

## 滇东低纬度高海拔区土壤化学性状对烟叶中硫、氯离子的影响<sup>①</sup>

王程栋<sup>1</sup>, 王树声<sup>1\*</sup>, 刘新民<sup>1</sup>, 侯小东<sup>1</sup>, 杜咏梅<sup>1</sup>, 顾毓敏<sup>2</sup>, 程 森<sup>2</sup>, 解 燕<sup>3</sup>

(1 中国农业科学院烟草研究所, 农业部烟草生物学与加工重点实验室, 山东青岛 266101; 2 上海烟草(集团)公司, 上海 200082;

3 云南省烟草公司曲靖市公司, 云南曲靖 655000)

**摘 要:** 本文分析测定了低纬度高海拔的云南省曲靖市烟田土壤与烟叶的相关化学性状, 通过分类树模型统计分析了烤烟中部叶片中硫、氯离子含量与土壤养分之间的关系。分析结果显示: (1) 曲靖地区烟叶中硫的平均含量为 0.26 mg/kg, 含量范围在 0.07 ~ 0.97 mg/kg, 处于较适宜水平, 但变异较大。有效硫、有效钙、海拔、速效磷、pH、有机质和速效钾均直接或间接影响烟叶中硫素含量, 其中最主要因素是土壤有效硫含量。土壤有效硫含量 $\leq 35.53$  mg/kg 时, 烟叶硫含量主要受土壤速效磷影响; 土壤有效硫含量介于 35.53 ~ 71.83 mg/kg 时, 土壤有效镁则成为影响烟叶硫含量的主要因素; 土壤有效硫含量 $\geq 71.83$  mg/kg 时, 烟叶硫含量受土壤 pH 影响较大。(2) 曲靖地区烟叶中氯离子平均含量为 2.49g/kg, 含量范围在 0.20 ~ 34.7g/kg, 处于较适宜水平, 变异较大。土壤水溶性氯是影响烟叶氯离子含量的最主要因素, 其含量分割点为 4.97、28.48 和 51.93 mg/kg。除土壤水溶性氯外, 土壤有效镁、速效磷和速效钙也在不同程度上影响烟叶氯含量。

**关键词:** 烟叶; 硫; 氯离子; 土壤化学性状; 低纬度高海拔; 滇东

**中图分类号:** S572

气候和土壤条件是影响烟草生长发育和烟叶质量的重要生态因素, 对烟草的生物学产量和品质有决定性影响<sup>[1-4]</sup>。烟草中的氯离子、硫含量随品种类型和栽培条件不同而变化, 且两者在烟草中均是阻燃因子, 影响烟草的燃烧性<sup>[1]</sup>。近年来随着硫酸钾和氯化肥的大量施用和烤烟对养分元素的选择性吸收, 过量供氯、硫对烤烟产量和质量的影响引起了人们的重视。本试验以云南省曲靖市为研究区域, 重点研究分析影响烟叶硫素、氯离子含量的主要因素, 旨在为该地区采取有效措施生产出更加优质的烟叶提供数值支持和理论依据。

### 1 材料和方法

#### 1.1 取样

2008 年从曲靖市的 9 个县市, 以每个植烟村为单元, 按地形地貌、土壤类别、海拔高度确定取样地块, GPS 确定经纬度和海拔, 在每个地块采用“梅花形”或“蛇形”方式随机多点取样 (5~10 个点), 取样深度 0~20 cm, 混合后采用四分法收集 2 kg 的土样, 共取土样 2 280 个。在每个取样地块, 对应采集烟株中部叶 (C3F) 作为试验样品, 共取代表性烟叶样品 2 280 份。

#### 1.2 分析测定方法

土壤养分 pH、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、水溶性氯、有效硫按照农业和烟草行业标准 NY/T1121.2-2006、NY/T 1121.6-2006、LY/T1229-1999、NY/T1121.7-2006、LY/T1236-1999、NY/T1121.17-2006、NY/T1121.14-2006 进行测定, 烟叶氯离子和硫分别按 YC/T153-2001 和 YC/T284-2009 进行测定。

#### 1.3 数据处理

数据处理与统计分析采用 Excel 和 SPSS16.0<sup>[5]</sup>进行。

### 2 结果与分析

#### 2.1 土壤指标和烟叶硫含量

土壤化学成分和烟叶硫含量测定和统计描述结果见表 1。研究区烟叶硫平均含量为 0.26 mg/kg, 烟叶氯离子平均含量 2.49 mg/kg, 总体上均处于较适宜水平, 但由于研究区域属于山区, 调查的 2 280 个地块的海拔高度范围为 1 322 ~ 2 380 m, 平均 1 927 m, 且空间跨度大, 导致地形、母质和土壤类型等空间差异较大, 因此土壤属性, 尤其是碱解氮、速效钾、有效钙和有效镁, 存在较大的空间差异。

①基金项目: 中国烟草总公司重大专项和国家烟草专卖局“卷烟品牌导向的烟叶生产体系研究”项目 (110200801036) 资助。

\* 通讯作者 (wangshusheng886@sohu.com)

