

贵州中部山区植烟土壤微量元素分布特征

孟霖^{1,2}, 宋文静¹, 王程栋¹, 梁盟^{1,2}, 王树声¹, 邹焱³, 徐宜民^{1*}

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 青岛 266101; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081, 3. 贵州省烟草科学研究所, 贵阳 550081)

摘要: 利用 GPS 定位在贵州中部山区采集了 165 份代表性土壤样品, 对贵州中部山区不同成土母质发育形成的土壤不同土层有效铁 (Fe)、锰 (Mn)、铜 (Cu) 和锌 (Zn) 含量的垂直分布进行了比较分析。结果表明, 贵州中部山区烟田耕层土壤有效 Fe 和有效 Mn 含量总体处于丰富水平, 而 33.3% 耕层土壤有效 Cu 缺乏, 土壤有效 Zn 极缺乏的土样占总体样本的 6.43%; 与其他成土母质相比, 坡积物发育形成的土壤有效 Fe 含量较高, 土壤有效 Mn 含量以坡积物和岩类风化残积-坡积物发育形成的土壤较高, 而不同成土母质发育形成的土壤有效 Cu 和有效 Zn 含量差异不显著; 在剖面垂直分布上, 不同成土母质发育形成的土壤中微量元素含量均表现出随土层深度增加而递减的规律。

关键词: 贵州中部山区; 土壤微量元素; 成土母质

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119 (2015) 03-0057-06

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2015.03.011

The Distribution of Microelement Contents of Tobacco-growing Fields in the Central Region of Guizhou Province

MENG Lin^{1,2}, SONG Wenjing¹, WANG Chengdong¹, LIANG Meng^{1,2}, WANG Shusheng¹,
ZOU Yan³, XU Yimin^{1*}

(1. Tobacco Research Institute, CAAS, Qingdao 266101, China; 2. Graduate School of CAAS, Beijing 100081, China; 3. Guizhou Tobacco Science Research Institute, Guiyang 550081, China)

Abstract: In order to investigate the characteristics of soil microelements in the central region of Guizhou Province, 165 soil profile samples were collected with GPS positioning and microelement contents of the soil samples were measured. The results showed that the soil samples were generally rich in available iron (Fe) and manganese (Mn), while available copper (Cu) and zinc (Zn) were insufficient. The available Fe content of soils developed from gully debris was higher than those developed from quaternary red clay and carbonate residual-slope wash. No significant difference of the contents of soil available Cu and available Zn was observed among soils originated from different parent materials. At the vertical direction of the soil profiles, the contents of microelement decreased with soil depth.

Keywords: central region of Guizhou province; soil microelement; parent materials

铁、锰、铜、锌等微量元素是烤烟生长所必需的营养元素, 对烤烟的生长发育、生理代谢、产质量均有重要影响, 土壤中微量元素的供给水平受气象因子、成土母质、土壤因子等因素互作影响^[1-3]。相关研究表明, 烟叶微量元素含量和土壤中相对应的微量元素含量呈显著正相关^[4]; 同时, 植株

在吸收土壤养分的过程中, 土壤中微量元素之间存在着广泛的协同和拮抗效应^[5-6]。

成土母质在土壤形成和发育上具有重要的作用, 能直接影响土壤的矿物组成和土壤颗粒组成, 并在很大程度上影响着土壤的理化性质及养分有效性。有研究表明, 成土母质在阐述土壤养分空

基金项目: 国家烟草专卖局特色优质烟叶开发重大专项“中间香型特色优质烟叶生态基础研究”(TS-02-20110012)

作者简介: 孟霖, 男, 在读博士生, 研究方向为烟草品质与生理生态。E-mail: mlbio@126.com。*通信作者, E-mail: yiminx@sohu.com

