

云南曲靖烟区优质烤烟的适宜土壤有效硫和烟叶硫含量研究

王小东¹, 许自成^{2*}, 解燕³, 刘领¹, 樊献玲⁴, 张欣惠⁴

(1 河南科技大学农学院, 河南洛阳 471023; 2 河南农业大学烟草学院, 河南郑州 450002;
3 云南省烟草公司曲靖市公司, 云南曲靖 655000; 4 曲靖市烟草公司沾益县分公司, 云南曲靖 655331)

摘要:【目的】为了探明土壤-烤烟系统硫素对烟草燃烧性指标元素及其有关指数的影响, 找出适宜的烟叶硫含量区间, 以便指导调控烤烟硫素营养。【方法】选取了 2009—2011 年间曲靖烟区 9 个植烟县区的 3507 份土壤样品和对应的烟叶样品, 分析了土壤有效硫含量和烟叶硫、钾和氯含量, 研究了土壤有效硫含量与烟叶硫含量以及烟叶硫含量与其钾、氯含量、钾氯比值和有机钾指数的关系。【结果】1) 曲靖烟区植烟土壤有效硫含量丰缺不均, 土壤有效硫含量和烟叶氯含量变异较大; 2) 随着土壤有效硫含量的增加, 烟叶硫含量递增, 且两者之间呈极显著正相关 ($P < 0.01$); 3) 烟叶硫含量对烟叶钾含量及有机钾指数有重要影响, 随着烟叶硫含量的增加, 烟叶钾含量和有机钾指数均呈现先增后减的变化趋势; 4) 烟叶硫含量对烟叶氯含量亦有重要影响, 随着烟叶硫含量的增加, 烟叶氯含量呈现先降低后增加的变化趋势。【结论】对曲靖烟区而言, 要保持较高的烟叶钾含量和较适宜的氯含量, 适宜的土壤有效硫和烟叶硫含量范围分别为 3.84~48.53 mg/kg 和 0.3%~0.6%。

关键词: 土壤有效硫含量; 烟叶硫含量; 钾含量; 氯含量; 有机钾指数

Suitable soil available sulfur and tobacco leaf sulfur contents for high quality tobacco production in Qujing area, Yunnan Province

WANG Xiao-dong¹, XU Zi-cheng^{2*}, XIE Yan³, LIU Ling¹, FAN Xian-ling⁴, ZHANG Xin-hui⁴

(1 College of Agronomy, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China; 2 College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 3 Qujing Tobacco Corporation of Tobacco Corporation Limited of Yunnan Province, Qujing, Yunnan 655000, China; 4 Zhanyi County Branch of Tobacco Company in Qujing City in Yunnan Province, Qujing, Yunnan 655331, China)

Abstract: 【Objectives】 This paper discussed the effects of sulfur content in soil and flue-cured tobacco on the combustion and related indexes, trying to find out the appropriate sulfur content range for production of best flavor in flue-cured tobacco in Qujing area, Yunnan Province. 【Methods】 From 2009 to 2011, 3507 soil and tobacco samples were collected in 9 tobacco planting counties of Qujing area, Yunnan Province. The available sulfur content in soil and the contents of sulfur, potassium and chlorine in tobacco leaves were analyzed. The relationship between the soil sulfur content and the contents of sulfur, potassium, chlorine in leaves, and the relationship between soil available sulfur content with the potassium and chlorine ratio and organic potassium index in tobacco leaves were calculated. 【Results】 1) The soil available sulfur contents in Qujing tobacco-growing areas were not uniform. Both the soil available sulfur contents and the tobacco leaf chlorine contents were significantly different among surveyed sites. 2) With the increasing of soil available sulfur content, the sulfur content of tobacco leaves increased, showing an extremely significant and positive correlation ($P < 0.01$). 3) Leaf potassium content and organic potassium index were significantly affected by leaf sulfur content. With the increase of sulfur content in tobacco leaves, the potassium content and organic potassium index of tobacco leaf

收稿日期: 2017-06-29 接受日期: 2017-09-29

基金项目: 中国烟草总公司重点科技攻关项目 (110200801036); 河南科技大学学科提升振兴 A 计划项目 (13660002) 资助。

联系方式: 王小东 E-mail: wxd@haust.edu.cn; * 通信作者 许自成 E-mail: zichengxu@126.com

increased first and then decreased. 4) The leaf sulfur contents affected the leaf chlorine contents. With the increase of sulfur content in tobacco leaves, the chlorine content of tobacco leaves decreased first and then increased.

【 Conclusions 】 To maintain a high content of potassium content and appropriate chlorine content in tobacco leaves, the optimal range of sulfur content in soil is 3.84–48.53 mg/kg, and the appropriate chlorine content in tobacco leaves is 0.3%–0.6% in Qujing tobacco-growing areas.

