doi：10.11838/sfsc.1673-6257.18514

龙山县植烟土壤有效硼含量空间分布及其影响因素

姚　旺[1]，黎　娟[1*]，向德明[2]，周清明[1]，张黎明[2]，田　峰[2]，田茂成[2]，李　强[1]

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

摘　要：为了研究龙山县植烟土壤有效硼分布状况及影响因素，以期为龙山县植烟土壤硼素的养分管理及特色优质烟叶开发提供理论依据；在龙山县采集植烟土壤样本 294 个，采用地统计学、多元统计学方法研究植烟土壤有效硼的空间分布及其影响因素，从描述性统计结果来看，龙山县植烟土壤有效硼含量总体丰富，平均值为 0.792 mg/kg，但变异较大，适宜样本比例为 33.33%；从地统计分析结果来看，龙山县北部及东南部有效硼含量丰富，西部较为缺乏；影响因素研究的结果显示，随着海拔高度上升土壤有效硼呈先上升后下降的趋势；土壤有效硼与交换性钙及交换性镁呈极显著正相关关系；土壤有效硼含量随土壤有机质含量升高而升高；土壤有效硼含量随土壤 pH 值升高而升高。龙山县植烟土壤有效硼含量较为丰富，海拔高度、土壤质地和类型、有机质、pH 值、交换性钙镁都影响土壤有效硼含量，土壤有效硼区域差异较大，建议在西部缺硼区域适当增施硼肥。

关键词：龙山县；植烟土壤；有效硼；空间分布；影响因素

硼是烤烟生长和品质形成的必需微量元素之一，也是包括烟叶生产在内的作物生产上容易缺乏的微量元素之一[1]。硼能提高烤烟的叶绿素含量，提高光合作用效率和烟叶蒸腾速率[2]。硼还参与细胞分裂、核酸及蛋白质代谢等。硼的缺乏导致嫩叶中蛋白质含量的降低，从而增加可溶性含氮化合物含量，并且阻碍韧皮部淀粉和糖分的运输，导致烟株中糖分和淀粉含量上升[3]，从而影响烤后烟叶质量。缺硼烟株表现为生长停滞，叶柄增粗变短，叶片粗糙、卷曲[4]。黎娟等[5]对湘西州植烟土壤有效硼含量进行了研究，得出湘西州植烟土壤有效硼含量较丰富，但变幅较大；邹凯等[6]对邵阳植烟土壤有效硼进行了研究，得出的结论与黎娟等[5]的研究结果相似，秦建成[7]对重庆植烟土壤有效硼含量的研究显示，重庆市大部分植烟土壤处于缺硼状态，且不同地区有效硼含量差异较大，可见，有效硼在各地区存在明显的分布不均。龙山县位于湘西北边陲，地处武陵山脉腹地，是湖南湘西烟区烤烟种植大县，也是优质烟叶生产供应基地。鉴于龙山县有效硼含量的空间分布及其影响因素尚未有系统报道[8]。笔者以龙山县 294 个土壤样本为材料，研究龙山县植烟土壤有效硼的空间分布特征，并结合对土壤质地、土壤类型、交换性钙、交换性镁、有机质、pH 值、海拔高度 7 个因素进行分析，为龙山县植烟土壤的硼素的养分管理和特色优质烟叶开发提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　样品采集与处理

采用 GPS 定位技术在龙山县选取定位田块，定位田块均在 667 m^2 以上，采集具有代表性的耕层土样 294 个，采集时间均在烤烟移栽前一个月完成，并避开雨季，采用取土器钻取耕层土壤（0 ~ 20 cm），每个田块取 8 ~ 12 个点混合成一个 2 kg 左右的土样，并用四分法保留 500 g 土样。采集土样时立即编号以避免混合，土样经过风干、混匀、磨细、过筛等预处理后保存备测。

1.2　土壤的测定方法

土壤交换性钙和交换性镁采用原子吸收分光光度法[9]，土壤有机质、pH 值、有效硼测定参考文献[10]。

1.3　统计分析方法

1.3.1　土壤有效硼分级

参照以往的研究[6]，将植烟土壤有效硼含

收稿日期：2018-12-29；**录用日期：**2019-03-02
基金项目：湖南省烟草公司项目（xx16-18Aa02）。
作者简介：姚旺（1994-），男，湖南张家界人，硕士研究生，主要从事烟草生理栽培研究。E-mail：340438401@qq.com。
通讯作者：黎娟，E-mail：282617472@qq.com。