收稿日期: 2014-12-21

修回日期: 2015-04-05

间变异上比其他因素更为重要,土壤微量元素含量分布也受成土母质的影响^[7]。土壤微量元素有效态的剖面分布在一定程度上可以反映土壤中营养元素的输入、输出和循环^[8]。土壤微量元素剖面分布也受不同土地利用方式变更下植被变化与根系深度变化等对土壤理化性质的影响^[9]。就植烟土壤而言,前人在烟田土壤微量元素有效态分布特征及土壤与烤烟系统中的交互关系等方面已做了大量研究^[10-13],但在土壤微量元素有效态分布与成土母质及其在烟田土壤剖面中垂直分布方面的报道较少。本文研究了贵州中部山区烟田土壤4种微量元素含量在不同成土母质所形成土壤中的垂直分布特征,旨在为植烟土壤的科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

贵州中部山区介于东经 105°33'~108°12'和北纬 25°35'~27°13',属喀斯特低山丘陵地貌,研究区域海拔分布在 850~1400 m,是我国传统中间香型烤烟最典型生态区^[14]。本研究选取遵义、余庆、凯里、黔西、贵定、开阳和西秀 7 县作为代表性取样区。

1.2 土壤样品采集

在典型烟田内,采用随机多点法采集耕层土壤样品,各点土样充分混匀,以四分法留取 2kg 土壤作为待测样品。在相同地块内,挖掘标准土壤剖面(宽 1.0~1.2 m×深 1.2~1.5 m),按土壤发生层分别采集各层土壤样品,用于测定土壤微量元素含量。

1.3 土壤微量元素含量测定

土壤样品置于室内风干,去杂,研磨,过 100 目筛,二乙基三胺五乙酸(DTPA)浸提,利用原子吸收分光光度计(上海-4530F型)测定土壤有效 Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量^[15-16]。

土壤微量元素丰缺判定根据全国第 2 次土壤普查肥力评价标准^[17-18](表 1)。

表 1 我国植烟土壤微量元素丰缺指标

| Table 1 Content grades of soil microelements | | | | | |
|--|------|---------|----------|-----------|-------|
| 指标/(mg·kg ⁻¹) | 极缺乏 | 缺乏 | 适中 | 丰 | 极丰 |
| 有效 Fe | <2.5 | 2.5~4.5 | 4.5~10.0 | 10.0~20.0 | >20.0 |
| 有效 Mn | <1.0 | 1.0~5.0 | 5.0~15.0 | 15.0~30.0 | >30.0 |
| 有效 Cu | <0.1 | 0.1~0.2 | 0.2~1.0 | 1.0~1.8 | >1.8 |
| 有效 Zn | <0.3 | 0.3~0.5 | 0.5~1.0 | 1.0~3.0 | >3.0 |

1.4 数据处理

采用 SPSS 17.0 统计软件进行数据分析,用 Microsoft Excel 2010 软件绘图。

2 结果

2.1 烟田耕层土壤微量元素含量总体状况

由表 2 可知,贵州中部山区烟田耕层土壤有效 Fe 含量平均值为 26.28 mg/kg,变异系数为 42.23%,总体处于适中和丰富水平,其中,凯里耕层土壤有效 Fe 含量较高,而遵义较低;由表 3 可知,贵州中部山区烟田土壤有效 Mn 含量平均值为 113.64 mg/kg,变异系数为 56.26%,总体处于丰富和极丰富水平,其中,西秀耕层土壤有效 Mn 含量较高,而遵义较低;由表 4 可知,贵州中部山区烟田耕层土壤有效 Cu 含量为 3.23 mg/kg,变异系数为 101.87%,属于强变异元素。土壤有效 Cu 含量缺乏(0.1~0.2 mg/kg)和极缺乏(<0.1 mg/kg)的土样占总体样本的 15.24%,其中凯里、开阳和黔西区域土壤有效 Cu 缺乏的土样比例分别为 66.66%、20.0%和 20.0%;由表 5 可知,贵州中部山区烟田耕层土壤有效 Zn 含量平均值为 3.09 mg/kg,变异系数为 63.33%。土壤有效 Zn 含量极缺乏(<0.3 mg/kg)的土样占总体样本的 6.43%,其中凯里和开阳区域土壤有效 Zn 缺乏的土样比例分别为 20.0%和 25.0%。

