

# 湘西植烟土壤 pH 和主要养分特征及其相互关系<sup>①</sup>

邓小华<sup>1</sup>, 张 瑶<sup>1</sup>, 田 峰<sup>2</sup>, 张黎明<sup>2\*</sup>, 蔡云帆<sup>2</sup>, 田明慧<sup>2</sup>, 张明发<sup>2</sup>

(1 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2 湖南省烟草公司湘西自治州公司, 湖南吉首 416000)

**摘 要:** 为了解湘西烟区植烟土壤 pH 和主要养分特征及其相互关系, 于 2015 年采集烟区 1 242 个土壤样本, 研究了植烟土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的适宜性分布、县域分布以及 pH 与这些养分指标的量化关系。结果表明: 湘西烟区植烟土壤 pH 平均值为 6.12, 有 20.77% 样品偏酸和 18.20% 的样品偏碱; 有机质和碱解氮含量的平均值分别为 28.42 g/kg 和 145.63 mg/kg, 总体上处于适宜水平; 有效磷含量的平均值为 28.94 mg/kg, 有近 40% 样品偏高; 速效钾含量平均值为 198.76 mg/kg, 有近 45% 的样品偏低。主产烟县植烟土壤 pH 和养分差异极显著。

土壤主要养分含量与 pH 之间呈现曲线关系; 当 pH<5.5 时或 pH>8.0 时, 随土壤 pH 变化, 主要养分含量变化较大; 当 pH 在 5.5~8.0 时, 随土壤 pH 变化, 主要养分含量变化平缓。当 pH<5.5 时, 随土壤 pH 升高, 有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量快速下降; 当 pH 在 5.5~8.0 时, 随土壤 pH 升高, 有机质、有效磷和速效钾含量缓慢升高, 碱解氮含量缓慢下降; 当 pH>8.0 时, 随土壤 pH 升高, 有机质、碱解氮、有效磷含量快速下降, 速效钾含量快速升高。

**关键词:** 植烟土壤; pH; 土壤养分; 分布特征; 相互关系

中图分类号: S572.06; S158 文献标识码: A

土壤肥力的基础是土壤养分状况, 土壤养分状况与优质烟叶的生产有着密切联系<sup>[1-2]</sup>。pH 影响土壤养分的形成、转化和有效性<sup>[3-4]</sup>, 从而影响烟株生长发育以及烟叶产量和质量<sup>[5-7]</sup>。植烟土壤 pH 与土壤养分的区域分布特征<sup>[8]</sup>及其关系一直是研究的热点, 这些研究或是主要集中于土壤 pH 与土壤养分的简单相关分析, 或是由于受样品数量和区域来源局限, 各自的研究结果不完全一致<sup>[3-4,9-12]</sup>。地处武陵山区的湘西烟区 (湘西土家族苗族自治州), 属亚热带季风性湿润气候区, 近年来基本烟田面积为 30.7 万 hm<sup>2</sup>, 常年产烟 2.25 万 t 以上, 烟叶质量一直受到省内外重点卷烟工业企业青睐, 是我国的一个重要烟区<sup>[13-15]</sup>。本研究分析了湘西烟区植烟土壤 pH 和主要养分分布的特点及其之间的相互关系, 以期对湘西烟区植烟土壤养分管理和土壤维护与改良提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

于 2015 年在湘西州的 7 个植烟县、88 个乡镇中的 510 个村, 采集具有代表性的耕作层(0~20 cm)土

样 1 242 个。保靖县、凤凰县、古丈县、花垣县、龙山县、泸溪县、永顺县的采集样本数量分别为 102、155、95、160、300、70、360 个。土样采集要求在土壤翻耕之前, 同时避开雨季; 种植面积在 20 hm<sup>2</sup>左右采集 1 个土样; 每一地块土钻取小土样 10~15 个点, 制成 1.5 kg 左右的混合土样。

### 1.2 土壤 pH 和主要养分的测定

测定方法按土壤农化常规分析方法进行<sup>[16]</sup>。土壤 pH 采用 pH 计法(水土比为 1:2.5)测定; 有机质采用重铬酸钾滴定法、碱解氮采用碱解扩散法、有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法、速效钾采用醋酸铵浸提-火焰光度法测定。

### 1.3 植烟土壤 pH 和主要养分适宜性分级

参照以往研究<sup>[3-4,17-18]</sup>, 将植烟土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾分为极低、低、适宜、高、极高 5 级, 具体见表 1。依据各等级比例对植烟土壤 pH 和主要养分丰缺状况进行诊断。

### 1.4 统计分析方法

采用 Microsoft Office Excel 2010 和 IBM Statistics SPSS 20.0 软件进行原始数据处理及统计分析。采用

基金项目: 湖南省烟草专卖局项目“湘西烟区土壤 pH 变化机制及调控技术研究与应用”(xx15-18Aa01)和湖南省烟草专卖局重点项目“湘西州烟区植烟土壤维护和改良研究与示范”(13-14ZDAa03)资助。

\* 通讯作者(24229046@qq.com)

作者简介: 邓小华(1965—), 男, 湖南永州人, 博士, 教授, 主要从事烟草科学与工程技术研究。E-mail: yzdxh@163.com

表 1 植烟土壤 pH 和主要养分适宜性等级  
Table 1 Grades of pH and nutrients of tobacco-growing soil