量分为缺乏（<0.15 mg/kg）、偏低（0.15 ~ 0.30 mg/kg）、适宜（0.30 ~ 0.60 mg/kg）、丰富（0.60 ~ 1.0 mg/kg）、极丰富（≥1.0 mg/kg）5 个等级。

1.3.2　数据分析

采用域法剔除异常值，即把分布于平均值 ±3 倍标准差之外的数值定为异常值并剔除[11]，描述性统计、方差分析、多重比较均用 SPSS 17.0 软件完成[12]，等样本平滑回归分析参照文献［13］进行，将数据按自变量进行从低到高排序，按照数值大小进行等样本分组，本试验为 21 组，然后计算各变量的平均值和对应有效硼的平均值得到数据组，利用新的数据组采用回归分析法分析各变量与有效硼含量的关系。

运用 ArcGIS 9 的地统计学模块及 IDW 法插值绘制龙山县植烟土壤有效硼含量空间分布图[14]。

2　结果与分析

2.1　龙山县植烟土壤有效硼含量统计性描述

由表 1 可以看出，龙山县植烟土壤有效硼的平均值为 0.792 mg/kg，处于含量丰富的范围，变幅为 0.10 ~ 2.61 mg/kg，变异系数为 70.32%，属于强变异。处于极低范围的有 1.70%，偏低的植烟土壤比例为 13.61%，适宜范围的植烟土壤比例为 33.33%，偏高的植烟土壤比例为 25.85%，极高的植烟土壤比例为 25.51%，总体来说龙山县植烟土壤的有效硼含量偏高，少部分植烟土壤的有效硼含量偏低，硼供应不足，对缺硼的土壤应该增施硼肥。

表 1　土壤有效硼含量统计特征

均值 ± 标准差（mg/kg）	变幅（mg/kg）	变异系数（%）	偏度	峰度	土壤有效硼分布频率（%）				
					<0.15（mg/kg）	0.15 ~ 0.30（mg/kg）	0.30 ~ 0.60（mg/kg）	0.60 ~ 1.0（mg/kg）	≥1.0（mg/kg）
0.792 ± 0.032	0.10 ~ 2.61	70.32	1.35	1.245	1.70	13.61	33.33	25.85	25.51

2.1.1　龙山县土壤有效硼含量的空间分布及空间结构

利用半方差函数模型对区域植烟土壤有效硼含量进行拟合，确定指数模型为有效硼含量的最优半方差函数模型，相关参数见表 2，其中标准化均方根误差接近 1，均方误差接近 0，且决定系数为 0.871，表明插值精度高，选取的模型具有很高的拟合度。龙山烟区土壤有效硼的块金效应值为 72.840%，表明其有效硼含量是由结构因素与随机因素共同作用的结果。进一步采用 arcGIS 9 软件绘制了龙山县植烟土壤有效硼含量的空间分布图。由图 1 可知，龙山县东北部有效硼含量丰富，茨岩塘东北部、大安坪、桶车、猫儿寨含量极丰富，而龙山县植烟土壤中部以及南部有效硼含量大部分处于适宜范围，龙山县西部桂塘、老兴、咱果、内溪、皮渡河部分区域有效硼含量较低。

表 2　土壤有效硼含量半方差函数模型及其插值精度

指标	模型	块金值	基台值	块金效应（%）	变程（km）	决定系数	插值精度	
							标准化均方根误差	均方误差
B	指数模型	0.278	0.382	72.840	0.472	0.871	0.943	0.002

