

喀斯特地区植烟土壤有效硼含量分布及其影响因素^① ——以湘西州烟区为例

黎娟¹, 邓小华^{1*}, 王建波¹, 覃勇¹, 刘卉¹, 田峰², 张黎明²

(1 湖南农业大学, 长沙 410128; 2 湘西自治州烟草专卖局, 湖南吉首 416000)

摘要: 采集湘西州 488 个植烟土壤样本, 采用传统统计学和地统计学方法分析了湘西州植烟土壤有效硼含量分布及其影响因素。结果表明: 湘西州植烟土壤有效硼含量总体上略偏高, 平均值为 0.728 mg/kg, 变幅在 0.05 ~ 2.21 mg/kg, 变异系数为 53.46%, 处于适宜范围内的样本占 30.00%。植烟土壤有效硼含量在空间分布上呈斑块状分布态势, 永顺县的西部为一个低值区, 东部为一个高值区。蔬菜和油菜前茬的土壤有效硼含量相对较高; 黄棕壤土壤的有效硼含量极显著地高于红灰土和红壤土类型。有效硼含量有随海拔、pH、土壤有机质含量升高而升高的趋势。

关键词: 湘西州烟区; 喀斯特; 植烟土壤; 有效硼; 空间分布

中图分类号: S572.06; S159

湘西土家族苗族自治州(简称湘西州)位于 109°10' ~ 110°23'E, 27°44' ~ 29°38'N, 地处云贵高原向东部平原过渡区域的武陵山区, 区内喀斯特地貌发育良好, 具有典型的岩溶性土壤类型, 属亚热带季风性湿润气候区。年平均气温为 16.0℃ ~ 17.0℃, 年降水量 1 284 ~ 1 417 mm, 年日照时数为 1 152 ~ 1 391 h, 日平均气温 ≥ 10℃ 积温 4 995℃ ~ 5 340℃, 持续天数 237 ~ 245 天^[1-2]。烟叶质量一直得到省内外卷烟工业企业青睐, 常年产烟 2.25 万 t 左右, 是湖南省第三大烟叶产区。硼是烟草生长必需的微量元素之一, 在烟株的生理生化过程中起着重要的作用, 对烟草生长发育、烟叶产量和质量有着重要影响^[3-4]。硼以 BO_3^{3-} 形态进入烟株体内, 参与尿嘧啶和叶绿素的合成, 影响碳水化合物的代谢运输^[4]。受烟株缺硼影响最大的是代谢旺盛的细胞和组织, 顶芽枯死, 生长停滞, 枝叶丛生, 叶片粗糙、皱缩、卷曲、增厚变脆, 叶柄增粗变短; 硼营养过量, 烟株变矮、营养生长期缩短、生殖生长期提前, 不利于烟叶产量和质量的提高^[4-5]。张春等^[6]、秦建成^[7]和张薇等^[8]、张颖^[9]、谢鹏飞等^[10]分别对云南曲靖、重庆市、福建、湖南宁乡植烟土壤硼含量状况进行了研究。但系统分析湘西州植烟土壤有效硼含量特征, 特别是植烟土壤有效硼空间分布及其影响因素的研究还未见报道^[11-14]。鉴于此, 本研究

以湘西州 7 个烟区的喀斯特植烟土壤为材料, 研究喀斯特地区土壤有效硼含量分布状况及空间分布特征, 并侧重分析了前茬作物、土壤类型、海拔高度、pH、有机质等因素对其影响, 以期为湘西州的植烟土壤硼素养分管理以及特色优质烟叶开发提供理论依据。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

植烟土壤样品采集于湘西州主要烟区的 7 个植烟县(永顺县、龙山县、凤凰县、保靖县、泸溪县、花垣县、古丈县)81 个乡镇中的烟叶专业村和具有烟叶种植发展潜力的 375 个村, 样品采集的同时用 GPS 确定采用点地理坐标和海拔高度。

1.2 样品采集

样品采集于 2011 年进行, 采集具有代表性的耕作层土样 488 个。种植面积在 20 hm² 左右采集 1 个土样。采集时间均统一选在烤烟移栽前的 3 月份完成, 同时避开雨季。采用土钻钻取, 采多点混合土样, 取耕层土样深度为 20 cm。每个地块取 10 ~ 15 个小样点(即钻土样)土壤, 制成 1 个 0.5 kg 左右的混合土样。田间采样登记编号, 经过风干、磨细、过筛、混匀等预处理后, 装瓶备测定分析用。室内样品检测在湖南农业大学资环学院进行。