作者简介: 王程栋 (1982—), 男, 山东威海人, 助理研究员, 主要从事烟草营养研究。E-mail: wangchengdong198@163.com

表 1 土壤属性和烟叶硫、氯离子含量统计描述结果

Table 1 Information of soil properties and S and Cl contents in tobacco leaves

| 样品与项目 |             | 最低值    | 最高值      | 平均值      | 标准差      |
|-------|-------------|--------|----------|----------|----------|
| 烟叶    | 烟叶硫 (mg/kg) | 0.07   | 0.97     | 0.26     | 0.12     |
|       | 烟叶氯 (mg/kg) | 200    | 34700    | 2490     | 3.22     |
| 土壤    | pH          | 4.28   | 8.37     | 6.26     | 0.86     |
|       | 有机质 (g/kg)  | 2.0    | 164.1    | 36.4     | 15.4     |
|       | 碱解氮 (mg/kg) | 17.87  | 373.00   | 128.49   | 45.76    |
|       | 速效磷 (mg/kg) | 0.13   | 97.24    | 27.61    | 19.14    |
|       | 速效钾 (mg/kg) | 23.00  | 2 663.89 | 201.28   | 128.97   |
|       | 有效钙 (mg/kg) | 179.63 | 8 837.60 | 2 563.06 | 1 441.38 |
|       | 有效镁 (mg/kg) | 0.00   | 2 365.30 | 325.10   | 222.37   |
|       | 有效硫 (mg/kg) | 1.97   | 713.16   | 41.38    | 63.11    |

## 2.2 土壤化学成分与烟叶硫素、氯离子相关性分析

通过对土壤化学成分与烟叶硫、氯离子进行相关性分析表明（表 2），烟叶硫含量与烟叶氯离子、土壤有效硫和水溶性氯含量极显著相关，与土壤有效钙含量显著相关；土壤有效硫含量则与海拔、速效磷、

有效钙、有效镁含量极显著相关，而土壤有效钙含量与 pH、有机质含量以及速效钾、有效镁、有效硫含量极显著相关。烟叶氯离子与土壤 pH、速效磷、速效钾、有效钙、有效镁以及水溶性氯极显著相关，与碱解氮含量为显著相关关系。

表 2 土壤化学成分与烟叶硫、氯离子相关性分析

Table 2 Correlations between soil properties, S and Cl<sup>-</sup> in tobacco leaves and altitude

|     | 烟叶硫      | 烟叶氯      | 海拔       | pH       | 有机质     | 碱解氮      | 速效磷     | 速效钾      | 有效钙      | 有效镁      | 有效硫      | 水溶氯      |
|-----|----------|----------|----------|----------|---------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 烟叶硫 | 1.000    | -0.230** | -0.034   | 0.028    | -0.021  | -0.024   | -0.012  | -0.017   | 0.054*   | 0.006    | 0.246**  | -0.145** |
| 烟叶氯 | -0.230** | 1.000    | 0.023    | -0.101** | -0.039  | -0.047*  | 0.164** | -0.088** | -0.128** | -0.174** | 0.033    | 0.221**  |
| 海拔  | -0.034   | 0.023    | 1.000    | -0.294** | 0.078** | 0.067**  | -0.041  | -0.116** | -0.118** | -0.234** | 0.121**  | 0.023    |
| pH  | 0.028    | -0.101** | -0.294** | 1.000    | 0.063** | -0.089** | -0.049* | 0.235**  | 0.683**  | 0.257**  | -0.006   | -0.080** |
| 有机质 | -0.021   | -0.039   | 0.078**  | 0.063**  | 1.000   | 0.711**  | 0.113** | 0.239**  | 0.182**  | -0.047*  | 0.026    | -0.021   |
| 碱解氮 | -0.024   | -0.047*  | 0.067**  | -0.089** | 0.711** | 1.000    | 0.149** | 0.308**  | 0.026    | -0.055*  | -0.020   | -0.025   |
| 速效磷 | -0.012   | 0.164**  | -0.041   | -0.049*  | 0.113** | 0.149**  | 1.000   | 0.152**  | -0.040   | -0.026   | 0.216**  | 0.134**  |
| 速效钾 | -0.017   | -0.088** | -0.116** | 0.235**  | 0.239** | 0.308**  | 0.152** | 1.000    | 0.244**  | 0.215**  | 0.025    | 0.007    |
| 有效钙 | 0.054*   | -0.128** | -0.118** | 0.683**  | 0.182** | 0.026    | -0.040  | 0.244**  | 1.000    | 0.286**  | 0.093**  | -0.026   |
| 有效镁 | 0.006    | -0.174** | -0.234** | 0.257**  | -0.047* | -0.055*  | -0.026  | 0.215**  | 0.286**  | 1.000    | -0.146** | -0.039   |
| 有效硫 | 0.246**  | 0.033    | 0.121**  | -0.006   | 0.026   | -0.020   | 0.216** | 0.025    | 0.093**  | -0.146** | 1.000    | -0.046*  |
| 水溶氯 | -0.145** | 0.221**  | 0.023    | -0.080** | -0.021  | -0.025   | 0.134** | 0.007    | -0.026   | -0.039   | -0.046*  | 1.000    |

注：\* 表示在  $P<0.05$  水平显著相关，\*\*表示在  $P<0.01$  水平显著相关。

## 2.3 土壤类型、海拔、地形对土壤化学性状和烟叶硫素、氯离子含量影响

由于研究区域属于山区，且空间跨度大，导致地形和土壤类型的差异较大，因此土壤属性存在较大的空间差异，土壤类型以及地形地貌均对烟叶硫素、氯离子含量有显著影响。

曲靖市最主要的土壤类型为红壤，占全市植烟土壤总数的 48.9%，紫色土和水稻土分别占 16.7% 和

15.9%，新积土占植烟土壤面积的 12.1%，黄壤和石灰岩土较少，黄壤占 5.8%，石灰岩土仅占 0.5%；从地形上看，以山地为主，且 74% 分布在 1 700 ~ 2 100 m 范围内。