2.2 不同成土母质耕层土壤微量元素分布特征

贵州中部山区植烟土壤成土母质整体属于混合岩石区,成土母岩主要为碳酸岩或碳酸岩夹碎屑岩,局部地区有碎屑岩、浅变质岩、页岩、粘土岩分布。典型烟田所处地形部位主要为山坡和沟谷两大类,山坡上的成土母质一般为各类岩性风

表 2 贵州中部山区典型烟田耕层土壤有效 Fe 含量

Table 2 Soil available Fe contents of plough layers of typical tobacco-growing fields in the central region of Guizhou Province

| 指标 | 区域 | 均值±标准差/ (mg·kg ⁻¹) | 变异系数/ % | 耕层土壤有效 Fe 含量分布频数/% | | | | |
|----------------------------------|----|-----------------------------------|------------|--------------------|------------|-------------|-------------|-----------|
| | | | | 极缺乏<2.5 | 缺乏 2.5~4.5 | 适中 4.5~10.0 | 丰 10.0~20.0 | 极丰 > 20.0 |
| 有效 Fe/ (mg·kg ⁻¹) | 遵义 | 12.78±3.56b | 27.85 | 0.00 | 0.00 | 16.67 | 50.00 | 33.33 |
| | 贵定 | 31.65±9.30ab | 29.39 | 0.00 | 0.00 | 10.00 | 0.00 | 90.00 |
| | 黔西 | 25.76±11.32ab | 43.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 40.00 | 60.00 |
| | 余庆 | 26.28±16.70ab | 63.55 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 40.00 | 40.00 |
| | 开阳 | 15.61±5.43b | 34.77 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 50.00 | 25.00 |
| | 西秀 | 43.50±15.25a | 35.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| | 凯里 | 46.69±25.70a | 55.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 75.00 |
| | 平均 | 26.28±16.20 | 42.23 | 0.00 | 0.00 | 11.43 | 32.86 | 55.71 |

注：同列不同小写字母表示区域间差异在 P<0.05 水平显著，下同。

表 3 贵州中部山区典型烟田耕层土壤有效 Mn 含量

Table 3 Soil available manganese contents of plough layers of typical tobacco-growing fields in the central region of Guizhou Province

| 指标 | 区域 | 均值±标准差/ (mg·kg ⁻¹) | 变异系数/ % | 耕层土壤有效 Mn 含量分布频数/% | | | | |
|----------------------------------|----|-----------------------------------|------------|--------------------|------------|-------------|-------------|-----------|
| | | | | 极缺乏<1.0 | 缺乏 1.0~5.0 | 适中 5.0~15.0 | 丰 15.0~30.0 | 极丰 > 30.0 |
| 有效 Mn/ (mg·kg ⁻¹) | 遵义 | 31.65±9.51b | 30.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 66.67 | 33.33 |
| | 贵定 | 60.39±54.11a | 54.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| | 黔西 | 147.37±66.10a | 44.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| | 余庆 | 137.03±69.61a | 50.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| | 开阳 | 161.44±76.49a | 47.38 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 80.00 |
| | 西秀 | 121.53±112.10a | 92.24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 75.00 |
| | 凯里 | 136.08±101.26a | 74.42 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 75.00 |
| | 平均 | 113.64 ±48.47 | 56.26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 19.52 | 80.48 |

表 4 贵州中部山区典型烟田耕层土壤有效 Cu 含量

Table 4 Soil available copper contents of plough layers of typical tobacco-growing fields in the central region of Guizhou Province

| 指标 | 区域 | 均值±标准差/ (mg·kg ⁻¹) | 变异系数/ % | 耕层土壤有效 Cu 含量分布频数/% | | | | |
|----------------------------------|----|-----------------------------------|------------|--------------------|------------|------------|-----------|----------|
| | | | | 极缺乏<0.1 | 缺乏 0.1~0.2 | 适中 0.2~1.0 | 丰 1.0~1.8 | 极丰 > 1.8 |
| 有效 Cu/ (mg·kg ⁻¹) | 遵义 | 1.45±0.75b | 51.97 | 0.00 | 0.00 | 28.57 | 42.86 | 28.57 |
| | 贵定 | 1.72±1.08b | 63.00 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 40.00 | 40.00 |
| | 黔西 | 11.81±5.10a | 43.18 | 20.00 | 0.00 | 0.00 | 40.00 | 40.00 |
| | 余庆 | 2.95±3.50b | 118.52 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 40.00 | 40.00 |
| | 开阳 | 1.46±0.87b | 59.57 | 20.00 | 0.00 | 0.00 | 40.00 | 40.00 |
| | 西秀 | 2.33±1.28b | 54.93 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 20.00 | 60.00 |
| | 凯里 | 0.90±1.37b | 152.55 | 33.33 | 33.33 | 0.00 | 0.00 | 33.33 |
| | 平均 | 3.23±3.84 | 77.67 | 10.48 | 4.76 | 12.65 | 31.84 | 40.27 |