基金项目: 湖南省烟草专卖局项目(13-14ZDAa03)和国家烟草专卖局特色优质烟叶开发重大专项(ts-02)资助。

* 通讯作者(yzdxh@163.com)

作者简介: 黎娟(1981—), 女, 硕士, 讲师, 主要从事烟草种植技术研究。E-mail: adalee619@163.com

1.3 土壤测定方法

参照参考文献[15], 植烟土壤有效硼采用甲亚胺比色法测定。同时, 采用重铬酸钾容量法测定植烟土壤有机质, 采用 pH 计法(水土比为 1:2.5)测定 pH。

1.4 统计分析方法

1.4.1 植烟土壤有效硼含量分级 参照陈江华等^[16]、罗建新等^[17]建立的植烟土壤养分分级方法, 考虑到湘西州植烟土壤主要为旱地, 将植烟土壤有效硼含量分为极低(< 0.15 mg/kg)、低(0.15 ~ 0.30 mg/kg)、适宜(0.31 ~ 0.60 mg/kg)、高(0.61 ~ 1.00 mg/kg)、很高(>1.00 mg/kg)5 级。

1.4.2 植烟土壤有效硼含量空间分布图绘制 采用 SPSS17.0 软件中的探索分析法(explore)剔除异常离群数据, 利用 ArcGIS9 软件的地统计学模块(geostatistical analyst), 以 IDW 法(Inverse distance weighting, 反距离加权插值)插值绘制湘西州植烟土壤有效硼含量的空间分布图^[18]。

2 结果与分析

2.1 湘西州植烟土壤有效硼含量分布

2.1.1 有效硼含量总体分布特征 由表 1 可知, 湘西州植烟土壤有效硼含量总体上属偏高水平, 平均值为 0.728 mg/kg, 变幅为 0.05 ~ 2.21 mg/kg, 变异系数

为 53.46%, 属强变异。7 个主产烟县植烟土壤有效硼含量平均在 0.60 ~ 0.84 mg/kg, 按从高到低依次为: 龙山县 > 凤凰县 > 古丈县 > 泸溪县 > 保靖县 > 花垣县 > 永顺县; 其中, 只有花垣县和永顺县植烟土壤有效硼含量总体上处于适宜水平, 其他各县总体上处于偏高水平。方差分析结果表明, 不同县之间的植烟土壤有效硼含量差异达极显著水平($F = 7.392$; sig. = 0.000), 经 Duncan 多重比较, 凤凰县和龙山县植烟土壤有效硼含量极显著高于花垣县和永顺县。7 个县植烟土壤有效硼含量的变异系数为 22.11% ~ 79.39%, 为中等强度变异至强变异, 从大到小排序为: 永顺县 > 保靖县 > 花垣县 > 龙山县 > 古丈县 > 凤凰县 > 泸溪县。其中, 永顺县和保靖县植烟土壤有效硼含量变异系数在 50% 以上, 属强变异。

2.1.2 有效硼丰缺状况 由图 1 可知, 湘西州植烟土壤有效硼含量处于适宜范围内的样本占 30.00%, “低”的植烟土壤样本为 9.38%, “极低”的植烟土壤样本为 2.71%, “高”的样本为 38.33%, “很高”的植烟土壤样本为 19.58%。由此可见, 湘西州大部分植烟土壤的有效硼含量较高, 但也有少部分植烟土壤有效硼低于临界含量, 硼的供应不足, 不能满足优质烤烟正常生长发育对硼素需求。因此, 对部分缺硼的植烟土壤应重视硼肥的施用。

表 1 湘西州植烟土壤有效硼含量(mg/kg)

Table 1 Contents of available boron in Xiangxi tobacco-growing soils

区域	样本数(个)	均值	标准差	极小值	极大值	偏度	峰度	变异系数(%)
保靖	38	0.656 AB	0.34	0.17	2.10	2.02	7.75	52.05
凤凰	50	0.840 A	0.32	0.27	2.11	1.06	3.67	38.49
古丈	62	0.818 AB	0.32	0.06	1.71	0.26	0.45	39.30
花垣	42	0.598 B	0.27	0.10	1.33	0.92	1.20	44.77
龙山	132	0.842A	0.35	0.16	2.15	0.80	0.76	41.83
泸溪	18	0.777 AB	0.17	0.54	1.12	0.52	-0.64	22.11
永顺	146	0.593 B	0.47	0.05	2.21	1.71	2.74	79.39
湘西州	488	0.728	0.39	0.05	2.21	1.05	1.70	53.46