不同土类间土壤化学性状和烟叶中硫素、氯离子含量差异极显著，其中石灰岩土中的烟叶硫素平均含量以及水稻土、红壤中的烟叶氯离子平均含量较其他土壤类型高，而石灰岩土中烟叶氯离子平均含量最低，

不同土类间样本分布不均,土壤化学性状差异极显著。

不同地形间除烟叶中硫以及土壤中有有机质、碱解氮、速效磷差异不显著外,有效钙含量差异显著,烟叶中氯离子及其他土壤化学性状差异较大。平坝和河

槽地形的烟叶硫素和氯离子平均含量分别最高,山凹地的烟叶硫素和氯离子平均含量最低。

不同海拔间除烟叶硫和土壤水溶性氯差异不显著外,其他指标均差异显著(表3)。

表 3 不同海拔、土类、地形的土壤化学性状和烟叶硫、氯离子含量

Table 3 Chemical backgrounds of soil properties, S and Cl<sup>-</sup> in tobacco leaves under different altitudes, soil types and landforms

| 土壤条件 |                 | 样品数          | 烟叶硫 (mg/kg)    | 烟叶氯 (mg/kg)        | pH             | 有机质 (g/kg)   | 碱解氮 (mg/kg)  |
|------|-----------------|--------------|----------------|--------------------|----------------|--------------|--------------|
| 土类   | 红壤              | 1 115        | 0.26 ± 0.1     | 0.3 ± 0.3          | 6.1 ± 0.8      | 3.7 ± 1.3    | 129.8 ± 41.6 |
|      | 黄壤              | 126          | 0.24 ± 0.1     | 0.3 ± 0.3          | 6.6 ± 0.6      | 3.8 ± 1.5    | 157.1 ± 39.1 |
|      | 石灰岩土            | 19           | 0.48 ± 0.1     | 0.1 ± 0.1          | 6.9 ± 0.6      | 3.9 ± 0.6    | 158.5 ± 27.5 |
|      | 水稻土             | 363          | 0.26 ± 0.1     | 0.3 ± 0.3          | 6.1 ± 0.8      | 3.8 ± 1.4    | 134.3 ± 44.1 |
|      | 新积土             | 276          | 0.27 ± 0.1     | 0.2 ± 0.2          | 6.3 ± 0.9      | 4.2 ± 1.7    | 143.4 ± 53.1 |
|      | 紫色土             | 381          | 0.28 ± 0.1     | 0.2 ± 0.2          | 6.4 ± 0.8      | 2.7 ± 1.4    | 98.7 ± 40.9  |
|      | <i>P</i>        |              | 0.00           | 0.00               | 0.00           | 0.00         | 0.00         |
| 地形   | 河槽              | 104          | 0.26 ± 0.1     | 0.3 ± 0.4          | 6.1 ± 0.8      | 3.5 ± 1.3    | 124.9 ± 46.8 |
|      | 平坝              | 533          | 0.27 ± 0.1     | 0.3 ± 0.2          | 6.3 ± 0.8      | 3.7 ± 1.4    | 126.7 ± 38.7 |
|      | 丘陵              | 218          | 0.25 ± 0.1     | 0.3 ± 0.4          | 6.1 ± 0.8      | 3.4 ± 1.1    | 121.4 ± 40.5 |
|      | 山凹              | 148          | 0.18 ± 0.1     | 0.2 ± 0.1          | 5.6 ± 0.9      | 3.1 ± 0.3    | 98.47 ± 20.1 |
|      | 山地              | 1 277        | 0.25 ± 0.1     | 0.2 ± 0.2          | 6.2 ± 0.8      | 3.6 ± 1.6    | 129.5 ± 47.9 |
|      | <i>P</i>        |              | 0.11           | 0.00               | 0.00           | 0.15         | 0.09         |
| 海拔   | <1 500 m        | 58           | 0.26 ± 0.1     | 0.2 ± 0.2          | 7.1 ± 0.4      | 3.7 ± 1.1    | 146.5 ± 46.7 |
|      | 1 500 ~ 1 700 m | 255          | 0.27 ± 0.1     | 0.2 ± 0.2          | 6.6 ± 0.7      | 3.3 ± 1.1    | 133.1 ± 52.7 |
|      | 1 700 ~ 1 900 m | 665          | 0.25 ± 0.1     | 0.2 ± 0.2          | 6.4 ± 0.7      | 3.5 ± 1.8    | 120.1 ± 44.7 |
|      | 1 900 ~ 2 100 m | 1 042        | 0.26 ± 0.1     | 0.3 ± 0.3          | 6.1 ± 0.8      | 3.6 ± 1.4    | 127.2 ± 43.8 |
|      | >2 100 m        | 260          | 0.25 ± 0.1     | 0.2 ± 0.2          | 6.1 ± 0.7      | 4.1 ± 1.4    | 145.2 ± 43.3 |
|      | <i>P</i>        |              | 0.49           | 0.00               | 0.00           | 0.00         | 0.00         |
| 土壤条件 |                 | 速效磷 (mg/kg)  | 速效钾 (mg/kg)    | 有效钙 (mg/kg)        | 有效镁 (mg/kg)    | 有效硫 (mg/kg)  | 水溶氯 (mg/kg)  |
| 土类   | 红壤              | 27.01 ± 19.1 | 191.52 ± 115.3 | 2 368.87 ± 1 271   | 265.13 ± 185.3 | 48.01 ± 81.3 | 29.46 ± 22.2 |
|      | 黄壤              | 31.99 ± 22.3 | 274.84 ± 112.8 | 2 197.59 ± 822.8   | 380.91 ± 167.1 | 24.93 ± 24.6 | 27.86 ± 13.5 |
|      | 石灰岩土            | 9.19 ± 2.6   | 139.23 ± 46.56 | 2 465.31 ± 736.1   | 176.78 ± 109.1 | 15.41 ± 9.1  | 6.85 ± 13.1  |
|      | 水稻土             | 29.54 ± 19.2 | 188.45 ± 177.5 | 2 430.62 ± 1500.1  | 309.24 ± 190.3 | 45.3 ± 39.8  | 28.68 ± 21.9 |
|      | 新积土             | 31.86 ± 21.1 | 223.85 ± 127.2 | 3 193.88 ± 1654.2  | 394.39 ± 284.1 | 30.31 ± 35.1 | 24.39 ± 16.1 |
|      | 紫色土             | 23.47 ± 15.1 | 201.49 ± 107.8 | 2 937.66 ± 1650.4  | 450.18 ± 249.2 | 30.54 ± 29.1 | 23.58 ± 18.5 |
|      | <i>P</i>        | 0.00         | 0.00           | 0.00               | 0.00           | 0.00         | 0.00         |
| 地形   | 河槽              | 29.61 ± 19.9 | 182.69 ± 129.4 | 2 452.82 ± 1290.3  | 340.09 ± 200.1 | 36.39 ± 35.6 | 25.22 ± 22.2 |
|      | 平坝              | 29.41 ± 18.3 | 174.52 ± 101.5 | 2 602.52 ± 1 504.8 | 297.92 ± 159.5 | 47.96 ± 78.1 | 31.98 ± 21.4 |
|      | 丘陵              | 29.3 ± 20.2  | 157.72 ± 93.2  | 2 249.09 ± 1 486.7 | 226.86 ± 229.7 | 56.02 ± 99.1 | 31.19 ± 22.2 |
|      | 山凹              | 24.3 ± 9.6   | 193.28 ± 44.9  | 2 982.73 ± 1 304.3 | 334.53 ± 90.7  | 45.69 ± 37.4 | 14.74 ± 5.8  |
|      | 山地              | 26.75 ± 19.2 | 217.53 ± 139.4 | 2 616.81 ± 1 424.8 | 347.42 ± 233.1 | 36.69 ± 50.3 | 26.65 ± 19.8 |
|      | <i>P</i>        | 0.07         | 0.00           | 0.01               | 0.00           | 0.00         | 0.00         |
| 海拔   | <1 500 m        | 35.81 ± 22.3 | 252.48 ± 113.3 | 2 772.55 ± 1 649.1 | 440.73 ± 180.6 | 21.66 ± 16.9 | 29.43 ± 19.3 |
|      | 1 500 ~ 1 700 m | 26.02 ± 21.1 | 224.16 ± 120.1 | 2 513.34 ± 1 056.5 | 454.73 ± 297.8 | 25.21 ± 20.4 | 25.69 ± 18.1 |
|      | 1 700 ~ 1 900 m | 28.57 ± 19.8 | 217.59 ± 154.9 | 2 840.27 ± 1 489.7 | 361.28 ± 208.9 | 34.71 ± 37.1 | 28.59 ± 20.7 |
|      | 1 900 ~ 2 100 m | 27.43 ± 18.3 | 189.09 ± 114.3 | 2 451.37 ± 1 496.9 | 290.44 ± 212.9 | 48.13 ± 79.4 | 27.09 ± 20.9 |
|      | >2 100 m        | 25.18 ± 18.1 | 186.47 ± 117.7 | 2 333.09 ± 1 123.7 | 272.37 ± 186.9 | 42.57 ± 51.5 | 27.95 ± 20.9 |
|      | <i>P</i>        | 0.00         | 0.00           | 0.00               | 0.00           | 0.00         | 0.42         |

