

## 湖南宁乡植烟土壤微量元素丰缺状况及相关性研究

闫晨兵<sup>1</sup>, 唐春闰<sup>2</sup>, 穰中文<sup>1</sup>, 彭曙光<sup>3</sup>, 黎娟<sup>1</sup>, 刘勇军<sup>3,4</sup>, 李强<sup>1\*</sup>

(1. 湖南农业大学生物科学技术学院 农学院 烟草研究院, 湖南 长沙 410128;

2. 湖南省烟草公司 长沙市公司, 湖南 长沙 423000;

3. 湖南省烟草公司, 湖南 长沙 410004; 4. 湖南省烟草科学研究所, 湖南 长沙 410004)

**摘要:** 为探明湖南宁乡植烟土壤中有效态微量元素丰缺状况, 在宁乡采集 162 个土壤样品进行分析. 结果表明, 该地区土壤中有效铜为 3.55 mg/kg, 有效锌为 2.84 mg/kg, 有效铁为 198.65 mg/kg, 有效锰为 30.40 mg/kg, 有效硼为 0.57 mg/kg, 有效钼为 0.122 mg/kg; 该地区有效锌和有效硼含量适宜, 有效铜、有效铁、有效锰含量丰富, 仅有效钼含量偏低且分布差异过大. 相关性研究显示, 有效铁、有效锌与 pH 呈负相关, 有效铜、有效铁、有效锌、有效硼与有机质呈正相关, 而有效锰与有机质呈负相关.

**关键词:** 湖南宁乡; 土壤; 微量元素; 相关性

**中图分类号:** S572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5639 (2019) 03-0038-06

**DOI:** 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2019.03.008

### Correlation Study on Situation of Micronutrients in Tobacco Planting Soil in Ningxiang Hunan Province

YAN Chenbing<sup>1</sup>, TANG Chungui<sup>2</sup>, RANG Zhongwen<sup>1</sup>, PENG Shuguang<sup>3</sup>, LI Juan<sup>1</sup>, LIU Yongjun<sup>3,4</sup>, LI Qiang<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Tobacco, College of Agronomy, College of Bioscience and Biotechnology,

Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan, China 410128;

2. Hunan Province Tobacco Company Changsha Branch, Changsha, Hunan, China 423000;

3. Hunan Provincial Tobacco Company, Changsha, Hunan, China 410004;

4. Hunan Tobacco Science Institute, Changsha, Hunan, China 410004)

**Abstract:** In order to make clear the situation of the micronutrients in the tobacco planting soil in Ningxiang Hunan province, 162 samples from Ningxiang areas were taken and analyzed. The result showed that in the soil of this region the average effective copper is 3.55 mg/kg, zinc 2.84 mg/kg, iron 198.65 mg/kg, Mn 30.40 mg/kg, boron 0.57 mg/kg and molybdenum 0.122 mg/kg among which the effective zinc and effective boron content are suitable; the effective copper, effective iron and effective manganese are rich in content, but the effective molybdenum content is low and the distribution difference is too large. The correlation study showed that available iron and zinc were negatively correlated with pH. Effective copper, iron, zinc and boron were positively correlated with organic matter, while effective manganese was negatively correlated with organic matter.

**Key words:** Hunan Ningxiang; soil; micronutrients; correlation

植烟土壤的养分影响着烤烟的生长发育及品质, 其中大、中量元素及微量元素都是烤烟生长中不可或缺的营养元素. 虽然微量元素在烤烟中被吸收和利用的比例远不及大、中量元素, 但微量元素在烤烟生长过程中的作用也不可替代<sup>[1-5]</sup>. 此外,

铁、锰、铜、锌、硼和钼等微量元素参与烤烟的光合作用、呼吸、氧化还原、叶绿素合成等多种生理生化过程, 以及烤烟内化合物的合成<sup>[6-7]</sup>. 当缺乏微量元素时, 就会直接影响烟叶的产质与抗病力. 例如: 硼元素能提高叶片的蒸腾速率及光合作用;

收稿日期: 2018-10-19

基金项目: 湖南省烟草公司科技项目 (湘烟科 [2017] 170).

作者简介: 闫晨兵 (1996—), 男, 湖南常德人, 硕士, 主要从事烟草栽培生理研究.