Key words: soil available sulfur content; sulfur content in tobacco leaf; potassium content; chlorine content; organic potassium index

烟草是一种以叶片为收获对象的嗜好性经济作物, 对品质要求较为严格, 其中钾是烟草重要的品质元素, 对其燃吸品质有重要影响, 烟叶的含钾量越高其燃烧性越好, 而改善其燃烧性又是减害降焦的重要技术手段, 因此提高烟叶含钾量对烟草生产有重要意义。目前我国烤烟含钾量整体不高, 烤烟生产中, 追施硫酸钾为最直接有效的提高烟叶含钾量的措施。然而, 长期追施钾肥 (K_2SO_4) 导致土壤中硫含量积累, 还提高了烟叶中硫的含量^[1-5]。烟叶中的硫和氯是重要性仅次于钾的两个品质元素, 也都是烟草生长发育所必需的营养元素^[7-8]。理想的烟叶燃烧性需要较高的烟叶含钾量, 并保持适宜的氯含量水平。影响烟草对硫、钾、氯吸收和积累的因素很多^[9-11], 其中硫素的供应水平对烟草叶片硫、钾、氯积累以及有机钾含量产生重要影响^[12]。 SO_4^{2-} 和 Cl^- 的吸收又存在一定的竞争抑制^[11], 需要在硫、钾、氯供应和吸收积累之间找到一个硫素平衡阈值。目前, 有关硫与烟草品质的研究较少, 硫与烟叶中钾、氯的关系也缺乏系统研究^[13-15]。曲靖土壤硫素淋溶较为严重, 土壤有效硫含量丰缺不均^[6]。本文以该地区土壤和烟叶为对象, 研究硫素对烟草钾、氯吸收和有机钾含量的影响, 以期对烤烟施肥和烟叶硫、钾、氯素调控提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集

于 2009—2011 年在曲靖市所辖的 9 个植烟县区采用 GPS 定位技术, 在选定区域确定取样地点, 采集土壤样品 3507 个, 并于当年在对应植烟地块上采集烤后烟叶样品 (等级为 C3F) 1.5 kg (共 3507 份)。

曲靖烟区植烟土壤广泛分布于山地、丘陵、平坝、河槽等地形地貌, 且土壤类型丰富, 以红壤、黄壤、紫色土、新积土、水稻土、石灰岩土六种土壤类型为主, 集中分布于海拔 1800~2100 m, 处于较适宜烤烟生长的海拔高度。其中红壤所占比例

较大, 为 48.9%; 紫色土、水稻土、新积土、黄壤和石灰岩土分别占 16.7%、15.9%、12.1%、5.8% 和 0.5%。

取样点确定与取样方法: 以植烟村为基本取样单元, 在植烟村内选取有代表性的某一农户的典型地块 (地形、成土母质/母岩、土壤类型、烟株常年长势等), 地块要求肥力中等、面积大于 1 亩 (666.7 m²)、生产水平和烟叶质量偏上。在典型地块内, 采用梅花形 5 点取样法, 每个分样点去掉 2—4 cm 的表土后, 垂直取耕层 (约 20 cm 深) 2.0 kg, 然后将 5 个分样土壤充分混合, 四分法留取约 2.0 kg 土样, 放在布袋里, 附上土样标签, 并用铅笔填写相关信息。烟叶取样为对应植烟地块, 取样等级为 C3F (中橘三)。

1.2 测定指标和方法

土样经风干、去杂、研磨、过筛后制成待测样。烟叶样烘干粉碎后过孔径 0.3 mm 筛后制成待测样。土壤有效硫 (SAS) 含量和烟叶硫含量采用硫酸钡比浊法测定^[16-17], 烟叶钾含量采用火焰光度法测定^[18], 烟叶水溶性氯含量采用硝酸银电位滴定法测定^[19]。

烟叶有机钾指数 (%) 的计算公式为:

$$\text{有机钾指数 (\%)} = 1.20 (K^+ \% - 1.10 Cl^- \% - 0.81 SO_4^{2-} \%)\text{[20]},$$

式中, K^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 均指烟叶中的 K^+ 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} , 具体测定方法同上。

土壤有效硫含量测定工作由中国农科院青州烟草研究所和云南省农科院农业环境资源所共同协助完成, 烟叶硫含量测定由广东中烟工业有限公司技术中心完成, 烟叶钾含量和氯含量由云南中烟工业有限公司技术中心负责完成。

1.3 数据分析与处理

采用 IBM Statistics SPSS 17.0 和 Microsoft Excel 2013 统计软件对试验数据进行描述统计分析、相关和回归分析等, 其中对土壤有效硫含量进行了以 10 为底的对数 (即 $\lg SAS$) 转换, 对其进行归一化处理。