表 5 贵州中部山区典型烟田耕层土壤有效 Zn 含量

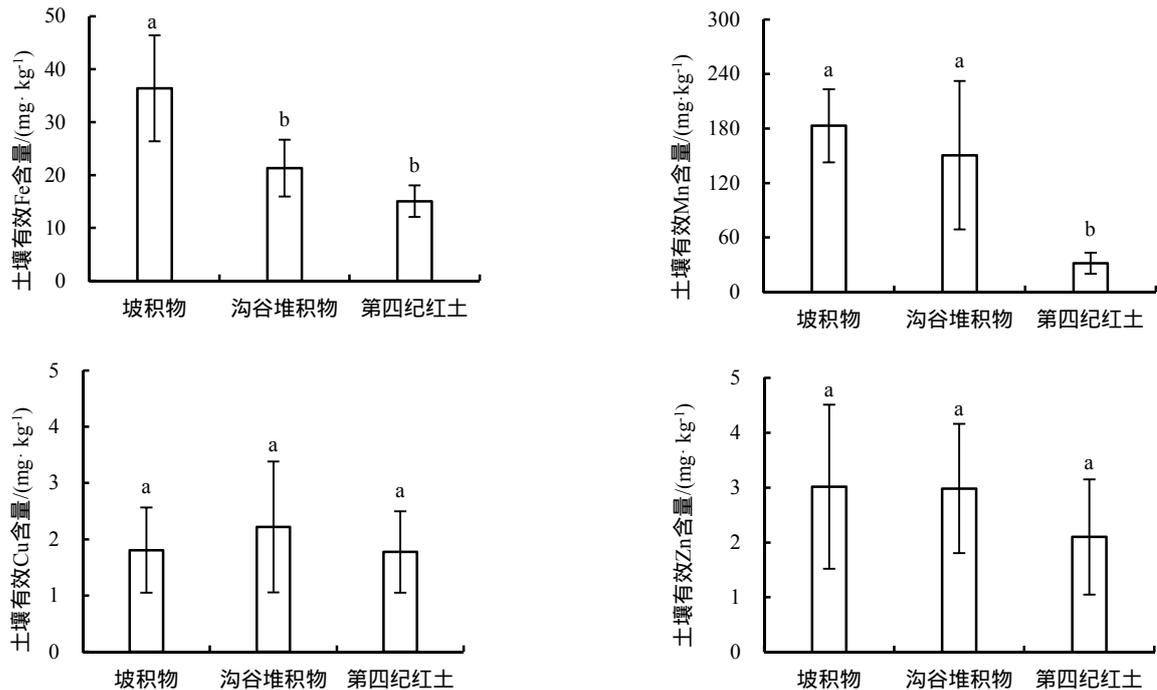
Table 5 Soil available zinc contents of plough layers of typical tobacco-growing fields in the central region of Guizhou Province