\* 通讯作者: 李强 (1982—), 男, 江苏仪征人, 讲师, 博士, 主要从事烟草科学与工程、农业可持续发展研究, E-mail: zqiangli@126.com.

铜在氧化还原中起重要作用;铁是合成叶绿素的必要元素;锰参与光合作用;锌参与氧化反应;钼参与氮代谢.由于烤烟所需的微量元素较少,因此不恰当的施用微肥易造成烤烟微量元素中毒<sup>[8-10]</sup>.近年来,由于对农业生产的高度重视,农作物从耕作土壤中获取的养分也随之增加,加之人们更加重视大、中量元素的施用,而轻视微量元素的施用,使得土壤养分逐渐失衡,导致微量元素缺乏或过量的现象时有发生<sup>[11-12]</sup>.为掌握湖南宁乡烟区植烟土壤微量元素丰缺情况,在该地区采集了162个土壤样品进行分析,旨在为宁乡烟区合理施肥提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 区域概况

湖南省宁乡市位于湘东偏北的洞庭湖南缘地区(111°53′~112°46′E, 27°55′~28°29′N),面积2 906 km<sup>2</sup>,境内地貌有平原、山地、丘岗.全年日均气温16.8℃,月日均气温4.5℃.年均日照时间1 737.6 h,年均无霜期274 d,年均降水量1 358.3 mm,境内雨水充足,年均相对湿度81%.

1.2 样本采集与分析

根据烟叶种植情况与土壤类型,在湖南省宁乡市14个植烟乡选用种植面积大于0.066 7 hm<sup>2</sup>的烟田采用GPS技术进行定点取样,总共采集土样162个,其中,喻家坳23个,横市23个,大屯营21个,流沙河13个,黄材12个,老粮仓11个,资福10个,大成桥9个,双凫铺9个,道林9个,偕乐桥8个,沙田8个,巷子口4个,坝塘2个,各个取样点时间统一在施肥前完成.为保证微量元素的测定准确,选取同一深度的耕层土壤,并采用不锈钢取土器,按照“S”形取样法取10个样点的样品,用来制作一个混合样,并将土壤带回进行编号,然后风干,碾磨,过筛后待测.土壤样品中的有效铜、锌、铁、锰和钼采用DTPA浸提-原子吸收分光光度法测定,有效硼用甲亚胺比色法测定;土壤样品中的有机质用重铬酸钾-硫酸法测定,pH值用2.5:1水土比浸提-pH计法测定,各具体方法参照文献[11~12].

1.3 数据分析

根据胡国松等<sup>[6]</sup>研究成果制定评价标准,详见表1.

表1 土壤有效态微量元素的评价指标 mg/kg

微量元素	极低	低	中等	高	极高	临界值
有效铜	<0.10	0.10~0.20	0.20~1.00	1.00~1.80	>1.80	0.20
有效锌	<1.00	1.00~1.50	1.50~3.00	3.00~5.00	>5.00	1.50
有效铁	<1.50	1.50~2.50	2.50~4.50	4.50~10.0	>10.0	2.50
有效锰	<3.00	3.00~5.00	5.00~10.0	10.0~15.0	>15.0	5.00
有效硼	<0.25	0.25~0.50	0.50~1.00	1.00~2.00	>2.00	0.50
有效钼	<0.10	0.10~0.15	0.15~0.20	0.20~0.30	>0.30	0.15

使用SPSS V22.0和Excel 2003进行数据整理和数据分析,并通过多重比较法分别探明土壤pH和土壤有机质与微量元素之间的相关性.

2 结果与分析

2.1 宁乡烟区土壤元素总体状况

宁乡植烟土壤有效态微量元素的描述统计见表2.

本研究根据峰度检验值和偏度检验值是否小于1来判断结果,于是得出植烟土壤中不服从正态分布的微量元素为有效锌、有效钼、有效硼,而其他3种微量元素基本符合正态分布.从变异系数来看,有效钼的变异系数为101.07%外,表现为强变异性;有4种微量元素的变异系数处于30%~100%,表现为中等型变异性;变异系数最小的是有效铜,为28.22%.