2 结果与分析

2.1 土壤有效硫含量和烟草硫、钾、氯含量的描述统计分析

由表 1 可知, 曲靖烟区土壤有效硫含量和烟叶氯含量差异较大。其中土壤有效硫含量平均值为 44.03 mg/kg, 变异幅度最大, 变异系数达 157.4%; 其次为烟叶氯含量, 其变异系数也达 118.6%; 烟叶硫含量和钾含量水平相对稳定, 其变异系数分别为 44.0% 和 23.2%; 烟叶有机钾指数平均为 1.4%, 其变异系数为 36.8%。

在曲靖烟区所取的 3507 份土壤样品和烟叶样品中, 按照刘崇群等^[21]对南方土壤有效硫含量的划分标

准, 土壤有效硫含量 (硫) ≤ 16.0 mg/kg 的样本数为 567 个 (占 16.17%), 16~30 mg/kg 之间的样本数为 1593 个 (占 45.42%), > 30 mg/kg 的样本数为 1347 个 (占 38.41%); 烟叶硫含量 $\leq 0.2\%$ 的样本数为 939 个 (占 26.78%), 0.2%~0.6% 之间的样本数为 2473 个 (占 70.52%), $> 0.6\%$ 的样本数为 95 个 (占 2.71%); 烟叶钾含量 $\leq 1.5\%$ 的样本数为 1278 个 (占 36.44%), 大于 1.5% 的样本数为 2229 个 (占 63.56%); 烟叶氯含量 $\leq 0.2\%$ 的样本数为 2146 个 (占 61.19%), 0.2%~0.8% 之间的样本数为 1107 个 (占 31.57%), $> 0.8\%$ 的样本数为 254 个 (占 7.24%); 而烟叶有机钾指数 $> 1.5\%$ 的样本数为 1470 个 (占 41.92%), 而 $\leq 1.5\%$ 的样本数为 2037 个 (占 58.08%)。

表 1 曲靖地区土壤有效硫含量和烟叶硫、钾和氯含量状况

Table 1 Soil available sulfur content and sulfur, potassium and chlorine contents in tobacco leaves

指标 Index	样本数 Sample No.	均值 \pm 标准差 Mean \pm SD	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness	变幅 Range	变异系数 (%) CV
土壤有效硫含量 Soil available S content (mg/kg)	3507	44.03 \pm 69.31	47.38	6.28	1.56~734.83	157.42
烟叶硫含量 Tobacco leaf S content (%)	3507	0.28 \pm 0.12	3.33	1.56	0.07~0.98	44.01
烟叶钾含量 Tobacco leaf K content (%)	3507	1.65 \pm 0.38	0.64	0.51	0.35~3.60	23.16
烟叶氯含量 Tobacco leaf Cl content (%)	3507	0.27 \pm 0.32	11.65	2.80	0.02~3.47	118.61
烟叶有机钾指数 Tobacco leaf organic K index (%)	3416	1.40 \pm 0.52	0.70	0.19	0.008~4.00	36.81

2.2 土壤有效硫对烟草硫吸收的影响

由图 1 相关分析可知, 随着土壤有效硫含量的增加, 烟草叶片中硫含量也逐渐增加, 两者之间呈极显著正相关 (相关系数 r 分别为 0.967 (SAS) 和 0.857 (lgSAS), 且 $P < 0.01$), 其中土壤有效硫含量的对数值和烟叶硫含量的关系可以用回归方程 $\hat{y}_1 =$

$0.0274x^3 - 0.0557x^2 + 0.0317x + 0.257$ ($R^2 = 0.069$, \hat{y}_1 为烟叶硫含量, x 为土壤有效硫含量的 lg 值) 拟合。土壤有效硫含量、土壤有效硫含量对数值与烟叶硫含量的相关系数分别为 0.967 和 0.857, 均达到极显著水平。

2.3 烟叶硫含量对烟叶钾吸收的影响

根据所采集烟草叶片硫含量的范围, 采用等组距法对烟叶硫含量进行了区间划分, 组距为 0.1%, 对应区间内烟叶样品钾含量的平均值作为该区间的钾含量水平, 共划分为 10 个硫含量区间, 同时也对应 10 个钾含量水平, 烟叶硫含量与其钾含量的关系见图 2。随着烟叶硫含量的增加, 叶片钾含量先逐渐增加到最大值 (1.78%), 而后逐渐下降, 两者之间的关系可用方程式 $\hat{y}_2 = -0.0137x^2 + 0.1729x + 1.2369$ 描述 (方程式 $R^2 = 0.9377$, 其中 \hat{y}_2 为烟叶钾含量, x 为烟叶硫含量)。曲靖烟区烤烟平均钾含量为 1.65%, 按照不低于其平均钾含量的标准, 由方程曲线可以得出曲靖烟区烟叶硫含量在 0.3%~0.9% 范围时, 烟叶钾含量处于较高水平。