| 指标 | 区域 | 均值±标准差/ (mg·kg ⁻¹) | 变异系数/ % | 耕层土壤有效 Zn 含量分布频数/% | | | | |
|----------------------------------|----|-----------------------------------|------------|--------------------|------------|------------|-----------|----------|
| | | | | 极缺乏<0.3 | 缺乏 0.3~0.5 | 适中 0.5~1.0 | 丰 1.0~3.0 | 极丰 > 3.0 |
| 有效 Zn/ (mg·kg ⁻¹) | 遵义 | 1.82±0.37ab | 20.59 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.00 |
| | 贵定 | 3.19±1.21a | 37.97 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 50.00 | 50.00 |
| | 黔西 | 1.70±1.28b | 75.29 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 25.00 | 75.00 |
| | 余庆 | 3.76±0.82a | 21.87 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 20.00 | 80.00 |
| | 开阳 | 2.90±1.87a | 64.49 | 25.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 75.00 |
| | 西秀 | 3.16±1.23a | 38.77 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 40.00 | 60.00 |
| | 凯里 | 5.09±5.95a | 116.84 | 20.00 | 0.00 | 20.00 | 20.00 | 40.00 |
| | 平均 | 3.09±1.16 | 50.09 | 6.43 | 0.00 | 2.86 | 36.43 | 54.29 |

化物残积-坡积物和第四纪红土,沟谷中的成土母质一般为各类岩性风化物、第四纪红土经过搬运后在沟谷中堆积而成。本文将贵州中部山区土壤的成土母质类型划分为第四纪红土、岩类风化残积-坡积物和沟谷堆积物三大类。

贵州中部山区不同成土母质土壤耕层微量元素含量分析结果显示(图1),不同成土母质发育

形成的土壤微量元素含量存在一定的差异。与其他成土母质相比,坡积物发育形成的土壤有效 Fe 含量较高,且与其他两类成土母质发育形成的土壤间差异达显著水平;土壤有效 Mn 以坡积物和岩类风化残积-坡积物发育形成的土壤含量较高,而不同成土母质发育形成的土壤有效 Cu 和土壤有效 Zn 含量差异不显著。



注:图中不同小写字母表示不同成土母质间差异在 $P < 0.05$ 水平显著。

图1 不同成土母质土壤微量元素含量分布

Fig. 1 Soil microelement contents of different parent materials

2.3 不同成土母质土壤微量元素含量剖面垂直分布规律

由表6看出,不同成土母质发育形成的土壤在土层数和土壤厚度上有较大差异,岩类风化残积-坡积物形成的土壤一般位于山坡上,由其发育形成的土壤较浅,发生层一般划分出3~4层;沟谷堆积物形成的土壤多位于河谷中,其形成的土壤较深,发生层一般划分出5层左右;第四纪红土发育的土壤pH较高,黏粒含量高,发生层一般划分出4层。不同成土母质发育形成的土壤微量元素含量随土层深度均表现出由上而下逐次递减的规律,其中,第四纪红土发育形成的土壤耕作

层(Ap层)和土壤黏化层或雏形层(B层)的4种微量元素均低于其他两个母质;岩类风化残积-坡积物形成的土壤Ap层和AB层的有效Fe、有效Mn和有效Zn含量较高,沟谷堆积物形成的土壤Ap层有效Cu含量较高。

3 讨论

土壤微量元素有效态分布主要受成土母质及土壤形成过程中迁移过程的影响^[19],人为耕作制度对土壤微量元素的分布也有一定的影响^[20]。同时,土壤微量元素含量反映了土壤生态过程的变化及生物有效性^[21]。丁伟^[22]研究表明,贵州全省

表6 不同成土母质烟田微量元素含量剖面层次分布

Table 6 Profile distribution of soil microelement contents of different parent materials