等级	pH	有机质(g/kg)	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
极低	<5.0	<10	<60	<5	<80
低	5.0 ~ 5.5	10 ~ 20	60 ~ 110	5 ~ 10	80 ~ 160
适宜	5.5 ~ 7.0	20 ~ 30	110 ~ 180	10 ~ 30	160 ~ 240
高	7.0 ~ 7.5	30 ~ 40	180 ~ 240	30 ~ 40	240 ~ 350
很高	>7.5	>40	>240	>40	>350

SPSS 中的探索性分析剔除异常值；多重比较采用新复极差法，英文大写字母表示  $P < 0.01$  差异显著水平；英文小写字母表示  $P < 0.05$  差异显著水平。

## 2 结果与分析

### 2.1 植烟土壤 pH 和主要养分的适宜性分布特征

由表 2 可知，湘西植烟土壤 pH 变幅在 4.17 ~ 8.17，平均值为 6.12，在适宜范围内。从样品分布看，土壤 pH 在适宜范围的样本占 34.06%，pH < 5.0 (强酸

性土壤)样品占 20.77%，pH > 7.5 (碱性土壤)的样品占 18.20%。可见，部分样品土壤偏酸或偏碱需要采取相应措施进行调节。

植烟土壤有机质含量变幅在 3.73 ~ 69.30 g/kg，平均值为 28.42 g/kg，在适宜范围内。从样品分布看，土壤有机质含量在适宜范围的样本占 42.13%，< 10.0 g/kg 样品占 1.45%，> 40.0 g/kg 的样品占 12.67%，还有 24.54% 的样品在 30.0 ~ 40.0 g/kg 的范围内。可见，湘西烟区植烟土壤有机质含量总体上是适宜的。

表 2 植烟土壤 pH 和主要养分适宜性分布  
Table 2 Statistics and suitability frequency distribution of pH and nutrients of tobacco-growing soils

指标	均值±标准差	变幅	变异系数 (%)	适宜性分布频率 (%)				
				极低	低	适宜	高	极高
pH	6.12 ± 1.12	4.17 ~ 8.17	18.30	20.77	16.51	34.06	10.47	18.20
有机质(g/kg)	28.42 ± 10.34	3.73 ~ 69.30	36.40	1.45	19.21	42.13	24.54	12.67
碱解氮(mg/kg)	145.63 ± 41.66	34.20 ~ 257.90	28.61	1.72	18.22	60.62	18.14	1.31
有效磷(mg/kg)	28.94 ± 20.19	0.84 ~ 89.80	69.76	6.84	11.61	41.58	14.13	25.83
速效钾(mg/kg)	198.76 ± 112.21	28.00 ~ 520.00	56.46	13.42	31.14	24.14	19.92	11.39

植烟土壤碱解氮含量变幅在 34.20 ~ 257.90 mg/kg，平均值为 145.63 mg/kg，在适宜范围内。从样品分布看，土壤碱解氮含量在适宜范围的样本占 60.62%，< 60.0 mg/kg 样品占 1.72%，> 240.0 mg/kg 的样品占 1.31%。可见，湘西烟区植烟土壤碱解氮含量总体上是适宜的。

植烟土壤有效磷含量变幅在 0.84 ~ 89.80 mg/kg，平均值为 28.94 mg/kg，在适宜范围内。从样品分布看，土壤有效磷含量在适宜范围的样本占 41.58%，< 5.0 mg/kg 样品占 6.84%，> 40.0 mg/kg 的样品占 25.83%，还有 14.13% 的样品在 30.0 ~ 40.0 mg/kg 的范围内。可见，湘西烟区部分植烟土壤有效磷含量偏高。

植烟土壤速效钾含量变幅在 28.00 ~ 520.00 mg/kg，平均值为 198.76 mg/kg，在适宜范围内。从样品分布看，土壤速效钾含量在适宜范围的样本只占 24.14%，< 80.0 mg/kg 样品占 13.42%，还有 31.14% 的样品在 80.0 ~ 160.0 mg/kg 的范围内。可见，湘西烟区有近 45% 的土壤样品速效钾含量偏低。

从变异系数看，其大小排序为有效磷、速效钾、有机质、碱解氮、pH，其中，土壤 pH 属中等强度变异，其他为强变异。

### 2.2 植烟土壤 pH 和主要养分县域分布特征

由表 3 可知，湘西烟区植烟土壤 pH 县域差异极显著 ( $F=30.301$ ,  $\text{Sig.}=0.000$ )，主要是保靖县植烟土壤 pH 相对较高，但在适宜范围内；古丈县和花垣县植烟土壤 pH 相对较低，属于“强酸性”土壤。植烟土壤有机质含量县域差异极显著 ( $F=20.840$ ,  $\text{Sig.}=0.000$ )，主要是凤凰县和花垣县植烟土壤有机质含量相对较高，保靖县和古丈县植烟土壤有机质含量相对较低，但均在适宜范围内。植烟土壤碱解氮含量县域差异极显著 ( $F=13.363$ ,  $\text{Sig.}=0.000$ )，主要是凤凰县和花垣县植烟土壤碱解氮含量相对较高，古丈县植烟土壤碱解氮含量相对较低，但均在适宜范围内。植烟土壤有效磷含量县域差异极显著 ( $F=11.323$ ,  $\text{Sig.}=0.000$ )，主要是龙山县和花垣县植烟土壤有效磷含量相对较高，在“高”范围内；保靖县植烟土壤有效磷含量相对较低，在

表 3 植烟土壤 pH 和主要养分的县域分布  
Table 3 Statistics of pH and nutrients of tobacco-growing soil in different counties