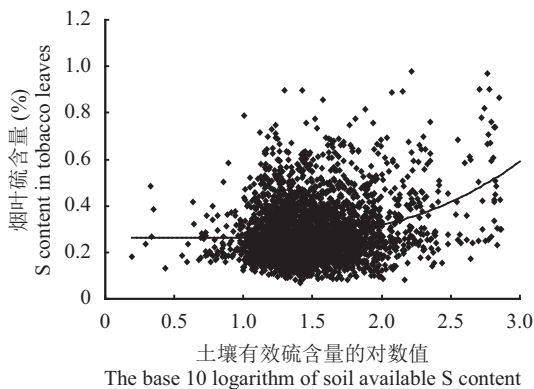


图 1 土壤有效硫含量的对数值 (lgSAS) 与烟草叶片硫含量的关系

Fig. 1 Relationship between logarithmic value of soil available S content and S content in tobacco leaves

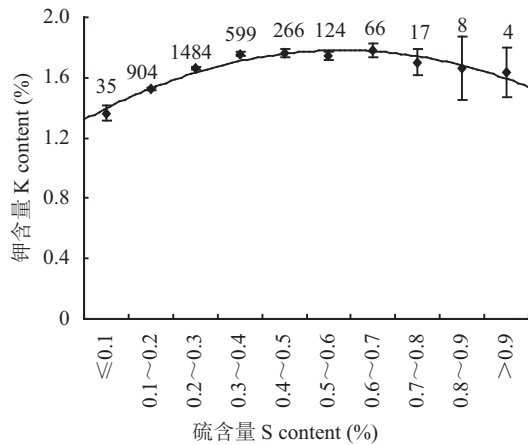


图2 烟叶硫含量与烟叶钾含量的关系

Fig. 2 Relationship between sulfur and potassium contents in tobacco leaves

2.4 烟叶硫含量对烟叶氯吸收的影响

采用 2.3 所述的方法, 也对其相应区间烟叶的氯含量进行平均运算, 对应区间内烟叶样品氯含量的平均值作为该区间的氯含量水平, 共划分为 10 个氯含量水平。由烟叶硫含量与其氯含量的关系 (图 3) 可知, 随着烟叶硫含量的增加, 烟草叶片中氯含量逐渐下降, 烟叶硫含量与其氯含量呈极显著负相关 (相关系数 $r = -0.808$, $P < 0.01$), 其拟合方程式为 $\hat{y}_3 = 0.0073x^2 - 0.122x + 0.6374$ (\hat{y}_3 为烟叶氯含量, x 为烟叶硫含量, $R^2=0.8305$)。优质烟叶对其氯含量也有一定要求, 一般认为优质烤烟氯含量在 0.2%~0.8% 之间是适宜的^[22], 按此要求由方程曲线可得出烟叶硫含量范围在 $\leq 0.7\%$ 是合适的。

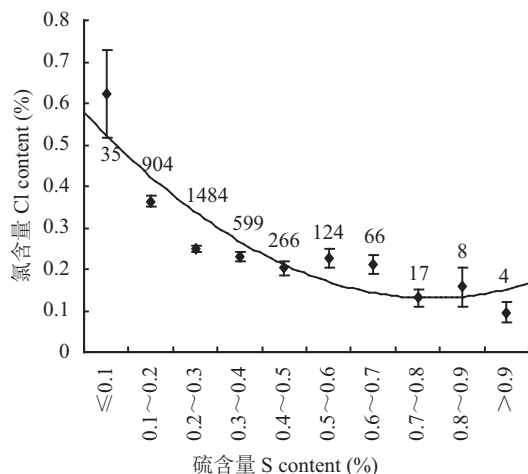


图3 烟叶硫含量与烟叶氯含量的关系

Fig. 3 Relationship between sulfur content and water-soluble chlorine content in tobacco leaves

2.5 烟叶硫含量对烟叶钾氯比的影响

采用 2.3 所述的方法, 先求出其相应区间烟叶平均钾含量和平均氯含量, 然后再计算出 9 个对应区间内烟叶样品钾氯比值, 此 9 个比值分别代表了 9 个硫含量区间内烟叶的钾氯比值整体状况。由图 4 可知, 随着烟叶硫含量的增加, 烟草叶片的钾氯比逐渐增加, 烟叶硫含量与其钾氯比呈极显著正相关 (相关系数 $r = 0.908$, $P < 0.01$), 其方程为 $\hat{y}_4 = 0.0878x^3 - 1.6508x^2 + 9.8861x - 2.4591$ (\hat{y}_4 为烟叶钾氯比, x 为烟叶硫含量, $R^2=0.975$)。一般认为优质烟叶的钾氯比 ≥ 4.0 , 按此要求由拟合方程曲线可得出烟叶硫含量范围应在 $\geq 0.1\%$ 是合适的。

