

## 云南陆良烟叶与土壤微量元素的空间分布特征 及主要影响因素

赵月<sup>1</sup>, 周冀衡<sup>1\*</sup>, 陈习羽<sup>1</sup>, 刘朝科<sup>2</sup>, 张拯研<sup>3</sup>, 张一扬<sup>1</sup>, 解燕<sup>1,3</sup>, 张涛<sup>2</sup>

(1.湖南农业大学 烟草研究院, 湖南 长沙 410128; 2.川渝中烟工业公司, 四川 成都 610000; 3.云南省曲靖市烟草公司, 云南 曲靖 655000)

**摘 要:**采用经典统计学和地统计学方法,分析云南省陆良县植烟土壤及烟叶中铜、锌、铁、锰、硼 5 种微量元素的含量和空间分布特征及主要影响因素。结果表明:参照土壤微量元素丰缺标准,陆良县植烟区土壤有效铁含量(76.78 mg/kg)、有效锰含量(36.80 mg/kg)极高,有效铜含量(1.59 mg/kg)、有效锌含量(2.13 mg/kg)较高,有效硼含量(0.54 mg/kg)适中;烟叶中各微量元素含量都较为丰富,烟叶铜含量为 0.12~62.99 mg/kg,与土壤有效铜含量相关性不显著( $r=0.056$ ),受海拔高度和有机质含量的影响较大;烟叶锌含量为 12.62~162.26 mg/kg,与土壤有效锌含量呈极显著相关( $r=0.084$ ),受土壤有效态锌含量及土壤 pH 值的影响较大;烟叶铁含量为 71.40~1 861.64 mg/kg,与土壤有效铁含量相关性不显著( $r=-0.081$ ),受有机质含量的影响较大;烟叶锰含量为 13.73~1 020.22 mg/kg,与土壤有效锰含量呈极显著相关( $r=0.258$ ),受土壤有效态锰含量、海拔高度、土壤 pH 值的影响较大;烟叶硼含量为 0.58~75.17 mg/kg,与土壤有效硼含量相关性不显著( $r=-0.047$ ),受海拔高度和有机质含量的影响较大。

**关 键 词:**烟叶;土壤;微量元素;空间变异;相关性;陆良

中图分类号: S151.9<sup>+</sup>3 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2012)03-0235-06

## Spatial distribution characteristics of trace element content in tobacco and soil in Luliang of Yunnan province and the main influencing factors

ZHAO Yue<sup>1</sup>, ZHOU Ji-heng<sup>1\*</sup>, CHEN Xi-yu<sup>1</sup>, LIU Chao-ke<sup>2</sup>, ZHANG Zheng-yan<sup>3</sup>, ZHANG Yi-yang<sup>1</sup>, XIE Yan<sup>1,3</sup>, ZHANG Tao<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Tobacco, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Chuanyu Industrial Company of Chinese Tobacco, Chengdu 610000, China; 3. Yunnan Provincial Tobacco Company Qujing Branch, Qujing, Yunnan 655000, China)

**Abstract:** The contents of trace elements (Cu, Zn, Fe, Mn, B) of tobacco and soil in Luliang were analyzed using the classical statistical methods. The result obtained according to the standard for rating the level of available trace elements in soil showed that in soil of Luliang, the contents of available Fe and Mn were 76.78 mg/kg and 36.80 mg/kg, respectively, which were very rich; the contents of available Cu and Zn were 1.59 mg/kg and 2.13 mg/kg, respectively, which were rich; and the content of available B was 0.54 mg/kg, which was moderate. The contents of these trace elements in tobacco were all rich in tobacco, and the content of Cu in tobacco, which were 0.12~62.99 mg/kg, showed no significant correlation with Cu in soil ( $r=0.056$ ) and was influenced by altitude and organic matter much more; the content of Zn in tobacco, which were 12.62~162.26 mg/kg, was very significantly correlated to available Zn in soil ( $r=0.084$ ) and influenced by soil available Zn content and pH value much more; the content of Fe in tobacco, which were 71.40~1 861.64 mg/kg, showed no significant correlation with Fe in soil ( $r=-0.081$ ) and was influenced by organic matter much more; the content of Mn in tobacco, which were 13.73~1 020.22 mg/kg, was significantly correlated to available Mn in soil ( $r=0.258$ ) and influenced by soil available Mn and altitude pH value much more; the content of B in tobacco,