指标	保靖县	凤凰县	古丈县	花垣县	龙山县	泸溪县	永顺县
pH	6.84 ± 1.03 A	6.25 ± 1.00 B	5.44 ± 0.99 C	5.45 ± 0.91 C	6.03 ± 1.02 B	6.30 ± 0.98 B	6.38 ± 1.17 B
有机质(g/kg)	23.47 ± 8.25 C	31.27 ± 9.10 A	23.13 ± 10.29 C	32.58 ± 11.44 A	27.15 ± 8.10 B	23.78 ± 7.75 C	30.12 ± 11.39 AB
碱解氮(mg/kg)	134.90 ± 33.99 CD	154.69 ± 34.91 A	126.13 ± 45.25 D	161.04 ± 41.30 A	151.78 ± 42.56 AB	130.66 ± 42.19 CD	141.08 ± 40.43 BC
有效磷(mg/kg)	18.63 ± 16.55 D	26.06 ± 17.15 BC	24.99 ± 19.58 BCD	35.25 ± 18.06 A	33.37 ± 23.99 A	22.59 ± 16.46 CD	29.56 ± 19.41 AB
速效钾(mg/kg)	164.96 ± 100.33 BC	158.61 ± 97.42 BC	178.35 ± 130.59 B	227.84 ± 113.80 A	214.65 ± 119.00 A	135.34 ± 80.22 C	219.25 ± 102.32 A

注：表中同行不同大写字母表示不同县域同一土壤指标间差异在  $P < 0.01$  水平差异显著。

“低”范围内。植烟土壤速效钾含量县域差异极显著( $F = 14.3945$ ,  $Sig. = 0.000$ )，主要是永顺县、龙山县和花垣县植烟土壤速效钾含量相对较高，但在适宜范围内；泸溪县植烟土壤速效钾含量相对较低，在“低”范围内。

### 2.3 植烟土壤 pH 与土壤养分指标间的关系

2.3.1 与有机质的关系 1)不同 pH 组的土壤有机质含量分布。将湘西植烟土壤 pH 按 $(-\infty, 4.5)$ 、 $(4.5, 5.0)$ 、 $(5.0, 5.5)$ 、 $(5.5, 6.0)$ 、 $(6.0, 6.5)$ 、 $(6.5, 7.0)$ 、 $(7.0, 7.5)$ 、 $(7.5, 8.0)$ 、 $(8.0, +\infty)$ 分为 9 组，其各组

样本数量分别为 28、230、205、154、145、124、130、212、14，分别统计不同土壤 pH 组的有机质含量平均值及适宜性样本分布频率，结果见表 4。9 个 pH 组的植烟土壤有机质含量平均值在 26.09 ~ 31.24 g/kg。不同 pH 组的植烟土壤有机质含量差异极显著( $F = 4.489$ ;  $Sig. = 0.000$ )，pH 7.0 ~ 7.5 和 pH 7.5 ~ 8.0 组的植烟土壤有机质含量显著高于 pH 5.0 ~ 5.5 组。不同 pH 组之间植烟土壤有机质含量适宜样品比例以 pH > 8.0 组最高，pH 7.0 ~ 7.5 组最低。

表 4 不同 pH 组的土壤有机质含量及分布  
Table 4 Statistics and suitability frequency distribution of organic matter contents under different soil pH groups

pH 组	均值 ± 标准差 (g/kg)	变幅 (g/kg)	变异系数 (%)	适宜性分布频率 (%)				
				极低	低	适宜	高	极高
<4.5	30.67 ± 10.17 AB	8.94 ~ 53.40	33.16	3.57	7.14	42.86	28.57	17.86
4.5 ~ 5.0	27.77 ± 10.40 AB	8.59 ~ 66.20	37.44	0.43	23.48	45.22	18.26	12.61
5.0 ~ 5.5	26.09 ± 9.40 B	5.33 ~ 58.90	36.04	3.41	22.44	47.32	19.02	7.80
5.5 ~ 6.0	27.97 ± 8.51 AB	9.40 ~ 53.40	30.41	0.65	17.53	42.86	30.52	8.44
6.0 ~ 6.5	26.98 ± 10.21 AB	4.94 ~ 67.50	37.86	2.07	26.21	37.93	22.07	11.72
6.5 ~ 7.0	28.75 ± 9.99 AB	6.56 ~ 69.30	34.74	0.82	15.57	46.72	27.87	9.02
7.0 ~ 7.5	30.11 ± 11.19 A	3.73 ~ 64.30	37.16	3.08	11.54	37.69	33.85	13.85
7.5 ~ 8.0	31.24 ± 11.48 A	11.10 ~ 65.90	36.73	0.00	16.59	35.55	26.07	21.80
>8.0	27.63 ± 9.45 AB	13.10 ~ 44.20	34.21	0.00	14.29	50.00	21.43	14.29

注：表中同列不同大、小写字母分别表示不同 pH 分组间差异在  $P < 0.01$ 、 $P < 0.05$  水平差异显著。下同。

2)土壤 pH 与有机质含量的分组回归。将分组后的土壤有机质含量与土壤 pH 进行直线回归，其方程为  $\hat{y}_{\text{有机质}} = 0.290x + 26.70$  ( $R^2 = 0.047$ )，表明土壤有机质含量有随 pH 升高而升高的趋势，但这种关系没有达到显著性。将分组后的土壤有机质含量与土壤 pH 进行曲线拟合(图 1)，其最优回归方程为  $\hat{y}_{\text{有机质}} = -0.554x^5 + 16.95x^4 - 206x^3 + 1243x^2 - 3731x + 4479$  ( $R^2 = 0.922^{**}$ )。表明植烟土壤 pH 与有机质含量存在曲线关系。当 pH < 5.5 时，随土壤 pH 升高而有机质快速下降；当 pH 在 5.5 ~ 8.0 时，随土壤 pH 升高而有机质缓慢升高；当 pH > 8.0 时，随土壤 pH 升高而有机质快速下降。