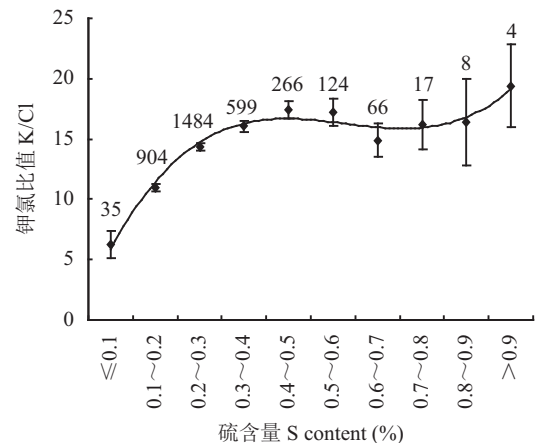


图4 烟叶硫含量与烟叶钾氯比的关系

Fig. 4 Relationship between leaf sulfur content and the ratio of potassium to chloride in tobacco leaf

2.6 烟叶硫含量对烟叶有机钾指数的影响

烟叶的有机钾指数与其燃烧性密切相关, 较高的有机钾指数有利于烟叶燃烧性的提高。采用 2.3 所述的方法, 也对其相应区间烟叶的有机钾指数进行平均运算, 对应区间内烟叶样品有机钾指数的平均值作为该区间的有机钾含量水平, 共划分为 10 个有机钾含量水平。由烟叶硫含量与其有机钾指数的关系 (图 5) 可知, 随着烟叶硫含量的增加, 其有机钾指数表现为先升后降的抛物线的变化趋势 (相关系数 $r = -0.635$, $P < 0.05$), 且烟叶硫含量与其有机钾指数之间的拟合方程为 $\hat{y}_5 = 0.0028x^3 - 0.0655x^2 + 0.3857x + 0.7891$ (\hat{y}_5 为烟叶有机钾指数, x 为烟叶硫含量, $R^2 = 0.9545$)。一般认为烟叶的有机钾指数越高越好, 要保持相对较高且稳定的有机钾指数, 其烟叶硫含量存在一个适宜的区间范围, 综合考虑曲靖烤烟有机钾指数的整体分布, 张俊^[23]研究认为烟叶

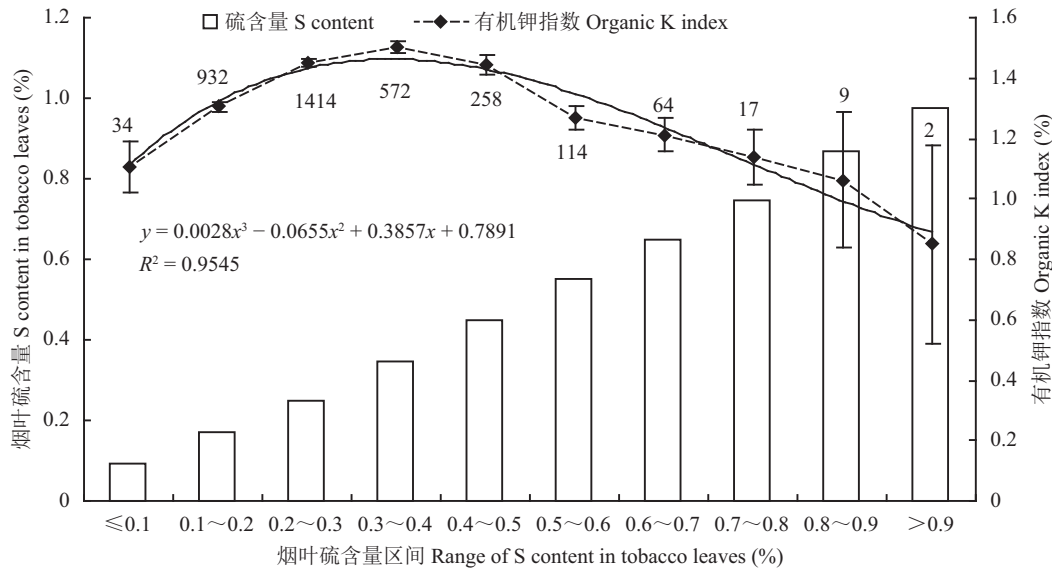


图 5 烟叶硫含量与烟叶有机钾指数的关系

Fig. 5 Relationship between S content in tobacco leaves and organic K index of tobacco leaves