收稿日期: 2011-09-19

基金项目: 国家烟草专卖局重大专项(110200902035; 110200801036)

作者简介: 赵月(1987—), 男, 湖南常德人, 硕士研究生, 主要从事烟草生理与生态研究, 184832146@qq.com; \*通信作者, jhzhou2005@163.com

which were 0.58–75.17 mg/kg, showed no significant correlation with B in soil ( $r=-0.047$ ) and was influenced by altitude and organic matter much more.

**Key words:** tobacco; soil; trace elements; spatial variability; correlation; Luliang

烟叶中的微量元素含量是影响烟株生长发育和烟叶内在品质的重要因素<sup>[1-2]</sup>。已有研究<sup>[2-3]</sup>表明,烟叶中含适量的镁有利于烟叶燃烧,烟叶中的硫含量在一定程度上可影响烤烟中烟碱、还原糖、有机酸等的含量,还能改善烟叶的燃烧性、香气质、香气量和吃味等<sup>[4-5]</sup>;烟叶中的锌、锰含量对烤烟的化学协调性、香气质、香气量和余味有一定的促进作用<sup>[6-7]</sup>;烟叶中的硼含量与烤烟的糖碱比、氮碱比等化学协调性密切相关<sup>[8-9]</sup>。目前,关于烟叶中微量元素的空间变异及影响因素的研究报道较少。笔者采用地统计学方法,研究云南陆良县烟叶与土壤微量元素含量的空间分布特征,绘制各微量元素含量的空间分布图,并对其可能的影响因素进行探讨,旨在为对陆良县烟叶进行科学、有效地分区管理及合理施肥提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

陆良县位于云南省东部,地处北纬 24°44' ~ 25°18',东经 103°27' ~ 104°02',海拔 1 826 ~ 2 140 m,总面积 2 018.82 km<sup>2</sup>,属北半球低纬度亚热带高原季风型气候,同时又兼有立体气候的地方性气候特点;年均气温 14.7 °C,年降水量 976.9 mm,无霜期 246 d,年日照时数 2 242.5 h;土壤主要为红壤和水稻土,为烤烟种植的适宜地区。

### 1.2 土壤及烟叶样品采集

于2008年4月采用GPS定位技术对陆良县11个乡镇基本烟田进行定位取样。根据基本烟田分布情况布置1 005个取样点。田间取样时记录各采样点的经、纬度和海拔高度,并以定位点为中心采集;在半径10 m的圆形区域内取10个点的土样混匀,取样深度0 ~ 20 cm,用四分法取大约1 kg土样,登记编码后经风干、研磨、过0.28 mm孔径筛装瓶,备用。

在距土壤采样点最近的烟区采集烟叶样品,10个点对应10株烟株,取样均为X2F、C3F、B2F烟叶。烟叶样品干灰化,稀盐酸溶解后备用。

### 1.3 测定项目与方法

土壤有效铜、有效锌、有效铁、有效锰、有效硼含量和烟叶铜、锌、铁、锰、硼含量均采用原子吸收分光光度法测定;土壤pH值采用玻璃电极法测定;土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化法测定<sup>[10]</sup>。

### 1.4 地统计学分析

采用 SPSS 15.0 软件对样品数据进行描述性分析及相关性分析,并对数据进行 Kolmogorov-Smirnov(K-S)检验。采用 ArcGIS 9.2 软件进行地统计学分析。地统计学中的半方差函数及其模型<sup>[11]</sup>,半方差函数的块金值、基台值和变程等重要参数可以用来表征区域化变量在一定尺度上的空间变异和相关程度,是研究土壤特征性空间变异的关键,也是进行 Kriging 插值的基础<sup>[12]</sup>。将各采样点的位置及其数据导入 ArcGIS 中,以获得样点分布的空间数据库,通过关键字段与分析数据之间实现连接,作为 Kriging 插值的源属性数据。运用 Cross-Validation 交叉验证选择合适的 Kriging 插值模型进行验证和对各参数进行修正,以得到最合理的海拔高度、pH、有机质含量及土壤、烟叶各微量元素含量的分布图<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 陆良县土壤与烟叶微量元素的描述性统计