注: 表中大写字母不同表示区域间差异达到 $P < 0.01$ 显著水平。

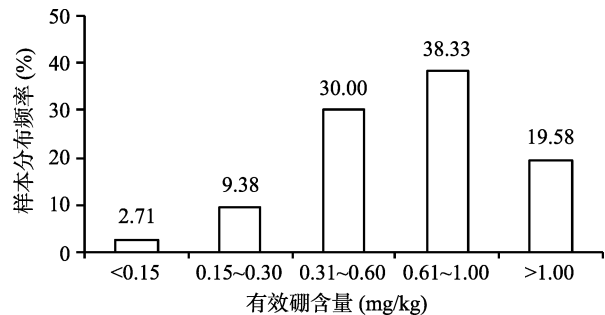


图 1 湘西州植烟土壤有效硼分布频率

Fig. 1 Distribution frequency of available boron contents in Xiangxi tobacco-growing soils

2.1.3 有效硼含量空间分布 为进一步了解湘西州植烟土壤有效硼含量的生态地理分布差异, 采用 ArcGIS9 软件绘制了湘西州植烟土壤有效硼含量空间分布图。由图 2 可知, 湘西州植烟土壤有效硼含量总体上呈斑块状分布态势。以有效硼含量 0.59 ~ 0.97 mg/kg 为主要分布面积。永顺县的西部为一个低值区, 永顺县的东部为一个植烟土壤有效硼含量高值区。

2.2 影响植烟土壤有效硼含量的因素

2.2.1 不同前茬作物 分别统计主要前茬(10 个样

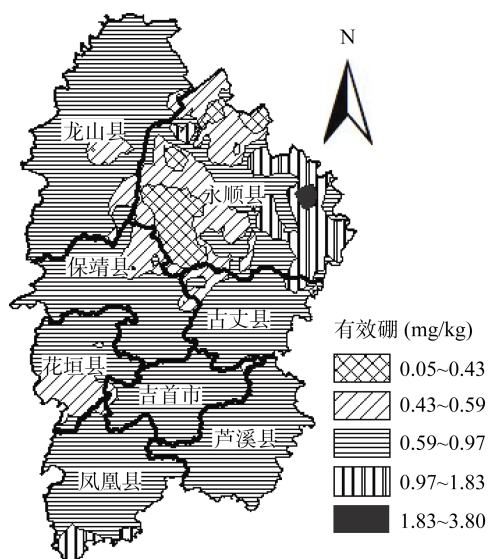


图 2 湘西州植烟土壤有效硼含量空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of available boron contents in Xiangxi tobacco-growing soils

本以上)作物的植烟土壤有效硼含量的平均值和适宜样本比例,结果见图 3。7 个主要前茬作物的植烟土壤有效硼含量平均在 0.56 ~ 0.93 mg/kg,按从高到低依次为:蔬菜 > 油菜 > 绿肥 > 烤烟 > 水稻 > 玉米 > 西瓜。方差分析结果表明,不同前茬作物的植烟土壤有效硼含量差异达极显著水平($F = 15.242$; $\text{sig.} = 0.000$),经 Duncan 多重比较,蔬菜和油菜为前茬的土壤有效硼含量极显著地高于其他前茬作物的土壤,烤烟、绿肥和水稻为前茬的土壤有效硼含量极显著高于西瓜和玉米为前茬的土壤。油菜种植一般追施硼肥,而蔬菜种植一般追施含有微量元素的蔬菜专用复合肥,有可能导致这两种前茬作物的土壤有效硼含量高。在前茬为玉米或西瓜的土壤上种植烤烟要注意补施硼肥。7 个主要前茬作物的植烟土壤有效硼含量适宜样本比例在 14.28% ~ 37.24%,不同前茬作物之间差异较大,按从高到低依次为:玉米 > 西瓜 > 烤烟 > 油菜 > 蔬菜 > 水稻 > 绿肥。

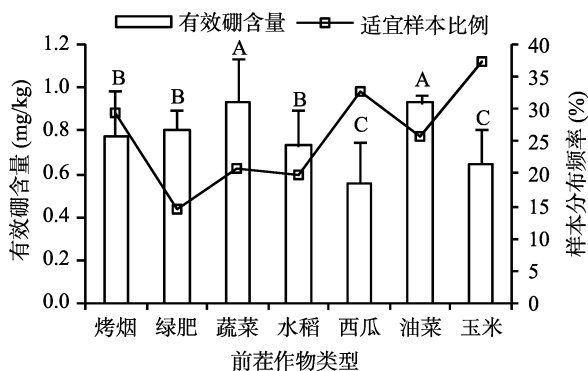
(图中大写字母不同表示差异达到 $P < 0.01$ 显著水平,下同)