有机钾指数 $\geq 1.0\%$ 其燃烧性较好, 由拟合曲线可知曲靖烟叶硫含量在 $0.2\% \sim 0.6\%$ 之间是适宜的, 其有机钾指数相对较高。

3 讨论

烟草是对品质要求较高的经济作物。曲靖烟区属西南烟区, 由于生产上长期追施硫酸钾和大气沉降硫(酸雨)输入的共同作用, 导致土壤有效硫含量不同程度地提高^[2-3], 而烟株体内硫素吸收和积累主要来自于土壤和施肥, 在低硫土壤上植物也从大气中吸收少量 SO_2 和 H_2S , 从而多种途径影响了烟叶硫含量水平。土壤有效硫含量也有其临界值^[21,24], 土壤有效硫含量水平对产出的烟叶硫含量和氯含量有重要影响^[6,10-11], 随着土壤有效硫含量的增加导致烟叶氯含量降低, 可能与 SO_4^{2-} 和 Cl^- 之间存在离子竞争抑制有关^[11]。烟叶硫含量对烟叶的燃烧性也产生不同程度的影响^[7-8,13], 而烟叶的钾、氯含量及其比值(钾氯比值)和有机钾指数又是衡量烟叶燃烧性的重要指标, 施硫可促进烟株对钾的吸收, 提高烟叶含钾量^[25], 而对于土壤有效硫对烟株钾吸收的影响机制尚缺乏系统研究。

曲靖烟区土壤有效硫含量整体适宜, 平均为 44.03 mg/kg , 变异幅度较大(变异系数为 157.42%), 部分土壤样品有效硫含量偏低。土壤有效硫含量与烟叶硫含量呈极显著正相关 ($r = 0.967^{**}$, 且 $P < 0.01$), 烟叶硫含量与其钾含量呈极显著正相关 ($r = 0.482^{**}$, 且 $P < 0.01$), 而与其氯含量呈极显著负相关

($r = -0.808^{**}$, 且 $P < 0.01$), 这与前人研究结果一致^[7,10-12,14]。烟叶硫含量与其有机钾指数呈显著负相关 ($r = -0.635^*$, 且 $P < 0.05$), 且呈现抛物线趋势, 说明烟叶要保持一定的燃烧性存在一个适宜的硫含量区间。

初晓鹏等^[8]认为福建烟叶硫含量在 $0.4\% \sim 0.7\%$ 是适宜的, 烟叶质量较好。廖堃等^[26]认为江西烟叶硫含量在 $0.5\% \sim 0.7\%$ 之间时其中性香味物质含量最高。综合考虑, 曲靖烟叶硫含量在 $0.3\% \sim 0.6\%$ 是适宜的, 对其燃烧性最为有利, 也与 Tso 等^[27]的研究结果(烟叶硫含量为 $0.2\% \sim 0.7\%$) 基本一致, 前人就烟叶硫含量的适宜区间也都限于已有共识的烤烟燃烧品质指标的适宜范围来进行界定, 本文基于曲靖烤烟硫含量与影响燃烧性的几个品质元素进行分析。而对于土壤-烤烟系统硫素输入与其钾、氯吸收积累的机制尚需进一步研究^[28-30]。

在烟草生产上, 施肥调控是保持烟叶硫、钾、氯含量及有机钾含量在适宜水平的最直接有效的手段之一, 要保持烟叶硫含量在 $0.3\% \sim 0.6\%$ 之间, 则土壤有效硫应该在 $3.84 \sim 48.53 \text{ mg/kg}$ 之间, 依此判断目前曲靖有 78.93% 的烟田在这一范围, 有 0.2% 烟田低于这一范围, 这些烟田可以适当增施硫酸钾或其他含硫肥料; 有 20.87% 烟田已高于这一范围, 这些烟田可以减少硫酸钾或者含硫肥料施用量。土壤有效硫含量的适宜区间是相对的, 受地域和耕作制度等因素影响, 林葆等研究认为土壤有效硫含量大于 40 mg/kg 甚至在 94 mg/kg 时, 施用硫肥

对作物仍具有增产作用^[24]。综合看来, 本文针对曲靖烟区所界定的土壤有效硫含量适宜范围是合适的。

4 结论

曲靖烟区植烟土壤有效硫含量和烟叶氯含量变异较大, 土壤有效硫含量和烟叶硫含量呈极显著正相关; 随着烟叶硫含量的增加, 烟叶钾含量和有机钾指数均呈现先增后减的变化趋势, 而烟叶氯含量呈现先降低后增加的变化趋势。对曲靖烟区而言, 适宜的土壤有效硫含量范围为 3.84~48.53 mg/kg, 对应的适宜烟叶硫含量范围为 0.3%~0.6%。

参 考 文 献:

- [1] 沈浦, 李冬初, 徐明岗, 等. 长期施用含硫化肥对稻田土壤养分含量及剖面分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 95-102.
Shen P, Li D C, Xu M G, *et al.* Effects of long-term application of sulphur containing chemical fertilizers on nutrients contents in paddy soils and their distributions in profiles[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1): 95-102.
- [2] 崔键, 周静, 杨浩. 农田生态系统大气氮、硫湿沉降通量的观测研究[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2243-2248.
Cui J, Zhou J, Yang H. Observations of the input for atmospheric wet-deposition of nitrogen and sulfur into agro-ecosystem[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(6): 2243-2248.
- [3] 黄界颖, 马友华, 张继泰. 农田生态系统中硫平衡的研究[J]. 土壤通报, 2003, 34(3): 233-237.
Huang J Y, Ma Y H, Zhang J Z. Sulphur balance in agro-ecosystem with special regard to ground-water[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(3): 233-237.
- [4] 许建, 贾凯, 朱君芳, 等. 氮硫互作提高大蒜氮、硫含量及其关键同化酶活性[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 434-443.
Xu J, Jia K, Zhu J F, *et al.* Nitrogen and sulfur interaction increase their assimilation and activities of key enzymes in garlic[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(2): 434-443.
- [5] 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.
Liu Q, Zhang X, Lai H B, *et al.* Investigation into the sulphur nutrition of soil and flue-cured tobacco. II The effect s of sulphur nutrition on sulphur accumulation and metabolism in flue-cured tobacco leaf[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2000, 6(3): 14-17.
- [6] 许自成, 王林, 肖汉乾, 李挥文. 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.
Xu Z C, Wang L, Xiao H Q, Li H W. Distribution characters of sulfur in flue-cured tobacco leaf and available sulfur in soil in Hunan tobacco growing areas[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(11): 2507-2511.
- [7] 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.
Deng X H, Zhou J H, Zhao S Y, *et al.* Regional characteristics of sulfur contents in flue-cured tobacco in Hunan Province and their influence to smoking quality[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(12): 2853-2859.
- [8] 初晓鹏, 张鑫, 杨斌, 等. 福建烟区初烤烟叶硫含量与烟叶质量的关系[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2016, 45(5): 496-500.
Chu X P, Zhang X, Yang B, *et al.* Sulfur content and its relationship with quality of the middle tobacco leaves in Fujian[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition)*, 2016, 45(5): 496-500.
- [9] 周可金, 雷红灵, 肖文娜, 章力干. 供硫水平对花生叶片硫素含量与形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1154-1159.
Zhou K J, Lei H L, Xiao W N, Zhang L G. Effects of sulfur supply on sulfur content and conformation within peanut leaves[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2008, 14(6): 1154-1159.
- [10] 朱英华, 周可金, 肖汉乾, 等. 湖南植烟土壤有效硫及烟叶硫研究初报[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(4): 5-8.
Zhu Y H, Zhou K J, Xiao H Q, *et al.* Preliminary study on available sulfur in tobacco-planting soils and sulfur content in flue-cured tobacco leaves in Hunan province[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2013, 34(4): 5-8.
- [11] 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.
Liu Q, Lai H B, Cao Z H. Effect of sulphate rates supplied on sulphur metabolism and N, P and Cl absorption in tobacco[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(1): 63-68.
- [12] 朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 张国. 硫对烤烟钾营养吸收与积累的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(3): 175-179.
Zhu Y H, Tu N M, Xiao H Q, Zhang G. Effect of S concentration on absorption and accumulation of potassium nutrient in flue-cured tobacco[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(3): 175-179.
- [13] 王国平, 向鹏华, 曾惠宇, 肖艳. 不同供硫水平对烟叶产、质量的影响[J]. 作物研究, 2009, 23(1): 35-37.
Wang G P, Xiang P H, Zeng H Y, Xiao Y. Effect of different sulphur application rates on leaf yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Crop Research*, 2009, 23(1): 35-37.
- [14] 刘勤. 氮形态和硫水平对烤烟氮、硫、钾等营养的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(6): 1171-1174.
Liu Q. Effects of nitrogen forms and sulphur rate on nitrogen, sulphur and potassium nutrition of tobacco[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(6): 1171-1174.
- [15] 孔灵君, 徐坤, 何平, 王磊. 氮硫互作对大葱氮、磷、钾、硫吸收分配特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(1): 172-178.
Kong L J, Xu K, He P, Wang L. Influence of interaction between nitrogen and sulfur on N, P, K and S absorption and distribution of Chinese spring onion[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(1): 172-178.
- [16] 张雪霞, 张晓霞, 陈能场, 等. 高硫高铁土壤全硫提取和测定方法的改进[J]. 生态环境学报, 2013, 22(11): 1841-1845.
Zhang X X, Zhang X X, Chen N C, *et al.* Determination of total sulfur in high-sulfur and high-iron soil samples by spectroscopic barium turbidity method[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(11): 1841-1845.
- [17] 吴名剑, 孙贤军, 雷启福, 等. 硫酸钡溶胶比浊法测定烟草中的硫[J]. 烟草科技, 2005, (1): 24-26, 37.