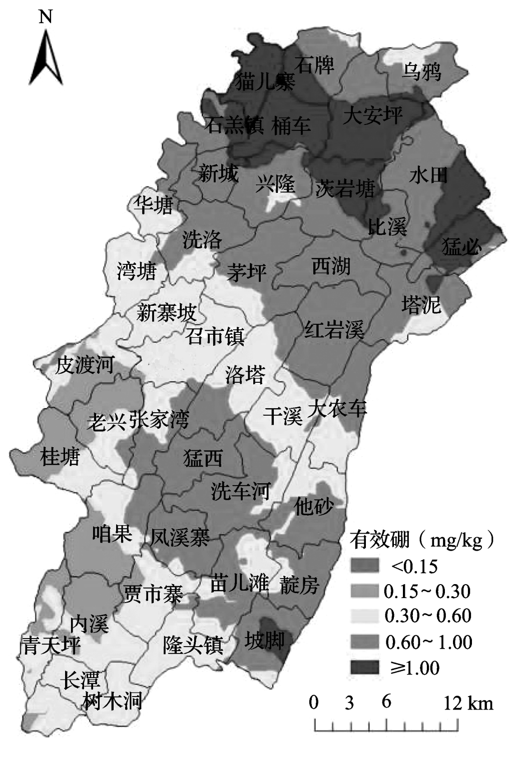

图 1　龙山县植烟土壤有效硼含量空间分布

2.2　影响龙山县植烟土壤有效硼的因素

2.2.1　海拔对土壤有效硼含量的影响

将样本采集地点的海拔按 200 m 的组距分为 5

组，分别为<600、600 ~ 800、800 ~ 1 000、1 000 ~ 1 200、≥ 1 200 m，5 组海拔高度的土壤有效硼平均值分别为 0.61、0.55、0.86、1.08、0.55 mg/kg，均处于偏高水平。方差分析表明，各组海拔之间有效硼含量差异达到极显著水平（F=14.459；P=0.000），经多重比较发现海拔 800 ~ 1 000、1 000 ~ 1 200 m 的有效硼含量极显著高于其他海拔，其余海拔高度之间有效硼含量差异不显著。相关分析结果表明，植烟土壤海拔高度与土壤有效硼含量呈极显著正相关（r=0.216；P=0.000）；进一步的等样本量平滑回归分析结果（图 2）显示，二者呈良好的二次曲线关系（R^2=0.345 5；P=0.000），随着海拔的升高土壤有效硼含量呈先上升后下降的趋势。

表 3　海拔对土壤有效硼含量影响

海拔（m）	样本数	均值 ± 标准差（mg/kg）	变异系数（%）	极小值（mg/kg）	极大值（mg/kg）
<600	35	0.61 ± 0.45BCc	75.05	0.13	1.92
600 ~ 800	69	0.55 ± 0.38Cc	70.52	0.10	1.98
800 ~ 1 000	67	0.86 ± 0.56ABb	64.52	0.19	2.61
1 000 ~ 1 200	92	1.08 ± 0.60Aa	55.78	0.21	2.35
≥1 200	31	0.55 ± 0.41Cc	73.95	0.22	2.37

注：不同大、小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平。下同。

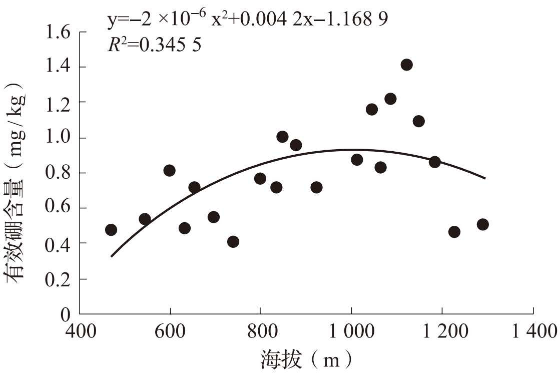

图 2　土壤有效硼含量与海拔的回归分析

2.2.2　土壤质地与土壤类型对有效硼含量的影响

土壤质地对土壤有效硼含量的影响见表 4，选取土壤质地样本大于 10 的土壤样本统计土壤有效硼的变化。3 种土壤质地土壤有效硼含量均值处于丰富范围，从高到低依次为壤土、黏壤土、黏土。方差分析结果表明，不同质地土壤有效硼含量差异达显著水平（F=3.546；Sig.=0.03），经多重比较发现黏壤土和壤土的有效硼含量显著高于黏土，其中黏土的适宜样本比例最高（36.31%），壤土中有效硼含量最为丰富。

4 种不同土壤类型对土壤有效硼含量的影响见表 5，4 种土壤类型土壤有效硼含量从高到低依次为黄棕壤、灰泥田、灰黄泥、黄壤，其中黄壤的土壤有效硼含量处于适宜状态，其余都处于丰富状态，适宜样本比例最高的为黄壤（50%），但

表 4　不同土壤质地土壤有效硼含量变化

土壤质地	样本数	变幅（mg/kg）	均值 ± 标准差（mg/kg）	变异系数（%）	土壤有效硼分布频率（%）				
					<0.15（mg/kg）	0.15 ~ 0.30（mg/kg）	0.30 ~ 0.60（mg/kg）	0.6 ~ 1.0（mg/kg）	≥1.0（mg/kg）
黏壤土	114	0.13 ~ 2.61	0.88 ± 0.56a	62.97	0.88	6.14	28.95	33.33	30.70
黏土	168	0.10 ~ 2.52	0.72 ± 0.55b	76.98	2.38	19.64	36.31	20.83	20.83
壤土	12	0.48 ~ 1.98	0.96 ± 0.48a	50.01	0	0	33.33	25.00	41.67