图 3 湘西州不同前茬作物的植烟土壤有效硼含量

Fig. 3 Contents of available boron in different previous crop planting soil types in Xiangxi

2.2.2 植烟土壤类型 分别统计主要植烟土壤类型有效硼含量的平均值和适宜样本比例,结果见图 4。6 个主要植烟土壤类型的有效硼含量平均在 0.54 ~ 0.94 mg/kg,按从高到低依次为:黄棕壤 > 水稻土 > 黄壤 > 石灰土 > 红灰土 > 红壤。方差分析结果表明,不同植烟土壤类型的有效硼含量差异达极显著水平($F = 7.332$; $\text{sig.} = 0.000$),经 Duncan 多重比较,黄棕壤土壤的有效硼含量极显著地高于红灰土和红壤土壤类型。6 个主要植烟土壤类型的有效硼含量适宜样本比例在 12.28% ~ 45.45%,不同土壤类型之间差异较大,按从高到低依次为:红灰土 > 石灰土 > 红壤 > 水稻土 > 黄壤 > 黄棕壤。

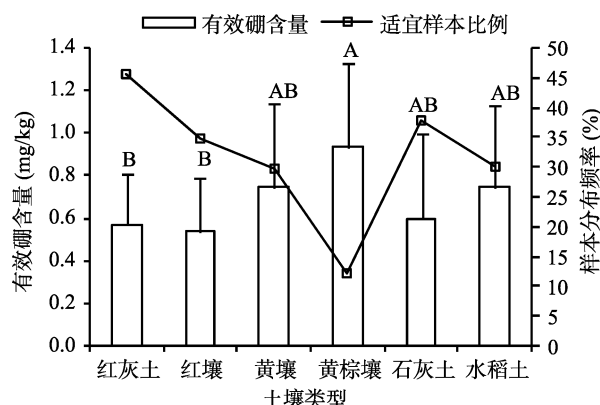


图 4 湘西州不同植烟土壤类型有效硼含量

Fig. 4 Contents of available boron in different tobacco-growing soil types in Xiangxi

2.2.3 海拔高度 将土壤样本采集地点的海拔按 < 400 m, $400 \sim 600$ m, $600 \sim 800$ m, $800 \sim 1000$ m, > 1000 m 分为 5 个海拔高度组,分别统计不同海拔高度组的植烟土壤有效硼含量的平均值和适宜样本比例,结果见图 5。5 个海拔高度组的植烟土壤有效硼含量平均在 0.65 ~ 0.98 mg/kg,植烟土壤有效硼含量有随海拔高度的升高而升高的趋势(回归方程为 $y_{\text{有效硼}} = 0.048x_{\text{海拔}} + 0.640$, $R^2 = 0.292^{**}$)。方差分析结果表明,不同海拔高度的植烟土壤有效硼含量差异达极显著水平($F = 6.930$; $\text{sig.} = 0.000$), > 1000 m 海拔高度组植烟土壤有效硼含量显著高于其他各组,而其他各组差异不显著。5 个海拔高度组的植烟土壤有效硼含量适宜样本比例在 10.00% ~ 35.43%。不同海拔高度组之间差异较大,以 $400 \sim 600$ m 海拔高度组的土壤有效硼含量适宜样本比例最高, > 1000 m 海拔高度组的土壤有效硼含量适宜样本比例最低。

2.2.4 植烟土壤 pH 将土壤样本的 pH 按 < 4.5 , $4.5 \sim 5.0$, $5.0 \sim 5.5$, $5.5 \sim 6.0$, $6.0 \sim 6.5$, $6.5 \sim 7.0$, > 7.0 分为 7 组,分别统计不同 pH 组的植烟土壤有效硼含量

的平均值和适宜样本比例,结果见图 6。7 个 pH 组的植烟土壤有效硼含量平均在 0.58 ~ 1.18 mg/kg,有随 pH 的升高植烟土壤有效硼含量升高的趋势(回归方程为 $y_{\text{有效硼}} = 0.090x_{\text{pH}} + 0.387$, $R^2 = 0.806^{**}$)。有效硼含量从高到低排序为: > 7.0, 6.5 ~ 7.0, 6.0 ~ 6.5,