- Wu M J, Sun X J, Lei Q F, *et al.* Determination of sulfur in tobacco with barium sulphate turbidimetry[J]. *Tobacco Science & Technology*, 2005, (1): 24–26, 37.
- [18] 韩富根, 路鹏翔, 李社潮, 等. 0.5 N 盐酸提取制备烟样待测液火焰光度法测定烟叶中的钾[J]. *烟草科技*, 1997, (6): 28–30.
Han F G, Lu P X, Li S C, *et al.* Determination of K in tobacco leaves by flame photometry with 0.5 N HCl extraction[J]. *Tobacco Science & Technology*, 1997, (6): 28–30.
- [19] 魏剑英, 曲志刚, 贾春晓, 等. 自动电位滴定法测定烟草中的无机氯[J]. *郑州轻工业学院学报(自然科学版)*, 2002, 17(1): 7–9.
Wei J Y, Qu Z G, Jia C X, *et al.* The analysis of inorganic chlorides in tobacco by automatic electric titration method[J]. *Journal of Zhengzhou Institute of Light Industry (Natural Science Edition)*, 2002, 17(1): 7–9.
- [20] 胡有持, 刘立全. 低焦油混合型卷烟的设计[J]. *烟草科技*, 1993, (3): 10–14.
Hu Y C, Liu L Q. Design of low tar blended cigarette[J]. *Tobacco Science & Technology*, 1993, (3): 10–14.
- [21] 刘崇群, 曹淑卿, 陈国安, 吴锡军. 中国南方农业中的硫[J]. *土壤学报*, 1990, 27(4): 398–404.
Liu C Q, Cao S Q, Chen G A, Wu X J. Sulphur in the agriculture of China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1990, 27(4): 398–404.
- [22] 陈江华, 刘建利, 龙怀玉. 中国烟叶矿质营养及主要化学成分含量特征研究[J]. *中国烟草学报*, 2004, 10(10): 20–26.
Chen J H, Liu J L, Long H Y. The distribution characteristics of nutrition elements and main chemical composition in China's tobacco leaves[J]. *Acta Tabacaria Sinica*, 2004, 10(10): 20–26.
- [23] 张俊. 国内外不同产地烟叶硫素和有机钾含量水平燃烧性的关系[A]. 上海市烟草学会. 2007 年学术年会论文集[C]. 2007, 179–187.
Zhang J. Relationship between sulfur and organic potassium levels in different tobacco leaves at home and abroad [A]. *Shanghai Tobacco Society. Annual Academic Meeting in 2007 [C]*. 2007, 179–187.
- [24] 林葆, 李书田, 周卫. 土壤有效硫评价方法和临界指标的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(4): 436–445.
- Lin B, Li S T, Zhou W. Study on test methods for soil available S and critical levels of S deficiency[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2000, 6(4): 436–445.
- [25] 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 fertilizer content on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(2): 171–174.
- [26] 廖堃, 赖荣洪, 曾兵. 烟叶中性香味成分含量与硫的关系[A]. 中国烟草学会. 2009 年学术年会论文集[C]. 2009.
Liao K, Lai R H, Zeng B. The relationship between the content of neutral aroma components and sulfur in tobacco leaves [A]. *China Tobacco Society. Symposium on annual academic meeting in 2009 [C]*. 2009.
- [27] Tso T C. Production, physiology, and biochemistry of tobacco plant[M]. USA: III Us-Inc. 1990. 341–342.
- [28] 张继光, 梁洪波, 申国明, 等. 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[J]. *中国烟草科学*, 2013, 34(6): 77–82.
Zhang J G, Liang H B, Shen G M, *et al.* Effects of successive fertilization of potassium sulfate on change of sulfur content in soil and tobacco plant[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2013, 34(6): 77–82.
- [29] 龙怀玉, 张认连, 刘建利, 等. 中国烤烟中部叶矿质营养元素浓度状况[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(3): 450–457.
Long H Y, Zhang R L, Liu J L, *et al.* The status of mineral nutrition concentration in middle leaves of flue-cured tobacco from China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(3): 450–457.
- [30] 李明德, 肖汉乾, 汤海涛, 等. 湖南烟区土壤含氯状况及烤烟施氯效应[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(3): 44–50.
Li M D, Xiao H Q, Tang H T, *et al.* Status of chlorine content in tobacco-planting soils in Hunan province and tobacco responses on chlorine application[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(3): 44–50.