6.08 的烟叶产量较高, 超出此 pH 范围, 烟叶产量有随 pH 升高而下降的趋势。pH 低于 5.0 产量急剧下降, 这和活性  $Al^{3+}$  对烟株生长的危害有关。初步提出 pH5.0 是  $Al^{3+}$  毒害的临界值。pH 低于 5.0 的植烟土壤才有必要施石灰。

酸性土上调 pH、中性和微酸性土下调 pH 以及酸性土本身(包括加有机质)等方面的结果表明, 就土壤 pH 而论, 平均 5.33 是烤烟钾素营养的适宜环境。

在满足氮、磷、钾的情况下, 烤烟种植在 pH5.33~6.1 的酸性土壤中可望获得产量较高, 含钾量达 3.3% 左右的烟叶。符合优质适产的植烟方针。

**致谢:** 本校土化 92 级、93 级张言安、杨小平、严正炼、蔡蓓等同学参加盆栽试验, 江锡瑜、肖吉中教授给予帮助。

## 参 考 文 献

1. 曹志洪主编. 优质烤烟生产的钾素与微素. 北京: 中国农业出版社, 1995
2. 茆寅生. 酸碱度和供钾量对烟草生长和叶内成分的影响. 中国烟草, 1995, 4: 23~27
3. 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农化常规分析法. 北京: 科学出版社, 1983
4. 陈迅主编. 贵州烤烟土壤条件与优质烤烟的施肥. 贵州: 贵州科技出版社, 1995, 98~109
5. 徐拔和. 土壤化学选论. 北京: 科学出版社. 1986. 23~25
6. 曹一平等译. [德] H. 马斯纳著. 高等植物的矿质营养. 北京: 北京农业大学出版社, 1991, 17~25
7. 左天觉, 朱尊权译. 烤烟生产、生理和生物化学. 上海: 上海远东出版社, 1993

## RELATION BETWEEN SOIL pH AND POTASSIUM NUTRITION OF FLUE-CURED TOBACCO

Li Cheng-hou Liu Yuan-sheng He Teng-bing Yang Hong-min  
Huang Li-dong Teng Ying

(Agricultural College of Guizhou University, Guiyang 550025)

### Summary

Pot experiment for studying the status of K nutrition of tobacco plants was carried out in 1995 and 1996 by liming or adding  $\text{FeSO}_4$  or sulfur powder to regulate the pH value of soils. The main results obtained are as follows:

The average yield of tobacco leaves is higher in the soils with pH 5.33 or 6.1, but that is lower in the soils with pH above 6.1 or below 5.0.

The absorbing capacity of potassium by tobacco plants and the efficiency of potassium fertilizer are highest in the soils with average pH 5.33, below or above this pH value the two indexes are lower.

According to the study it is shown that the desirable yield of tobacco leaves with K content about 3.3% can be expected if tobacco is planted in soils with pH 5.33~6.1 range and N, P and K fertilizers is fully supplied. It is pointed out tentatively that soil pH 5.0 is a critical value that tobacco plants were injured by active Al.

**Key words** Flue-cured tobacco, K nutrition, Soil pH, Liming, Sulfur powder,  $\text{FeSO}_4$