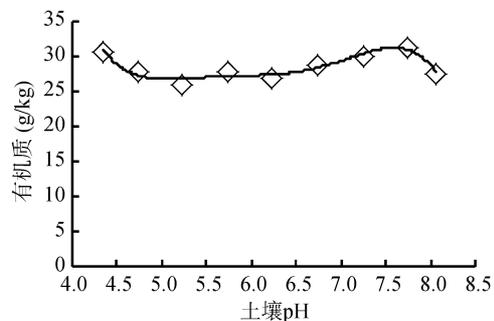


图 1 植烟土壤 pH 与有机质含量的关系

Fig. 1 Relationship between pH and organic matter content of tobacco-growing soil

2.3.2 与碱解氮的关系 1)不同 pH 组的土壤碱解氮含量分布。分别统计不同 pH 组的土壤碱解氮含量平均

值及适宜性样本分布频率, 结果见表 5。9 个 pH 组的植烟土壤碱解氮含量平均值在 129.12 ~ 167.81 mg/kg。不同 pH 组的植烟土壤碱解氮含量差异显著( $F=2.444$ ;  $Sig.=0.013$ ), pH<4.5 组的植烟土壤碱解氮含量相对较

高, pH>8.0 组的土壤碱解氮含量相对较低。不同 pH 组之间植烟土壤碱解氮含量适宜样品比例以 pH 6.5 ~ 7.0 组最高, pH>8.0 组最低; 除 pH>8.0 组外, 其他各 pH 组的碱解氮适宜样本比例均大于 50%。

表 5 不同 pH 组的土壤碱解氮含量及分布  
Table 5 Statistics and suitability frequency distribution of alkaline hydrolytic nitrogen contents under different soil pH groups

pH 组	均值±标准差 (mg/kg)	变幅 (mg/kg)	变异系数 (%)	适宜性分布频率 (%)				
				极低	低	适宜	高	极高
<4.5	167.81 ± 42.13 a	58.60 ~ 234.40	25.10	3.57	3.57	57.14	35.71	0.00
4.5 ~ 5.0	149.97 ± 44.32 b	49.10 ~ 248.10	29.55	0.89	19.56	52.44	25.78	1.33
5.0 ~ 5.5	146.25 ± 44.33 bc	41.80 ~ 257.90	30.31	4.43	13.79	59.61	20.20	1.97
5.5 ~ 6.0	149.01 ± 36.77 b	51.40 ~ 253.40	24.68	1.31	11.76	71.24	15.03	0.65
6.0 ~ 6.5	139.64 ± 41.63 bc	44.10 ~ 249.60	29.81	0.70	25.35	60.56	11.27	2.11
6.5 ~ 7.0	145.11 ± 40.05 bc	34.20 ~ 257.90	27.60	0.81	15.45	68.29	13.82	1.63
7.0 ~ 7.5	144.99 ± 40.21 bc	57.10 ~ 255.70	27.73	2.36	18.90	61.42	15.75	1.57
7.5 ~ 8.0	140.72 ± 39.96 c	51.00 ~ 249.60	28.40	0.95	22.86	59.05	16.67	0.48
>8.0	129.12 ± 41.98 c	73.80 ~ 205.40	32.51	0.00	38.46	46.15	15.38	0.00

2) 土壤 pH 与碱解氮含量的分组回归。将分组后的土壤碱解氮含量与土壤 pH 进行直线回归, 其方程为  $\hat{y}_{\text{碱解氮}} = -6.391x + 185.6$  ( $R^2 = 0.663^*$ ), 表明土壤碱解氮含量有随 pH 升高而降低的趋势, 这种关系达到了显著性。将分组后的土壤碱解氮含量与土壤 pH 进行曲线拟合(图 2), 其最优回归方程为  $\hat{y}_{\text{碱解氮}} = -3.793x^3 + 71.85x^2 - 450.2x + 1077$  ( $R^2 = 0.908^{**}$ )。表明植烟土壤 pH 与碱解氮含量存在明显的曲线关系。当 pH<5.5 时, 随土壤 pH 升高而碱解氮含量快速下降; 当 pH 在 5.5 ~ 8.0 时, 随土壤 pH 升高而碱解氮含量缓慢下降; 当 pH>8.0 时, 随土壤 pH 升高而碱解氮含量快速下降。

2.3.3 与有效磷的关系 1) 不同 pH 组的土壤有效磷含量分布。分别统计不同 pH 组的土壤有效磷含量平均值及适宜性样本分布频率, 结果见表 6。9 个 pH 组的

植烟土壤有效磷含量平均值在 26.19 ~ 41.08 mg/kg。不同 pH 组的植烟土壤有效磷含量差异显著( $F=2.365$ ;  $Sig.=0.016$ )。pH<4.5 组的植烟土壤有效磷含量显著高于其他各组。不同 pH 组之间植烟土壤有效磷含量适宜样品比例以 pH 6.5 ~ 7.0 组最高, pH>8.0 组最低。

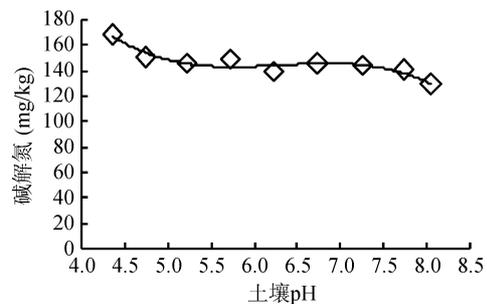


图 2 植烟土壤 pH 与碱解氮含量的关系  
Fig. 2 Relationship between pH and alkaline hydrolytic nitrogen content of tobacco-growing soil