表 5　不同土壤类型土壤有效硼含量变化

土壤类型	样本数	变幅（mg/kg）	均值 ± 标准差（mg/kg）	变异系数（%）	土壤有效硼分布频率（%）				
					<0.15（mg/kg）	0.15 ~ 0.30（mg/kg）	0.30 ~ 0.60（mg/kg）	0.60 ~ 1.0（mg/kg）	≥1.0（mg/kg）
黄棕壤	138	0.10 ~ 2.37	0.90 ± 0.55A	61.36	0.72	10.87	21.74	33.33	33.33
黄壤	98	0.10 ~ 2.35	0.53 ± 0.37B	70.35	3.06	22.45	50.00	15.31	9.18
灰黄泥	17	0.13 ~ 2.10	0.81 ± 0.56AB	69.83	5.88	5.88	47.06	17.65	23.53
灰泥田	16	0.24 ~ 1.98	0.81 ± 0.57AB	70.28	0	12.50	37.50	25.00	25.00

偏低的比例也最高（22.45%）。方差分析表明，不同土壤类型土壤有效硼含量差异达到极显著水平（F=10.758，Sig.=0.000），多重比较发现黄棕壤中的有效硼含量极显著大于黄壤。

2.2.3　土壤有机质对土壤有效硼含量的影响

将土壤有机质含量按 <10、10 ～ 15、15 ～ 25、25 ～ 35、≥ 35 g/kg 5 组，对于不同的有机质含量组，分别计算有效硼含量的平均值和适宜样本比例，结果（图 3）显示 5 组有机质分组的有效硼平均值在 0.26 ～ 1.09 mg/kg 之间，适宜样本比例在 26.19% ～ 39.39% 之间，有机质含量为 15 ～ 25 g/kg 间的土壤有效硼含量适宜样本比例最高。土壤有效硼含量随着土壤有机质含量升高而升高，拟合曲线为 $y=0.015x^2+0.129x+0.086$，R^2=0.982 3；相关分析表明：土壤有机质含量与有效硼含量呈极显著正相关关系（r=0.357；P=0.000）；方差分析结果表明：各有机质分组间土壤有效硼含量差异极显著（F=9.153；P=0.000），有机质含量为 15 ～ 25、25 ～ 35、≥ 35 g/kg 3 组的有效硼含量显著大于其余两组，有机质含量≥ 35 g/kg 的分组极显著大于有机质含量为 <10、10 ～ 15 g/kg 的分组。

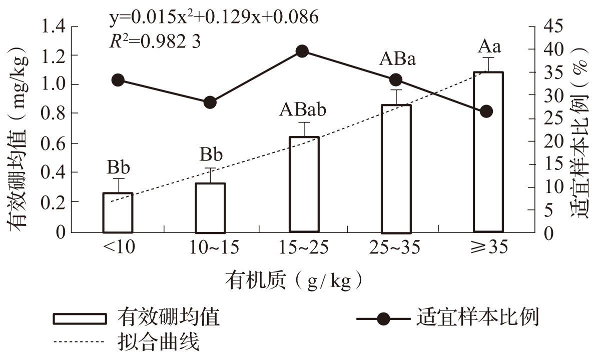

图 3　不同有机质组的土壤有效硼含量变化

注：不同大小写字母分别表示差异达 1% 和 5% 显著水平，下同。

2.2.4　土壤 pH 值对土壤有效硼含量的影响

将土壤有效硼含量按土壤 pH 值分为 7 组，分别统计各分组间有效硼的平均值和适宜样本比例，图 4 可知，各分组间的有效硼均值处于丰富范围内，适宜样本比例最高的为 pH 值在 5.0 ～ 5.5 之间的分组，为 46.34%，适宜样本最低的为 pH 值在 7.0 ～ 7.5 之间的分组，为 22.22%。土壤有效硼含量随土壤 pH 值升高而升高，拟合曲线为一元二次曲线：$y=0.007\,4x^2+0.111\,2x+0.514\,3$，$R^2$=0.893 9；相关分析结果显示土壤有效硼含量与土壤 pH 值呈极显著正相关关系（r=0.209；P=0.000）；方差分析结果显示土壤有效硼含量在土壤 pH 值分组间有显著性差异（F=2.293；P=0.035），pH 值在 7.0 ～ 7.5 的分组显著大于 pH<5.0、5.0 ～ 5.5 的分组，其余各分组间无显著性差异。