## 2.4 土壤化学成分对烟叶硫影响分类树分析

为进一步分析土壤有效硫及其他化学成分对烟叶硫含量的影响情况,在相关性分析的基础上,采用分类树模型对以上各项指标与烟叶硫含量进行分析。分类树模型是目前数据挖掘的核心技术算法之一,其中 Exhaustive CHAID 法对分组进行检验并合并直至剩下 2 个,而后进行比较,找出最佳组合,从而找到最佳拆分点。分类树分析中,目标变量按统计检验的  $P$  值大小依次拆分,位于主要枝干的解释变量对目标变量影响较大,随着分枝的细化影响逐渐减小<sup>[6-8]</sup>。

通过分类树模型来研究土壤化学成分对烟叶硫含量的影响,结果如图 1 所示。影响该地区烟叶硫含量的首要因素为土壤有效硫,其中,土壤有效硫含量  $\geq 71.83 \text{ mg/kg}$  的烟叶中硫含量平均值最大,其范围样本占样本总数的 9.9%,土壤有效硫含量  $\leq 35.53 \text{ mg/kg}$  的样本占比例最大,为 70%,此部分样本平均值最小,为  $0.25 \text{ mg/kg}$ ;土壤有效硫含量介于  $35.53 \sim 71.83 \text{ mg/kg}$  之间的样本平均值为  $0.26 \text{ mg/kg}$ ,占样本总数的 20%。总体上看,土壤有效硫与烟叶硫含量之间呈现明显的线性关系,烟叶硫含量随土壤有效硫含量的增加而上升。