表 6 不同 pH 组的土壤有效磷含量及分布  
Table 6 Statistics and suitability frequency distribution of available phosphorus content under different soil pH groups

pH 组	均值±标准差 (mg/kg)	变幅 (mg/kg)	变异系数 (%)	适宜性分布频率 (%)				
				极低	低	适宜	高	极高
<4.5	41.08 ± 21.41 a	6.18 ~ 78.80	52.13	0.00	4.00	36.00	16.00	44.00
4.5 ~ 5.0	30.93 ± 20.76 b	1.08 ~ 89.80	67.13	6.70	8.76	39.69	15.98	28.87
5.0 ~ 5.5	28.61 ± 20.44 b	0.84 ~ 89.50	71.45	8.90	9.95	41.88	16.23	23.04
5.5 ~ 6.0	26.19 ± 18.89 b	0.89 ~ 82.70	72.12	9.93	13.48	41.13	12.06	23.40
6.0 ~ 6.5	26.70 ± 19.59 b	1.36 ~ 88.80	73.37	8.46	15.38	39.23	14.62	22.31
6.5 ~ 7.0	26.69 ± 20.04 b	2.49 ~ 81.70	75.08	6.14	14.91	46.49	9.65	22.81
7.0 ~ 7.5	28.28 ± 21.10 b	1.17 ~ 87.20	74.61	4.63	14.81	42.59	12.96	25.00
7.5 ~ 8.0	30.97 ± 19.71 b	1.26 ~ 87.60	63.64	4.10	9.23	43.08	14.36	29.23
>8.0	27.84 ± 16.93 b	4.31 ~ 52.50	60.80	7.69	15.38	30.77	15.38	30.77

2)土壤 pH 与有效磷含量的分组回归。将分组后的土壤有效磷含量与土壤 pH 进行直线回归,其方程为  $\hat{y}_{\text{速效磷}} = -1.784x + 40.82 (R^2 = 0.260)$ ,表明土壤有效磷含量有随 pH 升高而降低的趋势,但这种关系没有达到显著性。将分组后的土壤有效磷含量与土壤 pH 进行曲线拟合(图 3),其最优回归方程为  $\hat{y}_{\text{速效磷}} = -0.897x^5 + 28.02x^4 - 347.6x^3 + 2143x^2 - 6575x + 8059 (R^2 = 0.989^{**})$ 。表明植烟土壤 pH 与有效磷含量存在明显的曲线关系。当 pH<5.5 时,随土壤 pH 升高而有效磷含量快速下降;当 pH 在 5.5~8.0 时,随土壤 pH 升高而有效磷含量缓慢升高;当 pH 大于 8.0 时,随土壤 pH 升高而有效磷含量快速下降。

2.3.4 与速效钾含量的关系 1)不同 pH 组的土壤速效钾含量分布。分别统计不同 pH 组的土壤速效钾含量平均值及适宜性样本分布频率,结果见表 7。9

个 pH 组的植烟土壤速效钾含量平均值在 182.12 ~ 224.23 mg/kg。不同 pH 组的植烟土壤速效钾含量差异不显著( $F=1.217$ ; Sig.=0.285)。不同 pH 组之间植烟土壤速效钾含量适宜样品比例较低,均在 30% 以下。

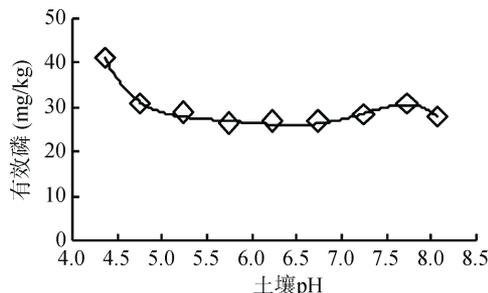


图 3 植烟土壤 pH 与有效磷含量的关系  
Fig. 3 Relationship between pH and available phosphorus content of tobacco-growing soil

表 7 不同 pH 组的土壤速效钾含量及分布  
Table 7 Statistics and suitability frequency distribution of available potassium content under different soil pH groups

pH 组	均值±标准差 (g/kg)	变幅 (g/kg)	变异系数 (%)	适宜性分布频率 (%)				
				极低	低	适宜	高	极高
<4.5	213.95 ± 148.73 a	45.90 ~ 514.30	69.52	18.52	37.04	3.70	18.52	22.22
4.5 ~ 5.0	207.29 ± 120.68 a	35.90 ~ 520.00	58.22	12.44	30.67	25.78	15.56	15.56
5.0 ~ 5.5	185.10 ± 114.04 a	28.00 ~ 519.30	61.61	19.80	30.96	22.84	16.24	10.15
5.5 ~ 6.0	182.12 ± 102.91 a	37.90 ~ 514.30	56.51	15.86	33.10	22.07	20.69	8.28
6.0 ~ 6.5	199.37 ± 113.05 a	39.40 ~ 519.30	56.70	12.41	32.12	22.63	21.90	10.95
6.5 ~ 7.0	200.66 ± 112.20 a	39.40 ~ 520.00	55.92	13.33	30.83	25.00	19.17	11.67
7.0 ~ 7.5	204.37 ± 107.19 a	49.40 ~ 519.30	52.45	9.92	28.10	27.27	21.49	13.22
7.5 ~ 8.0	206.10 ± 100.64 a	50.00 ~ 489.30	48.83	8.46	31.34	27.36	25.37	7.46
>8.0	224.23 ± 145.81 a	44.40 ~ 510.00	65.03	16.67	25.00	8.33	33.33	16.67