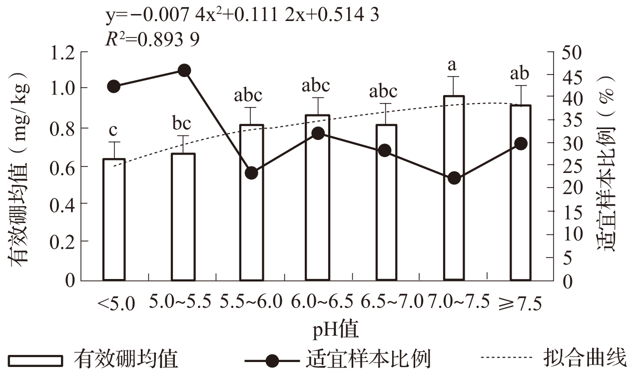

图 4　不同 pH 值组的土壤有效硼含量变化

2.2.5　土壤交换性钙和交换性镁对土壤有效硼含量的影响

龙山县植烟土壤有效硼含量与土壤交换性钙及交换性镁的相关分析结果表明，土壤有效硼含量与土壤交换性钙含量呈极显著正相关关系（r=0.251；P=0.000）。等样本平滑回归分析结果（图 5）显示，

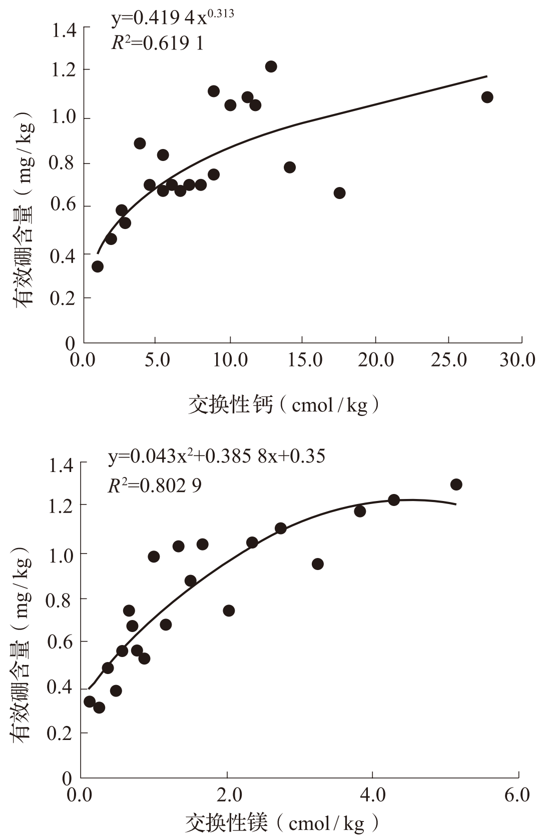

图 5　土壤有效硼含量与土壤交换性钙和交换性镁的回归分析

土壤有效硼含量与土壤交换性钙含量符合幂函数关系（R^2=0.619 1），随着土壤交换性钙的增加，土壤有效硼呈减速增长趋势。土壤有效硼含量与土壤交换性镁含量呈极显著正相关关系（r=0.453；P=0.000）。等样本平滑回归分析结果显示，土壤有效硼含量与交换性镁含量符合二次函数关系（R^2=0.802 9），随着土壤交换性镁的增加，土壤有效硼含量先增加后趋于降低。

3　讨论

烤烟的生长发育以及烤后烟叶的可用性与植烟土壤有效硼含量的丰缺密不可分[15]，对龙山县有效硼含量及其影响因素进行的研究表明：龙山县植烟土壤有效硼均值为 0.792 mg/kg，达到了丰富的水平，但变异系数较高，达到了 70.32%，变幅较大，龙山县仍有 15.31% 的植烟土壤有效硼含量缺乏。影响土壤有效硼含量的因素有很多种，本研究对海拔、土壤质地、土壤类型、交换性钙、交换性镁、有机质、pH 值 7 种因素进行研究探讨。