表2 宁乡植烟土壤有效态微量元素的描述统计

指标	均值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	标准差/(mg·kg <sup>-1</sup> )	变异系数/%	极小值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	极大值/(mg·kg <sup>-1</sup> )	偏度	峰度
有效铜	3.55	1.00	28.22	1.32	6.88	0.72	0.74
有效锌	2.84	1.76	61.92	0.66	15.80	3.45	19.57
有效铁	198.65	81.76	41.16	33.70	401.90	0.15	-0.84
有效锰	30.40	17.41	57.27	4.67	80.40	0.68	0.43
有效硼	0.57	0.20	35.49	0.15	1.51	1.00	3.12
有效钼	0.12	0.12	101.07	0.02	1.12	6.34	45.09

结合表 1 来评价所取土壤样品的养分指标所属等级,可得出有效铜的均值为 3.55 mg/kg,约为“极高”等级的 1 倍,但土壤中有有效铜含量在 1.32~6.88 mg/kg 之间,均处于“高”等级以上,说明宁乡地区土壤中有有效铜十分丰富.有效锌的均值为 2.84 mg/kg,处于“中等”指标范围,而波动过大,为 0.66~15.80 mg/kg,各指标范围均有分布,说明该地区土壤中有有效锌分布不均.有效铁均值为 198.65 mg/kg,超出“极高”标准近 20 倍,波动范围为 33.70~401.90 mg/kg,所有样品含有有效铁均超出“极高”指标数倍,说明该地区土壤中含铁相当丰富.有效锰的均值为 30.40 mg/kg,处于“极高”标准,波动范围 4.67~80.40 mg/kg,说明该地区锰分布在“低”至“极高”范围内,表明该地区土壤中锰分布不均.有效硼均值为 0.57 mg/kg,处于“中等”标准范围,波动为 0.15~1.51 mg/kg,处在“极低”至“高”标准范围内,说明该地区土壤中含硼适宜.有效钼的均值为 0.12 mg/kg,处于“低”水平范围内,波动范围为 0.02~1.12 mg/kg,说明该地区土壤中含钼差异较大.

总体来看,宁乡烟区植烟土壤中有有效态微量元素整体处于中等偏高水平,其中有效铁、有效铜、有效锰含量较丰富,有效锌、有效硼含量较适宜,而有效钼含量偏低,且分布差异过大.

## 2.2 宁乡烟区土壤有效态微量元素分类评价

### 2.2.1 有效铜

铜是多种酶的组成成分,能促进蛋白质与烟碱的合成,以及烟株根系发育,还能增强烟株对真菌病害侵染的抗性<sup>[6]</sup>.增施硫酸铜可使烤烟植株氮含量降低<sup>[13]</sup>,增加糖分含量,还能使烟叶成熟均匀<sup>[14]</sup>.由图 1 可知,宁乡各地区植烟土壤中有有效铜含量均达“极高”水平,但不同地区植烟土壤有效铜含量仍有较大差异,含量最高的地区是双凫铺(5.05 mg/kg),比含量最低的地区大屯营(2.80 mg/kg)高 2.25 mg/kg.

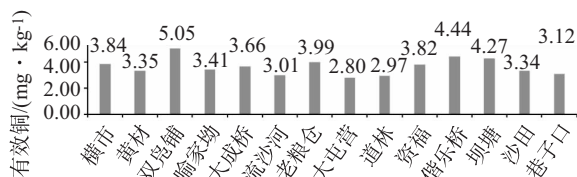


图1 宁乡各乡镇植烟土壤有效铜含量分布状况

由表 3 可知,宁乡烟区植烟土壤中有有效铜含量

达“极高”水平的样品有 160 个,仅有 2 个样品有效铜含量处于“高”水平,表明宁乡烟区土壤中铜元素丰富.

表 3 有效铜含量分布状况

有效铜范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	级别	样本/个	占比/%
<0.10	极低	0	0.00
0.10~0.20	低	0	0.00
0.20~1.00	中等	0	0.00
1.00~1.80	高	2	1.23
≥1.80	极高	160	98.77

### 2.2.2 有效锌

锌参与烟株生长素的合成,缺锌时会使烟株体内的色氨酸含量减小,生长素的合成数量也会随之减少,导致烟株生长较缓、矮小,以及烟叶数量减少<sup>[15]</sup>.由图 2 可知,宁乡各乡镇植烟土壤有效锌水平均在“中等”水平及以上,各乡镇的植烟土壤有效锌含量差别较小,仅巷子口乡有效锌含量(8.44 mg/kg)与其他地区有效锌含量差别较大,是均值的 2.5 倍.宁乡植烟土壤有效锌含量分布状况见表 4,有效锌含量处于“极低”和“低”水平的样品分别为 5 个和 16 个,占比为 12.96%;处于“中等”水平的样品有 90 个,占比为 55.56%;处于“高”水平的样品有 40 个,占比为 24.69%;处于“极高”水平的样品有 11 个,占比为 6.79%.表明宁乡烟区植烟土壤有效锌含量较为丰富.