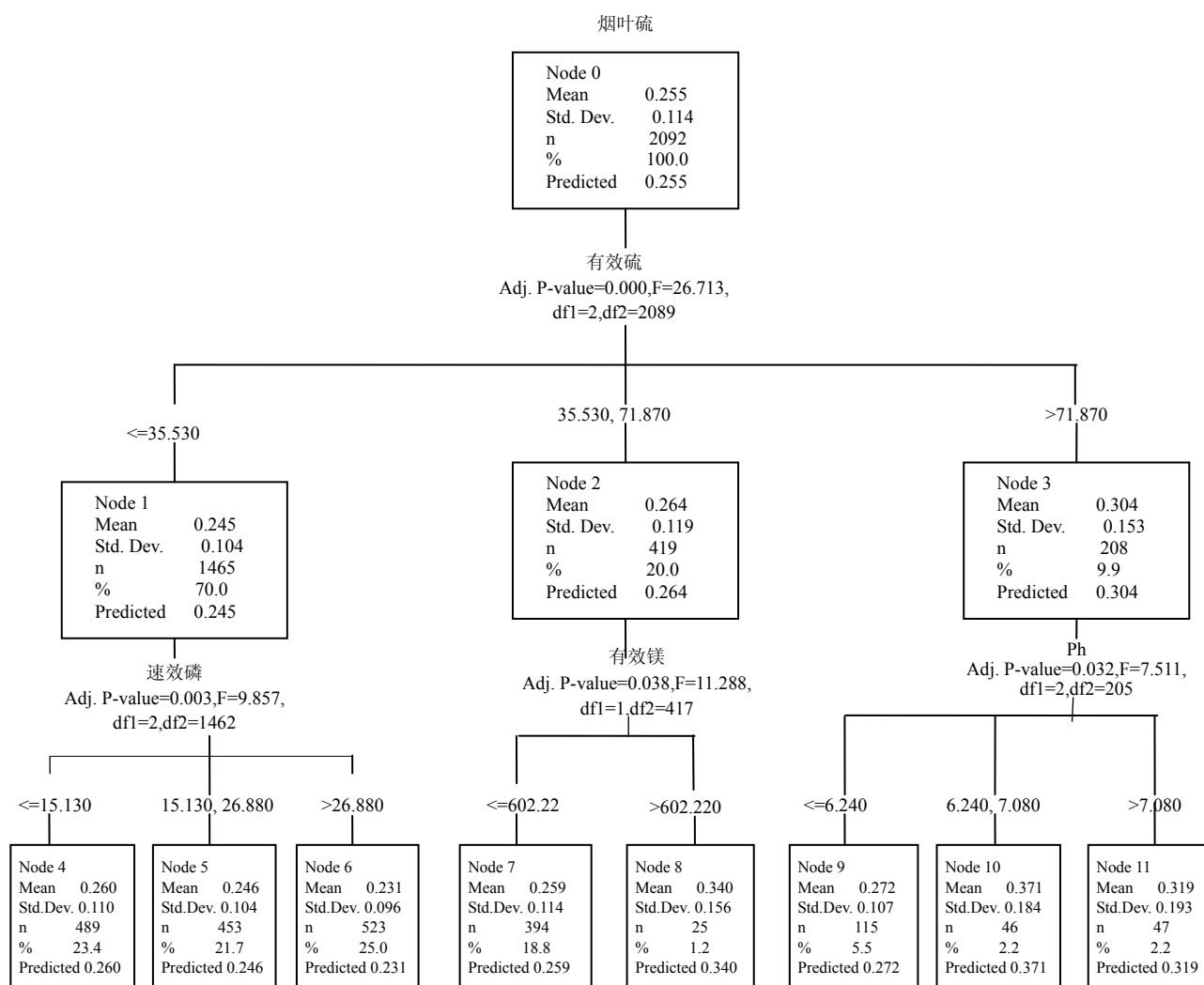


图 1 烟叶硫分类树分析结果

Fig. 1 Classification tree of S in tobacco leaves

通过进一步比对,土壤有效硫含量  $\leq 35.53 \text{ mg/kg}$  时,烟叶硫含量受土壤速效磷影响较大,在此有效硫含

量范围内,土壤速效磷含量  $\leq 15.13 \text{ mg/kg}$  时烟叶硫平均含量最高,平均值为  $0.26 \text{ mg/kg}$ ,占样本总量的 23.4%;

土壤速效磷含量介于 15.13 ~ 26.88 mg/kg 时, 烟叶硫含量平均为 0.25 mg/kg, 占样本总量的 21.7%; 速效磷含量  $\geq 26.88$  mg/kg 时, 烟叶硫含量平均为 0.23 mg/kg, 占样本总量的 25%。

土壤有效硫含量介于 35.53 ~ 71.83 mg/kg 之间时, 土壤有效镁则成为影响烟叶硫含量的主要因素, 此范围内土壤有效镁拐点为 602.22 mg/kg, 拐点两侧烟叶硫含量分别平均为 0.26 mg/kg 和 0.34 mg/kg, 分别占 18.8% 和 2%。

土壤有效硫含量  $\geq 71.83$  mg/kg 时, 烟叶硫含量受土壤 pH 影响较大。在此有效硫含量范围内, 土壤 pH  $\leq 6.24$  时烟叶硫含量平均值最低, 为 0.27 mg/kg, 占样本总量的 5.5%; pH 介于 6.24 ~ 7.08 时, 烟叶硫含量平均为 0.37 mg/kg, 占样本总量的 2.2%; pH  $\geq 7.08$  时, 烟叶硫含量平均为 0.32 mg/kg, 占样本总量的 2.2%。