黎娟等[5]在对湘西州有效硼含量的研究中认为，有效硼含量随海拔升高而升高，而本研究中龙山县植烟土壤有效硼含量随海拔高度先升高后降低，各海拔土壤有效硼差异达到极显著水平。李晓宁[1]对重庆植烟土壤研究中认为随着温度升高土壤对硼的吸附能力减弱，解吸能力也减弱，吸附能力受土壤溶液中硼的浓度影响较大，可以理解为随着海拔升高土壤对硼的吸附能力增强，解吸能力增强，则本研究的结果可解释为随着海拔升高温度下降，土壤吸附能力增强，解吸能力也增强，但吸附能力因土壤溶液中硼的浓度受到抑制，解吸量大于吸附量，土壤有效硼含量增加，而海拔到 1 200 m 左右时土壤有效硼含量开始降低，可能是因为高海拔地区土壤易受风雨影响，导致有效硼淋失较大。

宋时奎等[16]研究报道粗质地的土壤对硼的吸附能力小，而质地较细的黏土对土壤的吸附能力大，本研究结果显示粘土的有效硼含量低于壤土和黏壤土，符合宋时奎等[16]的研究结果，这可能是因为质地较细的黏土对土壤中硼的吸附能力大，从而导致土壤中有效硼含量减少，而壤土和黏壤土较黏土质地粗，对土壤中硼的吸附能力小，从而有效硼含量高于黏土；黎娟等[5]对湘西州土壤有效硼含量的研究中认为，黄棕壤比黄壤的土壤有效硼含量高，这与本研究结果一致，而本研究中灰泥田和灰黄泥也高于黄壤，这可能是因为黄壤对土壤中硼的吸附能力较小，容易淋失而导致的。

钙离子是土壤中硼重要吸附位点[16]，张颖[17]对福建植烟土壤研究中认为土壤有效硼含量随交换性钙的增加而减少，两者呈显著负相关关系，而本研究得出的结论是土壤有效硼含量与交换性钙呈极显著正相关（r=0.251；P=0.000），可能与钙离子促进了土壤对硼的吸附，降低了有效硼的含量，但由于成土母质、土壤类型等因素的原因使吸附量略小于解吸量，导致土壤有效硼随着交换性钙的增加而缓慢上升，而随着土壤中钙离子浓度增加，增大了土壤对硼的吸附，导致钙硼比越大土壤中有效硼含量越来越小。当土壤钙硼比偏高时可以加入适量的硫酸根离子来降低土壤溶液中钙离子的浓度[18]。Rhoades 等[19]认为镁的氢氧化物能降低可溶性硼的含量，而本研究土壤有效硼含量随交换性镁的增加呈先增加后趋于平缓的趋势，这可能是因为随着交换性镁的增加，土壤溶液中镁的氢氧化物增多，使覆盖了镁的氢氧化物的硅酸盐吸附更多的硼，从而使土壤溶液中有效硼逐渐减少。

土壤有机质对土壤有效硼含量影响一直以来存在争议，有些学者认为有机物的存在降低了硼的植物有效性[20-21]，即有机物的大量存在使土壤硼素缺乏，而也有学者认为土壤有机质与土壤有效硼含量呈极显著正相关[22]，本研究结果显示土壤有机质与土壤有效硼含量呈极显著正相关关系，方差分析结果显示各有机质分组间土壤有效硼含量差异极显著，土壤有效硼含量随土壤有机质含量增高而增高，这可能与土壤有机质自身含有硼，其分解产物又能与土壤中的硼相互结合，这减轻了酸性土壤中硼容易淋失的情况，增加了土壤中的有效硼[23]，土壤有机质对有效硼的影响也与有机硼的矿化有关，其半释放期约在 3 040 d，而 99% 的有机硼施放时间约为 274 d，比有机质释放要快[24]。

土壤 pH 值是影响土壤有效硼含量的一个重要因素，土壤 pH 值通过影响土壤对硼的吸附和解吸来影响土壤有效硼含量[16]，秦建成[7]认为土壤 pH 值与土壤有效硼呈极显著正相关关系，王龙昌等[25]认为将土壤酸化后 pH 值下降，可以使土壤有效硼增加，高贤彪等[22]认为土壤 pH 值上升使土壤对硼的吸附量增加，从而降低了土壤有效硼含量。本研究结果显示土壤 pH 值与土壤有效硼含量呈极显著正相关，这与前人研究结果相似，方差分析结果显