| 成土母质 | 土层数/层 | 土层 | 土层深度 (平均值±标准差)/cm | 土壤有效 Fe/ (mg·kg ⁻¹) | 土壤有效 Mn/ (mg·kg ⁻¹) | 土壤有效 Cu/ (mg·kg ⁻¹) | 土壤有效 Zn/ (mg·kg ⁻¹) |
|------------|-------|----|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 岩类风化残积-坡积物 | 3.58 | Ap | 27.35±5.04 | 36.39±10.03a | 183.01±40.25a | 1.81±0.75a | 3.02±1.50a |
| | | AB | 15.00±2.87 | 32.86±21.95a | 96.15±57.09b | 1.13±0.75a | 2.12±1.67ab |
| | | B1 | 28.14±5.89 | 28.98±23.23a | 76.45±58.99bc | 1.04±0.88ab | 1.05±1.12bc |
| | | BC | 33.24±7.27 | 24.89±11.58a | 44.02±27.34c | 0.60±0.31b | 0.44±0.27c |
| 沟谷堆积物 | 4.78 | Ap | 25.14±4.30 | 21.28±5.38a | 150.60±81.86a | 2.21±1.16a | 2.98±1.18a |
| | | AB | 17.20±2.28 | 18.51±8.21a | 62.60±46.42b | 1.66±1.32ab | 1.45±0.95b |
| | | B1 | 25.33±4.96 | 20.93±9.31a | 32.76±18.27c | 0.92±0.73b | 0.89±0.65bc |
| | | B2 | 28.80±9.73 | 15.76±5.57ab | 42.82±25.15c | 0.92±0.71b | 0.56±0.33c |
| 第四纪红土 | 4.14 | B3 | 20.25±7.32 | 9.97±5.19b | 32.54±25.41c | 0.50±0.18b | 0.49±0.61c |
| | | Ap | 26.00±4.69 | 15.03±2.99a | 31.41±11.62a | 1.77±0.72a | 2.09±1.05a |
| | | AB | 18.00±1.41 | 16.32±5.51a | 28.87±17.24a | 1.70±0.88a | 1.21±0.38a |
| | | B1 | 27.00±8.54 | 10.06±6.49a | 23.40±16.45a | 0.80±0.51b | 0.46±0.41b |
| | | B2 | 32.33±8.73 | 8.97±3.77a | 17.21±16.79a | 0.63±0.61b | 0.26±0.13b |

注：Ap-耕作层，AB-过渡层，B-黏化层或雏形层，BC-过渡层，C-母质。

植烟土壤中 Fe 和 Mn 含量非常丰富，平均含量分别为 37.16 和 44.64 mg/kg；而土壤中 Cu 和 Zn 含量在黔东南和黔西南部分植烟区较缺乏，这与本文研究结果基本一致。本文研究表明，贵州中部山区烟田耕层土壤有效 Fe 和有效 Mn 含量总体处于丰富水平，而 33.33% 的土样有效 Cu 缺乏，土壤有效 Zn 极缺乏的土样占总体样本的 6.43%。这可能与该植烟区土壤成土母质中 Fe 和 Mn 含量较多而 Cu 和 Zn 含量较少有关。针对贵州中部山区土壤有效性 Cu 和 Zn 含量偏低的情况，这些烟田可施用 Cu 和 Zn 微肥，以满足烤烟对有效 Cu 和 Zn 的需求。

本文研究结果表明，不同成土母质发育而来的土壤微量元素含量存在一定的差异。与其它成土母质相比，坡积物发育形成的土壤有效 Fe 含量较高，且与其它两类成土母质发育的土壤间的差异达显著水平；土壤有效 Mn 含量以坡积物和岩类风化残积-坡积物发育形成的土壤较高，而不同成土母质发育形成的土壤有效 Cu 和 Zn 含量差异不显著。主要是因为石灰岩母质和页岩母质发育的土壤各种养分含量均较高，这主要是其土壤黏粒较多，而花岗岩母质和砂岩母质发育的土壤砂粒较多，因此其土壤养分含量相对较低。同时不同母质发育的土壤微量元素含量不同，这与土壤的矿物类型有关，不同矿物类型土壤微量元素含量存在本质的差异^[23]。

母质类型影响土层深度和养分的剖面分布^[24]，本文研究表明，岩类风化残积-坡积物发育形成的土壤土层较深且各个发生学层次养分含量较高，第四纪红土发育形成的土壤土层相对较浅且各个发生学层次养分含量较低，典型剖面微量元素有效态含量表现出自上而下随土层深度递减的规律。对于农田来说，施肥主要集中在表土层，而土壤的微生物群落大部分也在表土层，所以土壤养分的迁移和转化主要发生在表土层，因此长期的施肥会导致表土层养分含量的升高。对不同成土母质发育土壤的研究表明^[12-13]，随着土壤深度的增加，人为活动的影响也越来越小，残留在土壤中的植物根系数量越来越少，导致典型剖面微量元素含量表现出自上而下依次递减的规律。