## 2.5 土壤化学成分对烟叶氯离子影响分类树分析

为进一步分析土壤水溶性氯离子及其他化学成分对烟叶氯离子含量的影响情况, 在相关性分析的基础上, 采用分类树模型对以上各项指标与烟叶氯离子含量进行分析。

通过分类树模型来研究土壤化学成分对烟叶氯离子含量的影响, 结果如图 2 所示, 影响该地区烟叶氯含量的首要影响因素为土壤中水溶性氯。其中, 土壤水溶性氯含量介于 4.97 ~ 28.48 mg/kg 之间的样本平均值为 2.21 g/kg, 占有样本量的 50%; 其次是土壤水溶性氯介于 28.48 ~ 51.93 mg/kg 之间的样本, 其烟叶氯离子含量平均值为 2.79 g/kg, 占总样本数的 30%; 而在土壤水溶性氯含量  $\leq 4.97$  和  $\geq 51.93$  mg/kg 的范围内, 烟叶氯离子平均含量分别为 1.32 g/kg 和 4.20 g/kg, 所占比例为 10% 和 9.9%。

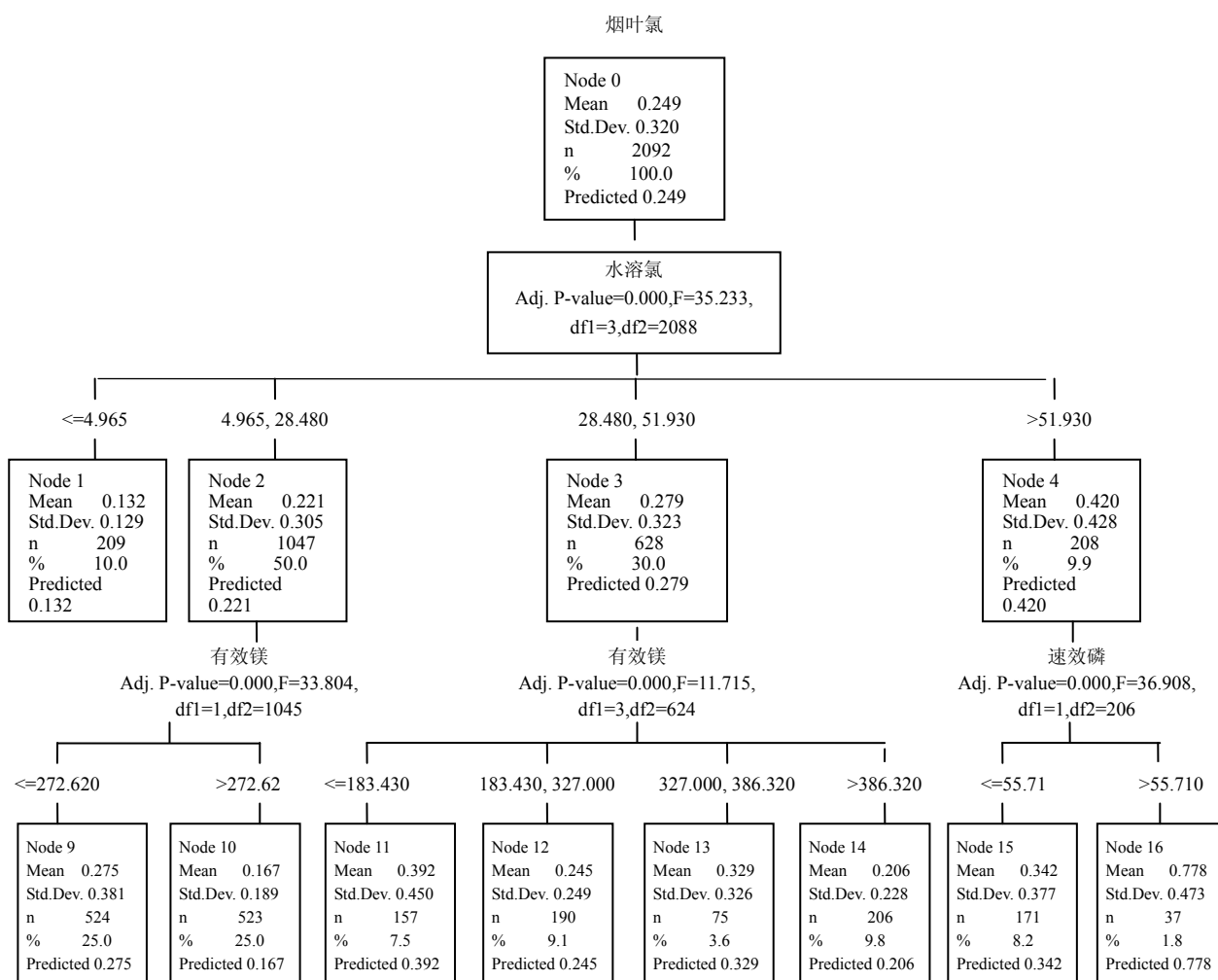


图 2 烟叶氯离子分类树分析结果

Fig. 2 Classification tree of  $\text{Cl}^-$  in tobacco leaves

进一步分析分类树分析结果,该地区土壤水溶性氯含量介于 4.97 ~ 28.48mg/kg 之间时,土壤有效镁是影响烟叶氯离子含量的主要因素,其拐点是 272.62 mg/kg,对应烟叶氯离子含量分别平均为 2.75g/kg 和 1.67g/kg;水溶性氯离子在此范围内且土壤有效镁高于 272.62 mg/kg 时,烟叶氯离子含量主要受土壤速效磷影响,拐点为 55.71 mg/kg,对应的烟叶氯离子含量分别为 1.57g/kg 和 3.00g/kg。