峰度和偏度检验(表1)表明,土壤5种有效态微量元素含量均不服从正态分布,说明其受外界因素影响较大。参考土壤微量元素丰缺标准<sup>[10]</sup>,从各元素含量的平均值来看,土壤有效铜、有效锌、有效铁、有效锰的含量丰富,其中以有效铁和有效锰含量最高,属于极高范围;有效铜与有效锌含量稍低,

属于较高范围;有效硼含量相对最低,属适中范围。从变化范围来看,各元素的最大值与最小值均相差较大,其中以有效铁相差最大。有效铁的变异系数最大,有效锌、有效锰、有效铜变异系数稍小;有效硼的变异系数最小。

由表2可知,烟叶中5种微量元素的含量均不服从正态分布,说明其受外界因素影响较大。从各元

素平均值来看,陆良县烟叶中各微量元素的含量都较为丰富;从变化范围来看,除了锌含量的变化较小外,其他各元素的最大值与最小值相差都非常大;烟叶中微量元素的含量存在广泛变异,变异系数均大于30%;铜的变异系数最大,铁和锰的变异系数稍小,锌的变异系数最小。

表 1 土壤中有效态微量元素含量的描述性统计

Table 1 Descriptive analysis of microelement content in soil of Luliang								
有效态微量元素	最小值/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	最大值/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	平均值/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	标准差/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	变异系数/%	偏度系数	峰度系数	分布类型
有效铜	0.31	5.38	1.59	0.82	51.57	1.57	3.13	CLN
有效锌	0.57	20.18	2.13	1.47	69.01	6.76	70.59	LN
有效铁	6.91	411.38	76.78	84.83	110.48	2.17	4.16	CLN
有效锰	3.66	139.85	36.80	23.94	65.05	1.40	2.37	LN
有效硼	0.04	1.47	0.54	0.21	38.89	1.31	3.00	CLN

LN 对数正态分布;CLN 近似对数分布。下同。

表 2 烟叶中微量元素含量的描述性统计

Table 2 Descriptive analysis of microelement content of tobacco in Luliang								
元素	最小值/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	最大值/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	平均值/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	标准差/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	变异系数/%	偏度系数	峰度系数	分布类型
铜	0.12	62.99	6.83	7.03	102.93	2.96	14.16	CLN
锌	12.62	162.26	42.89	16.73	39.01	1.90	7.12	CLN
铁	71.40	1 861.64	344.10	273.21	79.40	1.80	3.51	LN
锰	13.73	1 020.22	190.51	128.07	67.22	1.81	5.83	CLN
硼	0.58	75.17	21.48	10.05	46.79	1.10	2.32	CLN

2.2 烟叶中微量元素含量与几种主要影响因素的相关性分析

2.2.1 烟叶与土壤中微量元素含量的简单相关分析

由土壤与烟叶微量元素含量的简单相关分析可知,土壤有效铜与烟叶铜含量相关性不显著( $r=0.056$ );土壤有效锌与烟叶锌含量呈极显著相关( $r=0.084$ );土壤有效铁与烟叶铁含量相关性不显著( $r=-0.081$ );土壤有效锰与烟叶锰含量呈极显著相关( $r=0.258$ );土壤有效硼与烟叶硼含量相关性不显著( $r=-0.047$ )。