表 4 有效锌含量分布状况

有效锌范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	级别	样本/个	占比/%
<1.00	极低	5	3.08
1.00~1.50	低	16	9.88
1.50~3.00	中等	90	55.56
3.00~5.00	高	40	24.69
≥5.00	极高	11	6.79

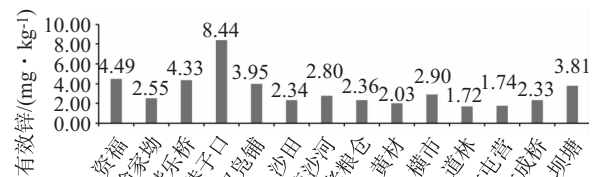


图2 宁乡各乡镇植烟土壤有效锌含量分布状况

### 2.2.3 有效铁

铁是参与叶绿体蛋白的合成重要元素,是叶绿素合成的活化剂,也是与呼吸有关的细胞色素酶类的组成部分<sup>[16]</sup>.若烟株铁元素过多,烤后烟叶容

易形成灰色烤烟, 导致烟叶质量下降<sup>[17-18]</sup>. 从表5可看出, 宁乡植烟土壤铁含量均达“极高”水平, 表明宁乡地区植烟土壤铁元素充足.

表5 有效铁含量分布状况			
有效铁范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	级别	样本/个	占比/%
<1.50	极低	0	0.00
1.50~2.50	低	0	0.00
2.50~4.50	中等	0	0.00
4.50~10.00	高	0	0.00
≥10.00	极高	162	100.00

2.2.4 有效锰

烟草对缺锰很敏感, 可作为缺锰的指示植物<sup>[19]</sup>. 锰元素不仅能够促进叶绿素的形成, 还是维持叶绿体正常结构必需的元素, 且能促进烟草的光合作用<sup>[17]</sup>. 由表6知, 宁乡土壤仅有1个样品锰含量处于“低”水平, 占比为0.62%; 处于中等水平的样品为7个, 占比为4.32%. 由此可知, 宁乡整体土壤锰含量处于“高”及以上水平. 由图3可知, 宁乡植烟土壤中锰元素含量丰富, 即使锰元素含量最低的沅福, 也达20.43 mg/kg, 约为“中等”水平的2倍.

表6 有效锰含量分布状况			
有效锰范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	级别	样本/个	占比/%
<3.00	极低	0	0.00
3.00~5.00	低	1	0.62
5.00~10.00	中等	7	4.32
10.00~15.00	高	33	20.37
≥15.00	极高	121	74.69

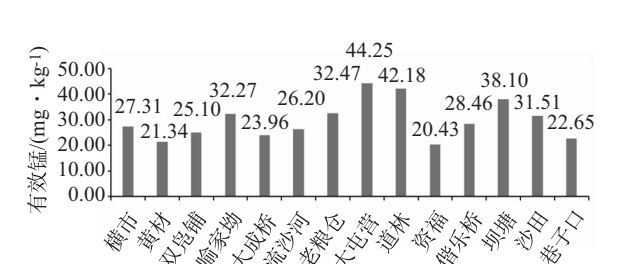


图3 宁乡各乡镇植烟土壤有效锰含量分布状况

2.2.5 有效硼

硼元素是维管束植物所必需的微量营养元素, 其参与蛋白质代谢、生物碱的形成, 还与钾、钙等元素相互作用. 缺乏硼元素时, 烟株将会出现打顶后上部烟叶扭曲翻转, 甚至断叶<sup>[20-21]</sup>. 由表7可知, 宁乡植烟土壤中仅有3.70%的样品处于极度缺硼状态; 处于“高”水平的样品只有7个, 占样品总数的4.32%; “中等”水平的样品数最多, 有103个, 占比高达63.58%. 由此可知, 宁乡植烟土壤中硼元素处于“低”至“中等”水平, 而“低”水平仅占

28.40%, 说明宁乡烟区植烟土壤中硼元素较为丰富.