土壤水溶性氯含量介于 28.48 ~ 51.59mg/kg 之间时,土壤有效镁仍是影响烟叶氯离子的主要因素,有效镁的拐点分别为 183.43、327.00、386.32 mg/kg,烟叶氯含量分别平均分别为 3.92、2.45、3.29 和 2.06 g/kg。

土壤水溶性氯含量 $\geq 51.93$  mg/kg 时,土壤速效磷为影响烟叶氯离子的主要因素,速效磷含量 $\geq 55.71$  mg/kg 时,烟叶氯含量平均为 7.78 g/kg;而速效磷 $\leq 55.71$  mg/kg 时,土壤有效钙则成为影响烟叶氯含量的主要因素,此时有效钙的拐点为 1.12、2.23、3.41 g/kg,对应的烟叶氯含量分别平均为 2.79、4.94、3.06 和 1.75 g/kg。

### 3 讨论

土壤有效硫是影响该地区烟叶硫含量的主要因素,含量节点分别是 35.53 mg/kg 和 71.87 mg/kg,烟叶硫含量随之增加,且与烟叶氯及土壤水溶性氯含量显著负相关。此外,在不同的土壤有效硫含量范围内,土壤速效磷、有效镁及 pH 均会影响烟叶硫含量。

当土壤硫含量低于 35.53 mg/kg 时,速效磷成为影响烟叶硫含量的主要因素。由于土壤中有效硫和速效磷均以酸根的形式存在,从作物吸收的角度来看,硫与磷均为作物生长所需的大量元素,且都以负价酸根的形式吸收<sup>[9]</sup>,土壤中硫酸根含量较低时, $\text{HPO}_4^{2-}$  或  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  更易被作物吸收。试验结果也表明,此范围内,烟叶硫含量随土壤速效磷增高而降低。

土壤有效硫介于 35.53 ~ 71.83 mg/kg 之间时,土壤有效镁则成为影响烟叶硫的主要因素。土壤镁形态中交换态镁和水溶态镁对植物是有效的,二者合称有效镁,其中交换态镁占绝大部分,以离子形态被吸附在土壤胶粒表面<sup>[10]</sup>。试验结果表明,在适当的有效硫范围内,土壤有效镁含量较高时烟叶中硫含量随之升高,说明作物吸收硫素的效率也随之

提高。

有效硫含量 $\geq 71.83$  mg/kg 时,pH 成为影响烟叶硫含量的主要因素。土壤 pH 逐渐增大时,pH 改变了介质中  $\text{H}^+$  和  $\text{OH}^-$  的比例,烟叶硫含量也随之增加。当土壤处于微酸性时,由于土壤速效磷、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等溶解性增加,易被作物吸收,同时作物对  $\text{SO}_4^{2-}$  的吸收量相应减少;而处于微碱性状态时,土壤速效磷与  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  等逐渐变成不溶性化合物,作物吸收量也逐渐减少,而  $\text{SO}_4^{2-}$  的吸收量就会明显增加<sup>[11]</sup>。

钾、钙、镁阳离子在吸收上有显著的拮抗作用,尤其是 K-Mg 关系尤为密切,而对于烤烟来说,土壤供镁量的变化直接影响烤烟吸收钾素的能力<sup>[12]</sup>。根据 Chouteau 等<sup>[12]</sup>研究结果,烤烟叶片中存在着 ( $\text{K}^+$ ) / ( $\text{Cl}^-$ +有机酸) 的离子平衡,当由土壤有效镁变化引起作物吸收钾素能力下降时,烟叶中氯离子也随之发生改变,由于此平衡还受到植株体内有机酸含量的影响,所以土壤有效镁对烟叶氯离子含量影响不规则。

在影响烤烟燃烧性的氯离子和烟叶硫含量两大因素的土壤条件中,除了土壤有效硫和水溶性氯直接影响因素外,在不同的土壤条件下,土壤有效镁、速效磷以及 pH 均对烟叶硫和氯离子含量产生影响。此外,相关性分析结果表明,土壤有效钙与两者均有显著的相关性,但在分类树分析中,有效钙对两者影响并不明显,可能由于  $\text{Ca}^{2+}$  有效性受  $\text{HPO}_4^{2-}$  或  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  以及 pH 影响较大,其对烟叶硫含量和氯离子含量的作用效果没有土壤速效磷和 pH 明显<sup>[13-14]</sup>。

由于氯离子对烟叶燃烧性影响较大,因此烟叶生产一般不允许施用含氯肥料,但由于烟叶生产采取轮作制度,虽然烟茬施用已基本得到控制,但氯化钾等肥料在其他作物上施用量仍较大,导致土壤中残留较多,影响烟叶氯离子含量。烟叶中硫含量不仅与烟叶燃烧性有关,另一方面,硫肥对植株发育也起重要作用,适度施用硫肥对促进烟株个体发育、改善烟叶品质有明显的促进作用。

### 4 结论

(1) 曲靖地区烟叶硫平均含量为 0.26 mg/kg,含量范围在 0.07 ~ 0.97 mg/kg,较适宜,但变异较大。

土壤有效硫、有效钙、速效磷、pH、有机质、速效钾以及海拔均直接或间接影响烟叶硫含量。其中最主要因素是土壤有效硫含量,土壤有效硫含量 $\leq 35.530\text{ mg/kg}$ 时,烟叶硫含量主要受土壤速效磷影响;有效硫含量介于 $35.530 \sim 71.830\text{ mg/kg}$ 时,土壤有效镁则成为影响烟叶硫的主要因素;有效硫含量 $\geq 71.830\text{ mg/kg}$ 时,烟叶硫含量受土壤 pH 影响较大。