2.2.2 烟叶中微量元素的含量与海拔高度、pH值、有机质含量的简单相关分析

由表3可知,烟叶中铜含量与海拔高度、有机质含量呈极显著负相关关系,海拔高度与有机质含量是影响烟叶铜含量的重要因素;锌含量与pH值呈极显著负相关关系;铁含量与有机质含量呈显著负相关关系;锰含量与海拔高度呈极显著正相关,与pH值呈极显著负相关;硼含量与海拔高度、有机质含量呈显著负相关关系。

表 3 烟叶中微量元素含量与海拔、pH值、有机质含量的简单相关系数

Table 3 Pearson correlation coefficient between trace element content in leaf and elevation, pH and organic matter					
项目	铜含量	锌含量	铁含量	锰含量	硼含量
海拔高度	-0.094**	0.037	-0.057	0.163**	-0.064*
pH 值	-0.051	-0.288**	0.021	-0.298**	0.012
有机质含量	-0.087**	-0.054	-0.062*	0.040	-0.132*

## 2.3 陆良县土壤与烟叶中微量元素含量的空间变异

表4、表5为陆良县土壤与烟叶中各微量元素的最优拟合模型、预测误差及参数。土壤中5种微量元素的块金效应为38.881%~68.627%,烟叶中5种微量元素的块金效应在43.159%~100%,表明土壤及烟叶中微量元素的含量均具有中等空间相关性。变程

表示随机变量在空间上的自相关性尺度<sup>[13]</sup>,为空间最大相关距离,反映了变量空间自相关范围的大小。研究区土壤中5种微量元素的长轴变程从大到小依次为有效锌、有效硼、有效铜、有效锰、有效铁;烟叶中5种微量元素长轴变程从大到小依次为硼、锰、铁、锌、铜。

表4 土壤中有效态微量元素含量的半方差函数模型及其拟合参数

Table 4 Semivariogram models of soil micronutrient and corresponding parameters

有效态 微量元素	最优模型	块金值	基台值	块金效应/%	长轴变程/ km	短轴变程/ km	各向异性比	标准化平均 误差	标准化均方根 误差
有效铜	球状模型	0.292	0.751	38.881	0.454	0.175	2.594	-0.003	1.099
有效锌	指数模型	2.000	3.066	65.232	1.020	1.015	1.004	0.003	0.991
有效铁	穴效应模型	3 614.000	7 343.200	49.216	0.245	0.170	1.441	-0.005	1.018
有效锰	高斯模型	336.560	624.420	53.900	0.348	0.137	2.540	0.007	1.037
有效硼	球状模型	0.035	0.051	68.627	1.015	0.405	2.506	-0.007	0.992

表5 烟叶中微量元素含量的半方差函数模型及其拟合参数

Table 5 Semivariogram models of tobacco micronutrient and corresponding parameters

元素	最优模型	块金值	基台值	块金效应/%	长轴变程/ km	短轴变程/ km	各向异性比	标准化平均 误差	标准化均方根 误差
铜	指数模型	13.046	19.524	66.820	0.136	0.044	3.090	0.003	0.990
锌	指数模型	70.932	164.351	43.159	0.158	0.123	1.285	-0.009	1.011
铁	高斯模型	10 923.000	17 952.400	60.844	0.201	0.085	2.365	-0.003	0.999
锰	穴效应模型	6 968.900	11 625.300	59.946	0.832	0.511	1.628	-0.004	1.030
硼	高斯模型	36.950	36.950	100.000	0.976	0.976	1.000	0.025	0.918

## 2.4 海拔高度、pH 值、有机质及微量元素含量的空间分布特征

### 2.4.1 海拔高度、pH 值、有机质含量的空间分布

由封三图 1 可以看出,陆良县海拔呈四周高、中间低的趋势;芳华镇北部、小百户乡西北部、召夸镇及核桃村乡的海拔较高,最高是芳华镇北部与核桃村乡,海拔超过 2 100 m;pH 值呈中部高,东西低的趋势;小百户乡、活水乡、核桃村乡及双箐口乡的 pH 值较低,为 5.80~4.28;板桥镇、大莫古乡东部和马街镇西部的 pH 值较高,为 6.16~7.68;有机质含量以北部、东部、南部边缘较高,中部与西部的较低;芳华镇、板桥镇北部及活水乡、核桃村乡、双箐口乡、召夸镇的含量较高,为 35.27~82.51 g/kg;中枢镇、大莫古乡、小百户乡的含量较低,为 11.18~20.6 g/kg。