表7 有效硼含量分布状况			
有效硼范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	级别	样本/个	占比/%
<0.25	极低	6	3.70
0.25~0.50	低	46	28.40
0.50~1.00	中等	103	63.58
1.00~2.00	高	7	4.32
≥2.00	极高	0	0.00

由图7可知, 宁乡各乡镇植烟土壤有效硼含量差别较小. 整体来看, 道林、坝塘、沙田3个地区的有效硼处于“低”水平, 均小于0.50 mg/kg. 而硼含量最高的地区为巷子口, 有效硼含量均值为0.76 mg/kg, 约为道林的3倍. 因此, 建议宁乡在烤烟生长发育期对上述3个有效硼含量较低的乡镇适当增加硼元素的施用量.

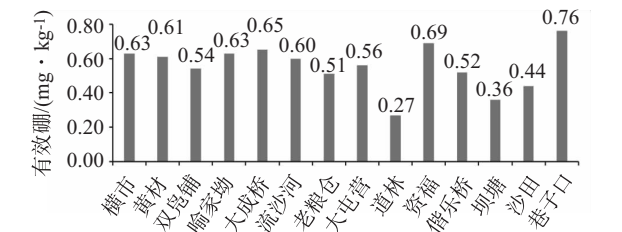


图4 宁乡各乡镇植烟土壤有效硼含量分布状况

2.2.6 有效钼

钼虽然是烟草植株中需要量最低的一种元素, 但钼最主要的作用是参与植株体内硝酸还原酶的组成. 在移栽期施用钼含量较高的液体肥料, 可显著提高植株的钼含量, 以及硝酸还原酶活性及烟叶产量<sup>[22-23]</sup>. 由表8可知, 宁乡烟区处于“极高”水平的样品仅有5个, 占3.09%; 无“高”水平的样品; “中等”水平的有15个, 占9.26%; 其余样品处于“低”和“极低”水平, 占51.23%和36.42%, 由此说明, 宁乡烟区钼含量匮乏且分布不均. 结合图5和表8看出, 各地区钼含量排序由高到低的顺序依次为:  $w(\text{资福}) > w(\text{偕乐桥}) > w(\text{双凫铺}) > w(\text{喻家坳}) = w(\text{大成桥}) = w(\text{老粮仓}) > w(\text{道林}) = w(\text{横市}) > w(\text{黄材}) = w(\text{大屯营}) > w(\text{流沙河}) > w(\text{巷子口}) > w(\text{坝塘}) > w(\text{沙田})$ , 且宁乡各乡镇钼含量分布差异过大. 钼含量最高的是资福, 达0.29 mg/kg, 是钼含量最低的沙田(0.04 mg/kg)的7倍, 且宁乡各乡镇植烟土壤有效钼平均含量均为缺乏的范围. 因此, 在烤烟生产中要重视钼肥的施用, 在淋定根水时, 可采用灌根或叶面喷施的施肥方法, 以促进烤烟生长发育.

表 8 有效铝含量分布状况

有效铝范围/(mg·kg <sup>-1</sup> )	级别	样本/个	占比/%
<0.10	极低	59	36.42
0.10~0.15	低	83	51.23
0.15~0.20	中等	15	9.26
0.20~0.30	高	0	0.00
≥0.30	极高	5	3.09

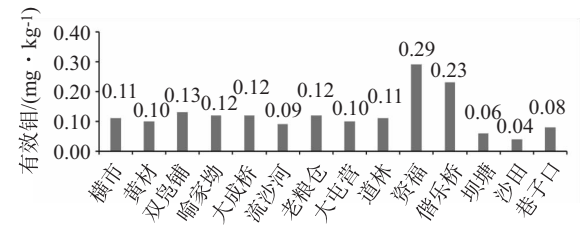


图5 宁乡各乡镇植烟土壤有效铝含量分布状况

2.3 土壤微量元素的主要影响因素分析

土壤中 pH 和有机质都是影响烤烟生长及其品质的重要因素。普遍认为，烤烟适宜生长的 pH 范围在 5.50~7.00 之间，烤烟适宜生长的有机质范围在 15.01~25.00 mg/kg 之间。由表 9 看出，对比 pH 和有机质后发现，有效铁、有效锌与 pH 呈负相关性；有效铜、有效铁、有效锌、有效硼与有机质呈正相关，有效锰与有机质呈负相关。