示土壤有效硼含量在土壤 pH 值分组间有显著性差异。但本研究中土壤 pH 值在 7.0 ~ 7.5 的分组显著大于 pH 值 <5.0、5.0 ~ 5.5 的分组，且随着 pH 值升高土壤有效硼增长趋势减缓，这可能是由于 pH 值低于 7 时，土壤中硼主要以 $B(OH)_3$ 存在，土壤对其吸附能力较小，土壤中有效硼含量增加，当 pH 值继续增加时，土壤中的 $B(OH)_4^-$ 增多，土壤对其吸附能力增强，使土壤有效硼含量增长趋势减缓。龙山县植烟土壤大部分为酸性土壤，有效硼含量较高，但容易受到淋洗，在土壤中施用适量的石灰有利于土壤对硼素的固定[26]。

龙山县地处湘西北边陲，其土地结构多为山地、坡地，容易造成水土流失，且耕地资源有限，使土地养分易流失，土壤侵蚀严重，造成土壤有效硼淋失，从而使烟叶质量降低，因此应该注重水土保持，改善土壤结构，减少硼的淋失；同时改良施肥技术，实行分区施肥管理，对于有效硼含量低的土壤应适量增施硼肥，注重秸秆还田，增加土壤有机质含量；对于有效硼含量较高的土壤应减少硼肥施入，适量施入生石灰，为烟株生长提供适宜的钙硼比，以促进龙山县特色优质烟叶的开发。

4 结论

龙山县植烟土壤有效硼含量通体来说较为丰富，平均值为 0.792 mg/kg，变幅在 0.1 ~ 2.61 mg/kg 之间，变异较高，适宜样本比例为 33.33%，北部有效硼含量丰富，中部及南部含量适宜，西部含量偏低。龙山县植烟土壤有效硼含量与海拔、交换性钙镁、有机质、pH 值呈极显著正相关；土壤有效硼含量与海拔高度呈良好的二次曲线关系，随海拔升高先升高后降低，土壤有效硼与有机质、pH 值符合二次曲线关系，随着有机质、pH 值的升高而升高，土壤有效硼与土壤交换性钙呈幂函数关系，随着土壤交换性钙的升高而升高，随着交换性镁的升高，有效硼呈先增加后降低趋势；黄棕壤的有效硼含量最高。

参考文献：

[1] 李晓宁. 重庆市植烟土壤硼的形态及吸附解吸特征［D］. 重庆：西南大学，2006.

[2] Gu B，Lowe L E. Studies on the adsorption of boron on humic acids［J］. Canadian Journal of Soil Science，1990，70（3）：305–311.

[3] Yermiyaho U，Keren R，Chen Y. Boron sorption on composted organic matter［J］. Soil Science Society of America Journal，1988，52（5）：1309–1313.

[4] 胡国松，郑伟，王震东，等. 烤烟营养原理［M］. 北京：科学技术出版社，2000.

[5] 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.

[6] 邹凯，邓小华，李永富，等. 邵阳烟区植烟土壤有效硼含量及空间分布研究［J］. 中国农学通报，2014，30（20）：175–180.

[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）：3747–3749.

[8] 张黎明，郑福维，米红波，等. 龙山县植烟土壤有效锌空间分布及其影响因素分析［J］. 云南农业大学学报（自然科学），2018，33（1）：140–146.

[9] 韩富根 . 烟草化学［M］. 北京：中国农业出版社，2010.

[10] 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，2000.

[11] 李强，周冀衡，李迪秦，等. 曲靖烟区土壤有效中量元素的空间变异特征及影响因子研究［J］. 核农学报，2011，25（3）：540–547.

[12] 郝黎仁，樊元，郝哲欧. SPSS 实用统计分析［M］. 北京：中国水利水电出版社，2003. 110–135.

[13] 刘逊，邓小华，周米良，等. 湘西植烟土壤有机质含量分布及其影响因素［J］. 核农学报，2012，26（7）：1037–1042.

[14] 邓小华. 湖南烤烟区域特征及质量评价指标间关系研究［D］. 长沙：湖南农业大学，2007.

[15] 孙敬国，彭孟祥，王昌军，等. 烤烟对不同硼肥力土壤中硼的反应及丰缺值研究［J］. 湖北农业科学，2016，55（24）：6406–6412.

[16] 宋时奎，李文华，严红，等. 土壤性质与硼有效性的关系［J］. 东北农业大学学报，2004，（1）：113–118. .

[17] 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，2010.

[18] Powers W L. Boron in relation to soil fertility in the pacific northwest［J］. Eclética Química，2004，29（2）：33–40.