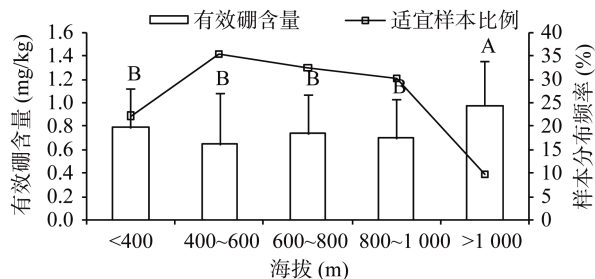


图 5 湘西州不同海拔植烟土壤有效硼含量

Fig. 5 Contents of available boron in different altitudes in Xiangxi tobacco-growing soil

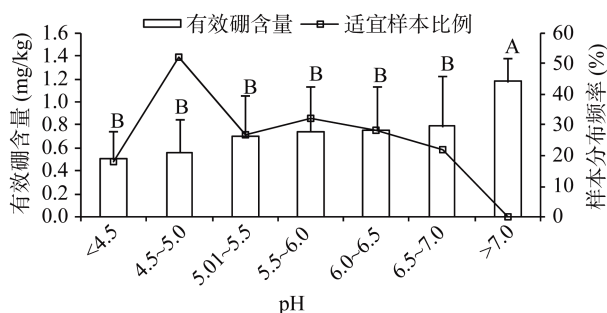


图 6 湘西州不同 pH 的植烟土壤有效硼含量

Fig. 6 Contents of available boron in different pH values in Xiangxi tobacco-growing soil

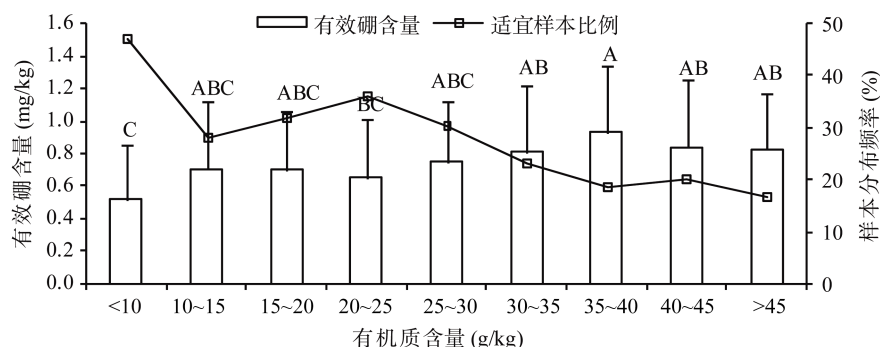


图 7 湘西州不同有机质的植烟土壤有效硼含量

Fig. 7 Contents of available boron in different organic matter contents in Xiangxi tobacco-growing soil

3 讨论

土壤养分含量丰缺诊断是科学施肥的核心。陈江华等^[16]对全国主要烟区土壤养分丰缺评价认为以土壤有效硼含量在 0.5 ~ 1.0 mg/kg 为适宜,张颖^[9]认为福建植烟土壤有效硼含量以 0.4 ~ 1.0 mg/kg 为适宜,罗建新等^[17]认为湖南植烟土壤有效硼含量以 0.4 ~ 1.0 mg/kg 为适宜。由此可见,不同烟区,由于土壤

5.5 ~ 6.0, 5.0 ~ 5.5, 4.5 ~ 5.0, <4.5。方差分析结果表明,不同 pH 组的植烟土壤有效硼含量差异极显著 ($F = 3.094$; sig. = 0.006),主要为 pH > 7.0 组的植烟土壤有效硼含量极显著高于其他组,而其他 pH 组的植烟土壤有效硼含量差异不显著。7 个 pH 组的植烟土壤有效硼含量适宜样本比例在 0 ~ 52.17%,不同 pH 组之间差异较大,以 4.5 ~ 5.0 pH 组的土壤组有效硼量适宜样本比例最高。

2.2.5 植烟土壤有机质 将土壤样本的有机质含量按 < 10, 10 ~ 15, 15 ~ 20, 20 ~ 25, 25 ~ 30, 30 ~ 35, 35 ~ 40, 40 ~ 45, > 45 g/kg 分为 9 组,分别统计不同有机质含量组的植烟土壤有效硼含量的平均值和适宜样本比例,结果见图 7。9 个有机质含量组的植烟土壤有效硼含量平均在 0.52 ~ 0.93 mg/kg,有随有机质含量的升高植烟土壤有效硼含量升高的趋势(回归方程为 $y_{\text{有效硼}} = 0.008x_{\text{有机质}} + 0.53$, $R^2 = 0.717^{**}$)。方差分析结果表明,不同有机质含量组的植烟土壤有效硼含量差异极显著 ($F = 3.650$; sig. = 0.000),主要为 35 ~ 40 g/kg 有机质含量组的植烟土壤有效硼含量极显著高于 < 10 g/kg 和 20 ~ 25 g/kg 组,而其他有机质含量组的植烟土壤有效硼含量差异不显著。9 个有机质含量组的植烟土壤有效硼含量适宜样本比例在 16.66% ~ 47.22%,不同有机质含量组之间差异较大,以 < 10 g/kg 有机质含量组的土壤组有效硼含量适宜样本比例最高。