2)土壤 pH 与速效钾含量的分组回归。将分组后的土壤速效钾含量与土壤 pH 进行直线回归,其方程为  $\hat{y}_{\text{速效钾}} = 3.253x + 182.3 (R^2 = 0.107)$ ,表明土壤速效钾含量有随 pH 升高而升高的趋势,但这种关系没有达到显著性。将分组后的土壤速效钾含量与土壤 pH 进行曲线拟合(图 4),其最优回归方程为  $\hat{y}_{\text{速效钾}} = 4.288x^5 - 131x^4 + 1581x^3 - 9392x^2 + 27451x - 31354 (R^2 = 0.957^{**})$ 。表明植烟土壤 pH 与速效钾含量存在明显的曲线关系。当 pH<5.5 时,随土壤 pH 升高而速效钾含量快速下降;当在 5.5~8.0 时,随土壤 pH 升高而速效钾含量缓慢升高;当 pH>8.0 时,随土壤 pH 升高而速效钾含量快速升高。

### 3 讨论

虽然烟草对土壤 pH 适应性很强,但一般认为种植在土壤 pH 5.5 ~ 7.0 的烟叶质量较好。仅从湘西州

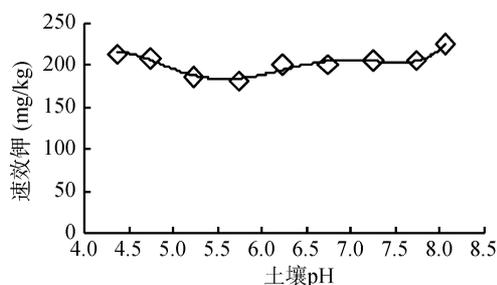


图 4 植烟土壤 pH 与速效钾含量的关系  
Fig. 4 Relationship between pH and available potassium content of tobacco-growing soil

植烟土壤 pH 平均值 6.12 看,呈弱酸性至中性,能满足优质烟叶生产的要求。但有 20.77% 的样品土壤 pH<5.0 为强酸性土壤,还有 18.20% 的样品土壤 pH>8.0 为强碱性土壤,其土壤 pH 严重偏离适宜范围,要引起重视。对于强酸性土壤应采用适量施用石灰或白云石或其他碱性肥料,对部分强碱性土壤可通

过增施石膏粉或施用酸性肥料定向改良,调节土壤 pH 至合适范围以满足优质烟叶生产的需要。

优质烤烟生产要求植烟土壤有机质含量在 20 ~ 30 g/kg 的中等范围为宜<sup>[19-21]</sup>。从湘西植烟土壤有机质含量平均值(28.42 g/kg) 来看,是适宜烤烟种植的,但变幅(变异系数 36.40%)较大,仍有近 20% 的植烟土壤有机质含量低于 20 g/kg。因此,针对部分有机质含量偏低的植烟土壤,生产上应注意加强有机肥的施用,采用秸秆还田或冬种绿肥改良土壤,亦可在烤烟种植当季施用活性有机肥料或腐熟的有机肥。关于植烟土壤 pH 与有机质含量的关系,胡向丹等<sup>[4]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与有机质含量不存在显著相关性,邹凯等<sup>[3]</sup>和许自成等<sup>[9]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与有机质含量为显著正相关,王晖等<sup>[12]</sup>研究认为有机质含量均随 pH 的升高而降低,这些与本研究结果还是有区别的。本研究认为植烟土壤 pH 与有机质含量不是简单的线性关系,而是在不同的土壤 pH 范围表现不同的量化关系。当 pH<5.5 时,随土壤 pH 升高而有机质含量快速下降;当 pH 在 5.5 ~ 8.0 时,随土壤 pH 升高而有机质含量缓慢升高;当 pH>8.0 时,随土壤 pH 升高而有机质含量快速下降。

氮是决定烟草产量和质量的重要营养元素之一,土壤碱解氮含量能较好地反映土壤氮素供应状况和土壤氮素释放速率<sup>[21-22]</sup>。湘西烟区土壤碱解氮含量平均值 145.63 mg/kg,总体上处于适宜水平,但仍有近 20% 的植烟土壤碱解氮含量处在较低水平(<110 mg/kg),可见湘西烟区耕层土壤碱解氮含量处于中等至略偏低水平。因此,在烤烟生产过程中要注意氮肥的有效施用。关于植烟土壤 pH 与碱解氮含量的关系,邹凯等<sup>[3]</sup>和胡向丹等<sup>[4]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与碱解氮含量不存在显著相关性,王晖等<sup>[12]</sup>研究认为碱解氮含量均随 pH 的升高而降低。本研究结果植烟土壤碱解氮含量随土壤 pH 升高而降低,但不是简单的线性关系,而是在不同的土壤 pH 范围表现不同的下降速率。当 pH<5.5 时,随土壤 pH 升高而碱解氮含量快速下降;当 pH 在 5.5 ~ 8.0 时,随土壤 pH 升高而碱解氮含量缓慢下降;当 pH>8.0 时,随土壤 pH 升高而碱解氮含量快速下降。