[19] Rhoades J D，Ingvalson R D，Hatcher J T. Adsorption of boron by ferromagnesian minerals and magnesium hydroxide［J］. Soil Science Society of America Journal，1970，34（6）：938–941.

[20] Yermihahu U. Effects of composted organic matter on boron uptake by plants［J］. Soil Sci Soc Am J，2001，65（5）：1436–1441.

[21] Datta S P，Bhadoria P B S. Boron adsorption and desorption in some acid soils of West Bengal，India［J］. Journal of Plant Nutrition and Soil Science，2015，162（2）：183–191.

[22] 高贤彪，张丽华 . 山东省自然环境下土壤硼素有效性分析［J］. 山东农业大学学报（自然科学版），1999，30（4）：355–358，362.

[23] 黄建凤. 影响土壤有效硼含量的因素研究［J］. 现代农业科

技，2008，（9）：108.
［24］ Berger K C. Boron in soils and crops［J］. Advances in Agronomy，1949，1（4）：321-351.
［25］ 王龙昌，温晓霞 . 宁南山区作物微量元素营养障碍及克服［J］. 干旱地区农业研究，1995，（4）：107-112.
［26］ 蔡寒玉，徐元飞，蒋朝臣，等. 云南丽江植烟土壤中微量营养元素状况及施肥对策［J］. 土壤通报，2015，46（4）：967-971.

Spatial fraction of effective boron content in tobacco growing soil and its influencing factors in Longshan County

YAO Wang[1]，LI Juan[1*]，XIANG De-ming[2]，ZHOU Qing-ming[1]，ZHANG Li-ming[2]，TIAN Feng[2]，TIAN Mao-cheng[2]，LI Qiang[1]（1. College of Agronomy，Hunan Agricultural University，Changsha Hunan 410128；2. Xiangxi Branch of Hunan Province Tobacco Company，Jishou Hunan 416000）

Abstract： In order to study the distribution and influencing factors of available boron in tobacco-growing soils，and to provide theoretical basis for the nutrient management of tobacco-growing soils and the development of characteristic and high-quality tobacco leaves，294 tobacco-growing soils were collected in Longshan County，and the spatial distribution of available boron in tobacco-growing soils and its influencing factors were studied by geostatistics and multivariate statistics. According to the descriptive statistical results，the available boron content of tobacco-growing soils in Longshan County was abundant，with an average value of 0.792 mg/kg，but the variation was large，and the suitable sample proportion was 33.33%. From the results of statistical analysis，the available boron content in northern and southeastern Longshan County was abundant，while that in Western Longshan County was relatively scarce. Available boron increased firstly and then decreased with rising of elevation；soil available boron was positively correlated with exchangeable calcium and exchangeable magnesium；soil available boron content increased with the increase of soil organic matter content；soil available boron content increased with the increase of soil pH. Tobacco-growing soil in Longshan County had abundant available boron content. Elevation，soil texture and type，organic matter，pH and exchange Ca and Mg could all affect the content of soil available boron. And the regional difference of soil available boron was great. It was suggested that boron fertilizer should be applied in the western boron-deficient areas.

Key words： Longshan County；tobacco planting soil；effective boron；spatial distribution；influencing factors

［上接第 48 页］

Astragalussinicus L.（NPK+MV2）. The proportions of organic and inorganic phosphorus were between 36.52% ~ 43.14% and 56.86% ~ 63.48%，respectively. Fe-P and O-P were the main compositions of inorganic phosphorus. By contrast with NPK，the contents of inorganic phosphorus increased，when the amount of *Astragalussinicus* L. was less than 24 000 $kg \cdot hm^{-2}$，the increase was significant，however，when the amount was more than 24 000 $kg \cdot hm^{-2}$，the difference was not significant. Contrasted on NPK，the rice yields increased by 12.51% ~ 23.01%，the treatment of NPK+MV2 was the most effective way to increase rice yields，with an increase of 1 345.7 $kg \cdot hm^{-2}$. In conclusion，compared with only fertilization，fertilization plus *Astragalussinicus* L. could increase the contents of soil phosphorus，rice yields. 24 000 $kg \cdot hm^{-2}$*Astragalus sinicus* L. with chemical fertilizer was the comparatively suitable applied in yellow paddy field.

Key words： yellow paddy field；*Astragalussinicus* L.；chemical fertilizer；phosphorus contents；phosphorus composition