类型、气候等生态条件的差异,建立的植烟土壤养分丰缺指标体系也是不同的。无论采用何种标准,单从湘西州植烟土壤有效硼含量平均值看并不缺乏,但植烟土壤有效硼含量变幅较大,仍有 12.09% 的植烟土壤样本处于缺硼土壤。

IDW 插值法属于确定性插值法,对空间尺度较小的局部地区来说,与 Kriging 插值法比较,样本点处的插值结果更好地接近样本点的实际有效硼含

量^[19]，绘制的空间分布图可直观地描述湘西州主产烟区植烟土壤有效硼含量的分布格局，对湘西州植烟土壤有效硼含量进行估值的效果更佳。

湘西州不同前茬作物的植烟土壤有效硼含量差异达极显著水平。蔬菜和油菜为前茬的土壤有效硼含量极显著地高于其他作物为前茬的土壤，烤烟、绿肥和水稻为前茬的土壤有效硼含量极显著高于西瓜和玉米为前茬的土壤。造成这种差异可能与不同作物对硼的选择性吸收不同有关，也可能与生产中的追肥种类有关。因此，要选择适宜的前茬作物，并要根据不同前茬作物改进施肥方案。

植烟土壤含硼量在一定程度上与成土母质和土壤类型有关。秦建成^[7]对重庆市烟区土壤有效硼含量的研究结果发现以石灰土平均有效硼含量最高，水稻土最低；金立新等^[20]对成都地区土壤有效硼含量的研究认为黄壤有效硼含量较高，高于水稻土和紫色土；本研究结果与秦建成^[7]的研究结果差异较大，而与金立新的研究结果比较接近。湘西州不同植烟土壤类型的有效硼含量差异达极显著水平。黄棕壤土壤的有效硼含量极显著地高于红灰土和红壤土壤类型。这可能与黄棕壤质地黏重，硼不易被淋失有关，也可能与黄棕壤的有机质含量较高有关。

张春等^[6]在对云南曲靖植烟土壤的研究中认为土壤有效硼含量有随着海拔高度降低而逐渐降低的变化趋势。我们的研究结果与此相反，湘西州不同海拔高度的植烟土壤有效硼含量差异达极显著水平，有随海拔升高而升高的趋势。在湘西烟区的高海拔地区，一般为一年一熟，农业耕作较少，土壤环境基本上处于半封闭状态，各种动、植物残体在微生物作用下分解后基本在原地保存，土壤有机质基本未受到破坏。高海拔，有机质含量高，硼的淋失少。

大多数研究者报道指出土壤 pH 是影响土壤硼有效性的重要因素，土壤有效硼含量与土壤溶液的 pH 有较高的相关性^[21-23]。这种影响主要是通过影响土壤对硼吸附和解吸行为而起的作用，国内外学者对于 pH 影响硼有效性方面的结论也不完全相同。一般土壤的有效硼含量随土壤 pH 增大而减少，有效硼在酸性土壤中含量比碱性土壤高^[24]；但金立新等^[20]对成都地区、龚智亮等^[21]对福建植烟土壤研究认为土壤 pH 与有效硼含量之间呈极显著正相关，我们的研究结果也与此相似。造成这种差异的原因可能是影响硼的吸附和解吸的条件不同，例如不同地区降雨量不同，各样品采集地的海拔高度、地形部位、成土母质类型和有机肥施用量不同等。湘西州植烟土壤有效硼含量在不同 pH 组间存在着极显著差异，有随 pH

的升高植烟土壤有效硼含量升高的趋势。在酸性土壤中有有效硼含量虽然较高，但容易被淋洗，遭受损失。因此，酸性植烟土壤适当施用石灰有利于提高土壤中有有效硼的含量，但不宜过高，否则钙离子会影响作物对硼的吸收^[25]。