### 2.4.2 土壤有效铜与烟叶铜含量的空间分布

由封三图1,图2-A、B可以看出,陆良县北部的芳华镇与板桥镇的海拔高度和有机质含量都偏高,而烟叶中铜含量却偏低,为3.47~4.27 mg/kg;东部和南部的活水乡、核桃村乡、双箐口乡、召夸镇、马街镇的有机质含量高,但烟叶中铜含量相对较低,为3.47~4.27 mg/kg;中部的小百户乡、中枢镇、三岔河镇的海拔高度和有机质含量都相对较低,而烟叶中铜含量却高达12.26~27.92 mg/kg。

### 2.4.3 土壤有效锌与烟叶锌含量的空间分布

由封三图1,图2-C、D可以看出,烟叶中锌含量的分布基本与土壤有效态锌含量的分布趋势相似,而pH值较高的北部板桥镇和南部的大莫古乡,其烟叶中锌含量相对较低,为20.77~40.36 mg/kg。

pH值较低的小百户乡,其烟叶中锌含量相对较高,达52.11~69.72 mg/kg。

#### 2.4.4 土壤有效铁与烟叶铁含量的空间分布

由封三图1,图2-E、F可以看出,陆良县东部的活水乡、核桃村乡、双箐口乡有机质含量偏高,而烟叶中的铁含量却相对较低,为141.64~351.88 mg/kg;中部和南部的小百户乡、中枢镇、大莫古乡部分地方的有机质含量较低,但其烟叶中铁含量相对较高,达351.88~893.27 mg/kg。

#### 2.4.5 土壤有效锰与烟叶锰含量的空间分布

由封三图1,图2-G、H可以看出,烟叶中锰含量的分布基本与土壤有效态锰含量的分布趋势相似;pH值较高的板桥镇、三岔河镇和大莫古乡、马街镇,其烟叶中锰含量相对较低,为29.89~160.08 mg/kg;pH值较低的小百户乡西部,其烟叶锰含量相对较高,为251.41~466.04 mg/kg;海拔较低的板桥镇、三岔河镇、中枢镇和马街镇,其烟叶中锰含量也相对较低,为29.89~121.22 mg/kg。

#### 2.4.6 土壤有效硼与烟叶硼含量的空间分布

由封三图1,图2-I、J可以看出,陆良县东部和南部的核桃村乡、双箐口乡、召夸镇的海拔高度和有机质含量都相对较高,而烟叶中硼含量却偏低,为4.88~25.26 mg/kg;中部的中枢镇和三岔河镇的海拔高度与有机质含量相对较低,但烟叶中硼含量相对较高,为25.26~35.19 mg/kg。

### 3 结论与讨论

烟叶中微量元素含量的分布是多种因素综合作用的结果。笔者对陆良县域烟叶中微量元素含量进行了相关性分析及空间分布分析。结果表明:5种有效态微量元素均不服从正态分布(服从对数正态分布或近似对数正态分布),说明其受外界因素影响较大;空间分布分析表明,植烟土壤及烟叶中的微量元素含量具有中等的空间相关性。烟叶中微量元素含量主要受土壤微量元素含量的影响,烟叶中铜含量受海拔高度和有机质含量的影响较大;土壤