由表 10 可知，在不同 pH 范围下微量元素表现也不相同，不同范围的 pH 有效铁含量差异有统计学意义，其中有效铁含量最高的 pH 范围 5.00~5.50 比最低的 7.00~7.50 高 172.58%；不同范围 pH 有效锰含量差异有统计学意义，其中有效锰含量最高的 pH 范围 6.00~6.50 比最低的 pH7.00~

7.50 高 129.20%，说明在酸性环境下有效铁作用较高，而在接近中性的环境中有效锰作用较好。

由表 11 可看出，不同有机质范围各微量元素表现有所不同，如有效铜在 40.01~45.00 g/kg 范围与 25.01~30.00 g/kg 范围达到极显著水平，并高出 54.23%，说明在 40.01~45.00 g/kg 范围内表现最好；有效铁在 40.01~45.00 g/kg 范围内表现最好，比最低范围 15.00~20.00 g/kg 高出 228.29%；有效锌在 45.01~50.00 g/kg 范围内表现最好，比最低范围 15.00~20.00 g/kg 高出 291.14%；有效硼含量在 40.01~45.00 g/kg 范围内表现最好，比最低范围 20.01~25.00 g/kg 高出 91.43%。说明有机质在 40.01~45.00 g/kg 范围各种微量内表现最明显，是比较适宜烟草植株生长发育的范围。有效锰尽管在进行相关系数分析时差异有统计学意义，但其与不同有机质范围进行多重比较时，差异却无统计学意义。

表 9 土壤微量元素与 pH 及有机质含量的相关性

微量元素	pH		有机质	
	相关系数	p 值	相关系数	p 值
有效铜	-0.131	0.096	0.546 **	<0.001
有效铁	-0.602 **	<0.001	0.362 **	<0.001
有效锌	-0.290 **	<0.001	0.318 **	<0.001
有效锰	0.148	0.060	-0.171 *	0.030
有效铝	0.015	0.848	0.009	0.911
有效硼	0.080	0.311	0.206 **	0.008

注：\*\*表示在 0.01 水平上的显著关系，\*表示在 0.05 水平上的显著关系。

表 10 不同 pH 范围微量元素的分布

pH 范围	有效铜/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效铁/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效锌/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效锰/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效铝/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效硼/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
4.00~5.00	3.48	246.48 Aa	3.86	22.30 BCc	0.09	0.57
5.00~5.50	3.84	252.68 Aa	3.18	24.53 ABCbc	0.12	0.57
5.50~6.00	3.53	190.27 Bb	2.58	36.36 ABa	0.14	0.52
6.00~6.50	3.39	161.13 BCbc	2.49	38.46 Aa	0.15	0.63
6.50~7.00	3.30	122.26 CDcd	2.14	33.69 ABab	0.11	0.60
7.00~7.50	3.30	92.70 Dd	2.24	16.78 Cc	0.09	0.59

表 11 不同有机质范围内微量元素的分布

有机质范围/ (g·kg <sup>-1</sup> )	有效铜/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效铁/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效锌/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效锰/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效铝/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效硼/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
15.00~20.00	2.03	71.09 BC	0.93 B	31.93	0.10	0.52 ABabc
20.01~25.00	2.54	134.69 C	1.79 AB	37.29	0.11	0.35 Bc
25.01~30.00	2.60 C	143.11 ABC	2.03 AB	37.47	0.12	0.56 ABab
30.01~35.00	3.00 BC	172.05 AB	2.23 AB	36.45	0.10	0.53 Ababc
35.01~40.00	3.73 ABC	227.12 AB	3.15 A	25.58	0.13	0.57 ABab
40.01~45.00	4.01 AB	233.38 A	3.30 A	27.38	0.16	0.67 Aa
45.01~50.00	4.20	208.73 AB	3.64 A	28.30	0.10	0.59 ABab
50.01~55.00	3.68 ABC	173.85 AB	2.15 AB	35.48	0.06	0.46 ABabc



### 3 小结与讨论

湖南宁乡植烟土壤中含有效态微量元素表现为整体中等偏高, 其中有效铜、有效铁和有效锰含量丰富, 有效锌和有效硼含量适宜, 仅有效钼含量偏低且分布差异过大. 有效铜的变异系数最小, 为 28.22%, 有效钼的变异最大, 高达 101.07%.