有效磷是土壤肥力的主要指标之一。烤烟对于磷素供应的要求是足而不过多,过多的磷素营养对于烟叶品质有显著的不利影响<sup>[23]</sup>。湘西烟区植烟土壤耕层有效磷含量平均值为 28.94 mg/kg,虽然在适宜范围内,但有 40% 的土壤样品有效磷含量偏高(>30.0 mg/kg)。因此,在烤烟生产中,应根据不同土壤类型、土壤供磷能力和土壤有效磷含量状况,采取针对性的措施,

调整配方中磷素比例,适当施用磷肥。关于植烟土壤 pH 与有效磷含量的关系,胡向丹等<sup>[4]</sup>和王晖等<sup>[12]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与土壤有效磷含量不存在显著相关性,邹凯等<sup>[3]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与土壤有效磷含量呈显著负相关,许自成等<sup>[9]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与土壤有效磷含量呈显著正相关,可见不同研究者的样本不同,其研究结果存在较大差异。本研究认为植烟土壤 pH 与有效磷含量存在明显的曲线关系,当 pH<5.5 时,随土壤 pH 升高而有效磷含量快速下降;当 pH 在 5.5 ~ 8.0 时,随土壤 pH 升高而有效磷含量缓慢升高;当 pH>8.0 时,随土壤 pH 升高而有效磷含量快速下降。

烟叶含钾量充足对卷烟制品的安全性都具有良好作用<sup>[24]</sup>。土壤速效钾含量常被作为判断植烟土壤钾素含量丰缺的重要指标<sup>[26-27]</sup>。湘西烟区植烟土壤速效钾含量平均值为 198.76 mg/kg,虽在适宜范围内,但有近 45% 的土壤样品速效钾含量偏低。因此,在烤烟生产上,对速效钾含量偏低的植烟土壤应重视钾肥施用,特别是在烟叶生长后期应适当补施钾肥。关于植烟土壤 pH 与速效钾含量的关系,王晖等<sup>[12]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与土壤速效钾含量间的相关性不显著,邹凯等<sup>[3]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与土壤速效钾含量呈显著正相关,胡向丹等<sup>[4]</sup>和许自成等<sup>[9]</sup>研究认为植烟土壤 pH 与土壤速效钾含量呈显著负相关,尤开勋等<sup>[24]</sup>研究认为宜昌市植烟土壤在土壤酸化过程中,养分钾的有效性大幅度提高。本研究认为植烟土壤 pH 与速效钾含量为曲线关系,当 pH<5.5 时,随土壤 pH 升高而速效钾含量快速下降;当在 5.5 ~ 8.0 时,随土壤 pH 升高而速效钾含量缓慢升高;当 pH>8.0 时,随土壤 pH 升高而速效钾含量快速升高。不同研究者的结果差异,主要在于样本的数量所处的土壤 pH 范围不同所致。

植烟土壤 pH 与主要养分含量有着密切关系,但由于不同研究者的样本土壤 pH 所处的范围不同,主要土壤养分的含量不同,加之样本数量的限制,如果采用简单相关分析,其研究结果就有可能存在差异,简单相关分析方法不能真实反映两个相关变量间的量化关系。采用分组回归方法研究表明,湘西烟区土壤 pH 与主要养分的关系为曲线关系,当 pH<5.5 时或 pH>8.0 时,随土壤 pH 变化,主要养分含量变化较大;当 pH 在 5.5 ~ 8.0 时,随土壤 pH 变化,主要养分变化平缓。

## 4 结论

湘西烟区植烟土壤 pH 平均值为 6.12,有 20.77%

样品偏酸和 18.20% 的样品偏碱；有机质和碱解氮含量的平均值分别为 28.42 g/kg 和 145.63 mg/kg，总体上处于适宜水平；有效磷含量的平均值为 28.94 mg/kg，有近 40% 样品偏高；速效钾含量平均值为 198.76 mg/kg，有近 45% 的样品偏低。主产烟县植烟土壤 pH 和养分差异极显著。

湘西植烟土壤主要养分含量与 pH 之间呈现曲线关系；当 pH<5.5 时或 pH>8.0 时，随土壤 pH 变化，主要养分含量变化较大；当 pH 在 5.5~8.0 时，随土壤 pH 变化，主要养分含量变化平缓。当 pH<5.5 时，随土壤 pH 升高，有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量快速下降；当 pH 在 5.5~8.0 时，随土壤 pH 升高，有机质、有效磷和速效钾含量缓慢升高，碱解氮含量缓慢下降；当 pH>8.0 时，随土壤 pH 升高，有机质、碱解氮、有效磷含量快速下降，速效钾含量快速升高。