有机质对于土壤中硼的吸附和解吸及硼有效性的影响至今仍未完全搞清^[26]。有些研究者认为吸附在有机质上的硼的解吸有滞后现象，即有机质的存在降低了硼的植物有效性^[27-28]，甚至认为在有些类型的土壤中有有机质的大量存在是导致缺硼的原因^[29]；也有研究者认为土壤有机质分解产生的多聚糖化物质在某种程度上能降低黏土对硼的吸附，使自身与硼结合的机会减少，从而造成土壤溶液中有效硼含量的增加^[30]。本研究认为植烟土壤有效硼含量在不同有机质组间存在着极显著差异，有随着有机质含量的升高而升高的趋势。有机质含有多种微量元素，能与硼产生吸附、螯合等作用，并可通过微生物作用提高土壤中硼的有效性^[31]。因此，适当地补充有机肥料将对提高硼的有效性具有重要的作用，不仅能增加土壤中有有机质含量，还能固定硼使其免受淋洗，矿化后又能将其释放，增加有效硼的含量，可以起到一举多得的效果。

湘西州喀斯特烟区土地资源结构以石山坡地为主，母岩造壤能力差，在土壤受侵蚀不强烈的情况下，土壤发育良好，土层深厚，土壤有效硼含量较高，有利于优质烟叶生产。由于土壤资源缺乏，长期将烟叶生产发展的重点放在喀斯特洼地和谷地，这对承载力较低的喀斯特生态系统来说容易造成环境退化。部分土壤受到强烈侵蚀，各种物理性状变差，土层变薄，有机质含量降低，土壤中有有效硼淋失严重，造成烟叶产量和质量降低，烟叶风格弱化，已制约烟叶生产可持续发展。因此，必须加大水土保持力度，提高土壤的抗蚀能力；同时，对于少部分有效硼含量偏低的植烟土壤，在生产上要注意补充硼肥；通过土壤改良技术，改善土壤的化学行为、物理结果和微生物活动状况，使土壤硼的吸附-解附-解吸的过程向着有利于提高土壤有效硼含量的方向发展；通过改进施肥技术，实施生态经济施肥，提高硼素的利用效率；形成有利于生态环境改善与资源持续利用的发展机制，以促进湘西喀斯特地区烟叶生产和经济稳步发展。

4 结论

湘西州植烟土壤有效硼含量总体上略偏高，平均值为 0.728 mg/kg，变幅在 0.05 ~ 2.21 mg/kg，变异系数为 53.46%，处于适宜范围内的样本占 30.00%。植烟土壤有效硼含量在空间分布上呈斑块状分布态势，

永顺县的西部为一个低值区,东部为一个高值区。蔬菜和油菜为前茬的土壤有效硼含量相对较高,黄棕壤土壤的有效硼含量极显著地高于红灰土和红壤土类型;植烟土壤有效硼含量有随海拔、pH、有机质含量升高而升高的趋势。

参考文献:

- [1] 邓小华,周米良,田茂成,田峰,吴志科,黎娟,王心中.湘西州植烟气候与国内外主要烟区比较及相似性分析[J].中国烟草学报,2012,18(3): 28-33
- [2] 邓小华,杨丽丽,陆中山,周米良,田峰,田茂成,向德明.湘西烟叶质量风格特色感官评价[J].中国烟草学报,2013,19(4): 104-109
- [3] 崔国明,黄必志,柴家荣,黄继梅,孙曙华,张国楠,李永平.硼对烤烟生理生化及产质量的影响[J].中国烟草科学,2000,21(3): 14-18
- [4] 曹志洪.优质烤烟生产的钾素与微肥[M].北京:中国农业科技出版社,1995
- [5] 李洪秀,关连珠,颜丽,张广财.辽宁植烟土壤锌、硼丰缺指标确立及丰缺程度分析[J].沈阳农业大学学报,2011,42(6): 736-739
- [6] 张春,周冀衡,杨荣生,郭汉华,杨述元,夏开宝.云南曲靖不同海拔烟区土壤和烟叶硼含量的分布状况及相关性[J].中国烟草学报,2010,16(6): 48-56
- [7] 秦建成.重庆市植烟区土壤硼素含量特征研究[J].安徽农业科学,2009,37(28): 13 747-13 749
- [8] 张薇,高明,宋珍霞,李小宁.重庆市植烟区土壤硼素状况及施硼效应的研究[J].中国土壤与肥料,2006(5): 49-54
- [9] 张颖.福建植烟土壤硼素营养的吸附、淋失规律及丰缺指标的初探[D].福州:福建农林大学,2011
- [10] 谢鹏飞,邓小华,何命军,黄松青,张万良,唐春闰,周喜新.宁乡县植烟土壤养分丰缺状况分析[J].中国农学通报,2011,27(5): 154-162
- [11] 邓小华,杨丽丽,周米良,田茂成,田峰,冯晓华,吴秋明.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
- [12] 周米良,邓小华,黎娟,刘逊,田茂成,田峰,吴秋明.湘西植烟土壤 pH 状况及空间分布研究[J].中国农学通报,2012,28(9): 80-85
- [13] 邓小华,覃勇,周米良,田峰,田茂成,张黎明,杨丽丽.湘西烟叶香气特性及其区域分布特征[J].北京农学院学报,2013,28(4): 1-5
- [14] 张黎明,邓小华,田峰,肖瑾,覃勇,邓井青.湘西烟叶还原糖含量及区域分布特征[J].作物杂志,2013(5): 120-123
- [15] 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
- [16] 陈江华,李志宏,刘建利,王刚,龙怀玉,雷秋良,张认连,张维理.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
- [17] 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
- [18] 邓小华.湖南烤烟区域特征及质量评价指标间的关系研究[D].长沙:湖南农业大学,2007
- [19] 施建刚,李俊明.数字地价模型建立过程中的插值方法研究[J].土木工程学报,2007,40(1): 90-94
- [20] 金立新,唐金荣,刘爱华,汤奇峰,杨忠芳,陈德友,刘应平,李忠惠.成都地区土壤硼元素含量及其养分管理建议[J].第四纪研究,25(3): 363-266
- [21] 龚智亮,唐莉娜.福建南平植烟土壤主要养分特征及生产对策[J].中国农学通报,2009,25(16): 153-155
- [22] Berger KC, Truog E. Boron availability in relation to soil reaction and organic matter content[J]. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 1945(10): 113-116
- [23] Elrashidi MAO, Connor GA. Boron sorption and desorption in soil[J]. Soil Sci. Soc. Am., 1982, 46: 27-31
- [24] 曾昭华.农业生态与土壤环境中硼元素的关系[J].江苏环境科技,2002,15(4): 35-36
- [25] Elsewii AA. Some observations on boron in water, soils and plants at various locations in Egypt[J]. Alex. J. Agric. Res., 1974, 22: 463-473
- [26] 宋时奎,李文华,严红,曹东.土壤性质与硼有效性的关系[J].东北农业大学学报,2004,35(1): 113-118
- [27] Yermiyaho U, Keren R, Chen Y. Effect of composted organic matter on boron uptake by plants[J]. Soli Sci. Soc. Am., 2001, 65: 1 436-1 441
- [28] Elrashidi MAO, Connor GA. Boron sorption and desorption in soils[J]. Soil Sci. Soc. Am., 1982, 46: 27-31
- [29] 刘铮,朱其清,唐丽华.我国缺硼土壤的类型和分布[J].土壤学报,1980,17(3): 228-239
- [30] Gu B, Lowe LE. Observations on the effect of a soil polysaccharide fraction on boron adsorption by clay minerals[J]. Can. Soil Sci., 1992, 72: 623-626
- [31] 马俊英,青长乐,张学良,李伟,付绍清.重庆土壤有效态微量元素的含量与分布[J].西南农业大学学报,1989,11(3): 221-228

Distribution of Available Boron Contents of Tobacco-growing Soil and Its Influencing Factors in Karst Region —— A Case of Tobacco-growing Areas in Xiangxi

LI Juan¹, DENG Xiao-hua^{1*}, WANG Jian-bo¹, QIN Yong¹, LIU Hui¹, TIAN Feng², ZHANG Li-ming²

(1 *Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;*

2 *Tobacco Monopoly Bureau of Xiangxi Autonomous Prefecture, Jishou, Hunan 416000, China*)

Abstract: The available boron contents in tobacco growing soils and its influencing factors in Xiangxi were analyzed by collected 488 soil samples. The results were as follows: 1) available boron contents in the tobacco soils were slight higher for tobacco cultivation, it ranged from 0.05 to 2.21 mg/kg with a mean of 0.728 mg/kg and a variation coefficient of 53.46%, about 30.00% of the soil samples with available boron content were suitable for tobacco cultivation. 2) IDW interpolation map indicated that the spatial distributions of available boron were patchiness, while the high value area were in the eastern part of Yongshun and the low value area were in the western part of Yongshun. 3) The available boron contents of soils following vegetable and rape crop were higher than the other, and the average content of available boron in yellow-brown soil was higher than red lime soil and red soil. 4) The available boron contents was increased with the rise of altitude, pH and organic matter content in tobacco growing soil of Xiangxi.

Key words: Xiangxi tobacco growing areas, Karst, Tobacco-growing soil, Available boron, Spatial distribution