pH值对烟叶中锌含量有一定影响;烟叶中铁含量受有机质含量的影响较大;烟叶的锰含量受海拔高度、土壤pH值的影响较大;烟叶的硼含量受海拔高度和有机质含量的影响较大。

有研究结果<sup>[14-15]</sup>表明,土壤微量元素的含量高低对烟叶内相对应元素的含量起主要作用,且两者呈极显著正相关,直接作用系数大。本研究结果与前人的有一定差异,可能是因为海拔高度、土壤pH值、有机质含量对烟叶微量元素含量存在一定的影响。土壤pH与土壤有效态微量元素含量呈负相关,阳离子型微量元素含量随pH升高而降低<sup>[16-17]</sup>。本研究中,烟叶中铁和硼的含量与土壤pH未呈现负相关关系,说明还有其他因素影响了其微量元素的吸收。有研究<sup>[18-19]</sup>表明,土壤有机质含量应与微量元素含量呈正相关关系;另有研究<sup>[20]</sup>表明,土壤中的铜含量一般随有机质含量增加而升高,但当有机质含量增加到5%~7%以上时,铜含量即开始下降。本研究结果表明,烟叶的铜、锌、铁、硼含量与土壤有机质含量呈负相关,说明有机质与烟叶各微量元素的关系复杂。海拔高度与烤烟的生长发育和产量、品质有密切的关系<sup>[21]</sup>。随着海拔高度的增加,昼夜温差加大,气温较低,烟叶吸收和储存微量元素的能力也可能受到影响。本研究中,烟叶的锌、锰含量与海拔高度呈正相关关系,而铜、铁、硼含量与海拔高度呈负相关关系,说明海拔高度对烟叶微量元素含量的影响较大。烟叶的微量元素含量主要受土壤有效态微量元素含量的影响,同时海拔高度、pH值、有机质含量也是影响烟叶中微量元素含量的重要因素。烟叶的微量元素含量还可能受其他因素的影响,其影响因子及机理有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 左天觉.烟草的生产、生理和生物化学[M].上海:上海远东出版社,1993:224-226.
- [2] 胡国松,郑伟,王震东,等.烤烟营养原理[M].北京:科学出版社,2000:198-209.
- [3] 程占省.烟叶分级与收购[M].北京:中国华侨出版社,2003:37.
- [4] 查录云.硫与烤烟质量相关性试验研究[J].烟草科技,

- 1993(4): 40-42.
- [5] 刘勤, 张新, 赖辉比, 等. 土壤考验系统硫素营养研究 I. 土壤硫素营养状况及对烤烟生长发育的影响[J]. 中国烟草科学, 2000(4): 20-22.
- [6] 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.
- [7] 李明德, 肖汉乾, 余崇祥, 等. 湖南烟区土壤中、微量元素状况及施肥效应研究[J]. 中国烟草科学, 2005(1): 25-27.
- [8] 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.
- [9] 金立新, 唐金荣, 刘爱华, 等. 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, 2005, 25(3): 364-370.
- [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: 103-166.
- [11] 史舟, 李艳. 地统计学在土壤学中的应用[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 81-97.
- [12] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 65-132.
- [13] 许自成, 王摇林, 肖汉乾. 湖南烟区烤烟锌含量与土壤有效锌的分布特点及关系分析[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 180-185.
- [14] 张晓林, 和丽忠, 陈锦玉, 等. 土壤-烤烟矿质营养元素相互关系的主组分分析[J]. 土壤学报, 2001, 38(2): 193-203.
- [15] sharma B D, arora H, kumar R. Relationships between soil characteristics and total and DTPA-extractable micronutrients in incept sols of punjab[J]. Commune Soil Plant Analyze, 2004, 35(5): 799-818.
- [16] 董国涛, 张爱娟, 罗格平, 等. 三工河流域绿洲土壤微量元素有效含量特征分析[J]. 土壤, 2009, 41(5): 726-732.
- [17] 章程, 谢运球, 吕勇, 等. 广西弄拉峰丛山区土壤有机质与微量元素有效态[J]. 中国岩溶, 2006, 25(1): 63-66.
- [18] wei X R, hao M D, shao M G. Changes in soil properties and the availability of soil micronutrients after 18 years of cropping and fertilization[J]. Soil Till Rees, 2006, 91(1): 120-130.
- [19] 刘铮. 微量元素的农业化学[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 233-242.
- [20] 陆永恒. 生态条件对烟叶品质影响的研究进展[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(3): 43-46.

责任编辑: 杨盛强