#### 参考文献：

- [1] 曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991: 38-43
- [2] 左兴俊, 徐树建. 临沂烟区土壤养分状况和烟叶质量及关系分析[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(5): 49-52
- [3] 邹凯, 邓小华, 李永富, 等. 邵阳植烟土壤 pH 时空特征及其与土壤养分的关系[J]. 北京农学院学报, 2014, 29(1): 6-9
- [4] 胡向丹, 邓小华, 王丰, 等. 黔西南州植烟土壤 pH 分布特征及其与土壤养分的关系[J]. 安徽农业大学学报, 2014, 41(6): 1070-1074
- [5] 罗华元, 王绍坤, 常寿荣, 等. 烤烟钾含量与土壤 pH、有机质和速效钾含量的关系[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(3): 29-32
- [6] Tephenson M G, Parker M B. Manganese and soil pH effects on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Tobacco Science, 1987(31): 104
- [7] 张国, 朱启法, 郭熙盛, 等. 皖南烟区白云石粉对酸性植烟土壤的改良研究[J]. 土壤, 2014, 46(3): 534-538
- [8] 邓小华, 蔡兴, 张明发, 等. 喀斯特地区湘西州植烟土壤 pH 分布特征及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6): 1-6
- [9] 许自成, 王林, 肖汉乾. 湖南烟区土壤 pH 分布特点及其与土壤养分的关系[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 830-834
- [10] 梁颂捷, 朱其清. 福建植烟土壤 pH 与土壤有效养分的相关性[J]. 中国烟草科学, 2001, 22(1): 25-27
- [11] 符云鹏, 王小翠, 陈雪, 等. 毕节烟区土壤 pH 值分布状况及与土壤养分的关系[J]. 土壤, 2013, 45(1): 46-51
- [12] 王晖, 邢小军, 许自成. 攀西烟区紫色土 pH 值与土壤养分的相关关系[J]. 中国土壤与肥料, 2006(6): 19-22
- [13] 邓小华, 杨丽丽, 陆中山, 等. 湘西烟叶质量风格特色感官评价[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(5): 22-27
- [14] 邓小华, 周米良, 田茂成, 等. 湘西州植烟气候与国内主要烟区比较及相似性分析[J]. 中国烟草学报, 2012, 18(3): 28-33
- [15] 黎娟, 邓小华, 王建波, 等. 喀斯特地区植烟土壤有效硼含量分布及其影响因素——以湘西州烟区为例[J]. 土壤, 2013, 45(6): 1055-1061
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 166-187
- [17] 陈江华, 李志宏, 刘建利, 等. 全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价[J]. 中国烟草学报, 2004.11(3): 14-18
- [18] 罗建新, 石丽红, 龙世平. 湖南主产烟区土壤养分状况与评价[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2005, 31(4): 376-380
- [19] 王丰, 邓小华, 王少先, 等. 黔西南州植烟土壤有机质含量及与其他土壤养分的关系[J]. 山地农业生物学报, 2014, 33(5): 63-67
- [20] 邓小华, 邓井青, 宾波, 等. 邵阳植烟土壤有机质含量时空特征及与其他土壤养分的关系[J]. 烟草科技, 2014(6): 82-86
- [21] 王树会, 邵岩, 李天福, 等. 云南植烟土壤有机质与氮含量的研究[J]. 中国土壤与肥料, 2006(5): 18-20
- [22] 李永富, 邓小华, 邹凯, 等. 湖南邵阳烟区耕层土壤碱解氮含量分布及变化趋势[J]. 北京农学院学报, 2013, 28(4): 22-25
- [23] 王艳丽. 豫中褐土区磷肥用量对烤烟生长发育和产质量的影响[D]. 河南农业大学, 2005
- [24] 邓小华, 陈冬林, 周冀衡, 等. 湖南烟区烤烟钾含量变化及聚类分析[J]. 烟草科技, 2008(12): 52-56
- [25] 邓小华, 周冀衡, 周清明, 等. 不同焦油量烤烟化学成分差异[J]. 中国烟草学报, 2011, 17(2): 1-7
- [26] 尤开勋, 秦拥政, 赵一博, 等. 宜昌市植烟土壤酸化特点与成因分析[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(5): 2737-2739
- [27] 邓小华, 杨丽丽, 周米良, 等. 湘西喀斯特区植烟土壤速效钾含量分布及影响因素[J]. 山地学报, 2013, 31(5): 519-526

## pH and Main Nutrients of Tobacco-growing Soils and Their Relations in Western Hunan

DENG Xiaohua<sup>1</sup>, ZHANG Yao<sup>1</sup>, TIAN Feng<sup>2</sup>, ZHANG Liming<sup>2\*</sup>, CAI Yunfan<sup>2</sup>,  
TIAN Minghui<sup>2</sup>, ZHANG Mingfa<sup>2</sup>

(1 College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2 Tobacco Monopoly Bureau of Xiangxi Autonomous Prefecture, Jishou, Hunan 416000, China)

**Abstract:** 1 242 soil samples were collected in 2015 from tobacco-growing areas in western Hunan, and the suitability distribution, county regional distribution of tobacco-growing soil pH, organic matter, hydrolytic nitrogen, available phosphorus and available potassium as well as the quantitative relations between soil pH and soil nutrients were studied. The results were as follows: 1) Soil pH was generally suitable for tobacco cultivation, with a mean of 6.12. pH of 20.77% of the soil samples was less than 5.0, while pH of 18.20% of the soil samples was greater than 7.5. Mean contents of organic matter and hydrolytic nitrogen were 28.42 g/kg and 145.63 mg/kg, respectively, generally suitable for tobacco cultivation. Mean content of available phosphorus was 28.94 mg/kg, available phosphorus content of about 40% of the soil samples was higher for high quality tobacco cultivation. Mean content of available potassium was 198.76 mg/kg, available potassium content of about 45% of the soil samples was lower for high quality tobacco cultivation. 2) There were extremely significant differences in pH and soil nutrients among different counties. 3) Soil nutrients had curvilinear relationship with pH, when pH<5.5 or >8.0, soil nutrient contents changed rapidly with pH change, but when pH was 5.5–8.0, soil nutrient contents changed slowly with pH change. When pH<5.5, contents of organic matter, hydrolytic nitrogen, available phosphorus and available potassium decreased rapidly with pH increase; when pH was 5.5–8.0, contents of organic matter, available phosphorus and available potassium increased slowly but content of hydrolytic nitrogen decreased slowly with pH increase; and when pH>8.0, contents of organic matter, hydrolytic nitrogen and available phosphorus decreased rapidly but content of available potassium increased rapidly with pH increase.

**Key words:** Tobacco-growing soil; pH; Soil nutrients; Distribution characteristics; Relationship