宁乡植烟土壤微量元素与土壤 pH 值的相关性分析表明, pH 值与有效铁、有效锌之间差异有统计学意义, 与有效铜、有效锰、有效钼、有效硼之间差异无统计学意义. 土壤微量元素与土壤有机质的相关性分析表明, 有机质与有效钼相关性不显著, 与有效锰之间差异有统计学意义, 与有效铜、有效铁、有效锌、有效硼之间差异有统计学意义.

微量元素是优质烟叶的营养保障, 但烤烟对适宜范围较窄<sup>[24]</sup>, 不同微量元素之间存在拮抗或促进作用, 且不同烟区、不同气候条件、不同土壤类型等生态条件也会影响烟叶对微量元素的吸收.

根据本文研究结论, 宁乡植烟土壤中有效铜、有效锌、有效铁和有效锰含量丰富, 因此在施肥过程中可不考虑这 4 种微量元素的施加, 避免微量元素过量而对烟叶产生毒害作用. 有效钼是宁乡植烟土壤中较为缺乏的元素, 所以在烤烟生长过程中需重视钼肥的施用, 为提高宁乡烟叶品质奠定良好的基础.

#### [参考文献]

- [1] 周冀衡, 朱晓平, 王彦亭, 等. 烟草生理与生物化学 [M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996: 293–382.
- [2] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 319–332.
- [3] 刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价 [J]. 生态学报, 2006, 26 (3): 901–913.
- [4] 秦钟立, 秦松, 武伟, 等. 贵州植烟土壤微量元素特征研究 [J]. 西南大学学报 (自然科学版), 2007, 29 (1): 56–64.
- [5] 黎妍妍, 许自成, 肖汉乾, 等. 湖南省主要植烟区土壤肥力状况综合评价 [J]. 西北农林科技大学学报 (自然科学版), 2006, 34 (11): 179–183.
- [6] 胡国松, 郑伟, 王震东, 等. 烤烟营养原理 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [7] 周毓华. 微肥施用对烟叶产质量的影响研究 [J]. 中国烟草科学, 2000 (4): 29–31.
- [8] 谢鹏飞, 邓小华, 何命军, 等. 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.
- [9] 刘国顺, 王耀富, 杨焕文, 等. 烟草栽培学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [10] 李强, 周冀衡, 杨荣生. 曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价 [J]. 应用生态学报, 2011, 22 (4): 950–954.
- [11] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 205–226.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] 宁扬. 百色烤烟中量和微量元素营养状况及其对烟叶品质的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [14] 韩富根. 烟草化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.
- [15] 陶晓秋. 四川西南烟区土壤有效态微量元素含量评价 [J]. 土壤, 2004, 36 (4): 438–441.
- [16] 韩锦峰. 烟草栽培生理 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [17] 陈志厚, 陈朝阳, 徐茜, 等. 南平市植烟土壤微量元素养分状况与演变趋势 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (23): 248–254.
- [18] 李絮花, 杨守祥. 施用钾肥对烤烟叶片中钾素和氮素含量的影响 [J]. 中国烟草学报, 2002, 8 (3): 17–21.
- [19] 张鹏博. 土地整理后烟田土壤有效中、微量养分状况与烤烟施用中、微肥的效应 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2016.
- [20] 罗华元, 吴涛, 常寿荣, 等. 红云集团原料基地植烟土壤中量和微量元素研究 [J]. 中国烟草科学, 2009, 30 (6): 30–33.
- [21] 曹志洪. 优质烟生产的土壤与施肥 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991.
- [22] 姜超英, 周忠仁, 黄全康, 等. 不同生态条件下的烤烟硼营养研究 [J]. 中国烟草科学, 2004 (3): 20–24.
- [23] 崔国明, 黄必志, 柴家荣, 等. 硼对烤烟生理生化及产质量的影响 [J]. 中国烟草科学, 2000 (3): 14–18.
- [24] 杨波, 祖朝龙, 李斌, 等. 锌、硼对烟草生长发育及其他矿质元素积累的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (10): 218–222.