(2) 曲靖地区烟叶中氯离子平均含量为  $2\ 490\text{ mg/kg}$ ,含量范围在  $0.20 \sim 34.70\text{ g/kg}$ ,变异较大。土壤水溶性氯是影响烟叶氯离子含量的最主要因素,其含量分割点为  $4.97$ 、 $28.48$  和  $51.93\text{ mg/kg}$ 。除土壤水溶性氯外,土壤有效镁、速效磷和速效钙也在不同程度上影响着烟叶氯含量。

(3) 栽培管理对策。在目前烟叶生产形势下,采取改善烟田灌溉条件、严格控制含氯肥料的施用,可在一定程度上控制烟叶的氯离子含量;硫酸钾肥料含氧化钾  $48\% \sim 52\%$ 、硫  $18.4\%$ ,施用硫酸钾肥料可改善烟叶品质、促进烟株发育。但硫酸钾多由氯化钾转化而来,含有少量氯,烟草施用时必须施用含氯量低于  $1\%$  甚至  $0.5\%$  的硫酸钾。此外,硫酸钾移动性较小,因此施用时应以基肥效果较好,可采取条、沟施或穴施集中深层施肥,施用量  $120 \sim 150\text{ kg/hm}^2$  为宜。

#### 参考文献:

- [1] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 87-91
- [2] 林跃平, 周清明, 王业建. 影响烟草生长、产量和品质因子的研究进展. 作物研究, 2006(5): 490-493
- [3] 唐远驹. 试论特色烟叶的形成和开发. 中国烟草科学, 2004, 25(1): 10-13
- [4] 季学军, 王大州, 沈思灯, 席晋峰, 李德成, 李贤胜, 杨平, 周立祥. 安徽省宣城市特色烟种植潜力定量评价. 土壤, 2010, 42(4): 648-651
- [5] 宋志刚, 谢蕾蕾, 何旭洪. SPSS16 实用教程. 北京: 人民邮电出版社, 2008: 210-217
- [6] 张勇晶, 陈坤, 金明娟, 范春红. 应用分类树模型筛选恶性肿瘤危险因素的研究. 基础理论, 2006, 27(6): 540-543
- [7] 姜明辉, 王欢, 王雅林. 分类树在个人信用评估中的应用. 商业研究, 2003(21): 86-88
- [8] 傅传喜, 马文军, 梁建华, 王大虎, 王声湧. 高血压危险因素 logistic 回归与分类树分析. 疾病控制杂志, 2006, 6(10): 256-259
- [9] 王忠. 植物生理学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 84-93
- [10] 沈其荣. 土壤肥料学通论. 北京: 高等教育出版社, 2001: 234-239
- [11] 浙江农业大学. 植物营养与肥料. 北京: 农业出版社, 1991: 23
- [12] 谢云波, 冯文强, 曾祥忠, 秦鱼生, 喻华, 成本喜, 郭仕平, 罗定棋. 烤烟的养分需求规律及施肥技术研究进展. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 11 115-11 119
- [13] 江苏省淮阴农业学校. 土壤肥料学. 北京: 中国农业出版社, 1990: 93
- [14] 吴刚, 李金英, 曾晓舵. 土壤钙的生物有效性及与其他元素的相互作用. 土壤与环境, 2002, 11(3): 319-322

## Effects of Soil Chemical Properties on S and Cl Contents in Flue-Cured Tobacco Leaves in Low-latitude and High-elevation Area of East Yunnan

WANG Cheng-dong<sup>1</sup>, WANG Shu-sheng<sup>1</sup>, LIU Xin-min<sup>1</sup>, HOU Xiao-dong<sup>1</sup>, DU Yong-mei<sup>1</sup>, GU Yu-min<sup>2</sup>, CHENG Sen<sup>2</sup>, XIE Yan<sup>3</sup>  
(1 Tobacco Research Institute of CAAS, Key Laboratory of Tobacco Biology and Processing, Ministry of Agriculture, Qingdao, Shandong 266101, China; 2 Shanghai Tobacco Corporation, Shanghai 200082, China; 3 Qujing Tobacco Corporation, Qujing, Yunnan 655000, China)

**Abstract:** Chemical properties of soils and flue-cured tobacco leaves from low-latitude and high-elevation Qujing City of Yunnan Province were measured and Classification Tree Model was used to explore the relations between S and Cl<sup>-</sup> contents in tobacco leaves and soil various properties. The results showed that: (1) S content in tobacco leaves ranged from 0.07–0.97 mg/kg with a mean of 0.26mg/kg, which was more suitable level but with a great variation. Soil available S content was the uppermost factor affecting S content in tobacco leaves, soil available Ca, altitude, soil rapid available P, pH, organic matter and rapid available K were direct or indirect influential factors. S content in tobacco leaves was mainly affected by soil available P when soil S content was  $\leq 35.53$  mg/kg, was mainly affected by soil available Mg when soil S content ranged from 35.53 to 71.83 mg/kg and then was mainly affected by soil pH when soil S content  $\geq 71.830$  mg/kg. (2) Cl<sup>-</sup> content in tobacco leaves ranged from 0.20–34.70 mg/kg with a mean of 2.49, with a great variation. Soil water-soluble Cl<sup>-</sup> content was the primary influential factor of Cl<sup>-</sup> content in tobacco leaves and the content cut-points were 4.97, 28.48 and 51.93mg/kg respectively. Soil available Mg, rapid available P and Ca also affected Cl<sup>-</sup> content in tobacco leaves to various degrees.

**Key words:** Flue-cured tobacco leaves, S, Cl, Soil chemical properties, Low-latitude and high-elevation, East Yunnan