4 结 论

贵州中部山区烟田耕层土壤有效 Fe 和有效 Mn 含量总体处于丰富水平，而 33.33% 耕层土壤样品有效 Cu 缺乏，6.43% 土壤样品中有效 Zn 极缺乏；有效 Fe 含量以坡积物发育形成的土壤较高，且与其他两类成土母质发育形成的土壤间差异达显著水平；土壤有效 Mn 以坡积物和岩类风化残积-坡积物发育形成的土壤含量较高，而不同成土母质发育形成的土壤有效 Cu 和土壤有效 Zn 含量差异不显著；不同成土母质发育形成的土壤微量元素有效态含量均随土层深度由上往下逐次递减。

参考文献

- [1] 龙怀玉, 张认连, 刘建利, 等. 中国烤烟中部叶矿质营养元素浓度状况[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 450-457.
- [2] 徐雪芹, 许霏飞, 王维刚, 等. 微量元素对烤烟香气品质的影响[J]. 广东农业科学, 2012(3): 30-34.
- [3] 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, 26(1): 25-27.
- [4] 周翔, 梁洪波, 董建新, 等. 山东烟区烤烟化学成分含量变化及聚类分析[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 13-17.
- [5] 陈伟, 唐远驹, 潘文杰, 等. 烤烟不同部位叶片烟碱含量与中微量元素的关联分析[J]. 烟草科技, 2012(8): 54-59, 65.
- [6] 刘国顺, 王佩, 段史江, 等. 增施微量元素肥或生物肥对烤烟化学品质的影响[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(3): 241-246.
- [7] 陈留美, 张甘霖. 土壤时间序列的构建及其在土壤发生研究中的意义[J]. 土壤学报, 2011, 48(2): 419-428.
- [8] Pang J L, Huang C C. Mid-Holocene soil formation and the impact of dust input in the middle reaches of the Yellow River, Northern China[J]. Soil Science, 2006, 171(7): 552-563.
- [9] 郑庆福, 刘艇, 赵兰坡, 等. 东北黑土耕层土壤黏粒矿物组成的区域差异及其演化[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 736-746.
- [10] 蔡方平, 胡雪峰, 杜艳, 等. 安徽郎溪黄棕色土-红土二元结构土壤剖面的成因与长江流域第四纪晚期古气候演变[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 220-229.
- [11] 王影影, 梁洪波, 王勇, 等. 山东植烟土壤与烤烟微量元素分布特点及相关分析[J]. 中国烟草科学, 2014(2): 64-68.
- [12] Jobbágy E G, Jácson R B. The distribution of soil nutrients with depth: Global pattern and the imprint of plants[J]. Biogeochemistry, 2001, 53: 51-77.
- [13] Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J, et al. Pedogenic and anthropogenic influence on calcium and magnesium behaviors in stagnic anthrosols[J]. Pedosphere, 2005, 15: 341-346.
- [14] 尚斌, 邹焱, 徐宜民, 等. 贵州中部山区土壤有机质含量与海拔和成土母质之间的关系[J]. 土壤, 2014, 46(3): 446-451.
- [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, 2000.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [17] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [18] 全国土壤普查办公室. 中国土壤普查技术[M]. 北京: 农业出版社, 1992: 85-116.
- [19] 陈江华, 刘建利, 李志宏, 等. 中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [20] 李军, 梁洪波, 宛祥, 等. 土壤养分状况及其与成土母质的关系研究[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(3): 21-25.
- [21] Scarciglia F F, Terribile F, Colombo C. Micromorphological evidence of paleo-environmental changes in Northern Cilento (South Italy) during the Late Quaternary[J]. Catena, 2003, 54(3): 515-536.
- [22] 丁伟. 贵州植烟土壤微量元素含量状况与微肥施用[J]. 烟草科技, 2002(11): 35-38.
- [23] Chen T H, Xu H F, Xie Q Q. Characteristics and genesis of maghemite in Chinese loess and paleosols[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2005, 240(3/4): 790-802.
- [24] 姜林, 耿增超, 李珊珊, 等. 祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布[J]. 生态学报, 2012, 32(11): 3368-3377.