

毕节地区植烟土壤有效态微量元素含量评价

刘国顺¹, 腊贵晓¹, 李祖良¹, 翟欣², 魏跃伟¹, 代昌明²

(1. 国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南农业大学烟草学院, 郑州 450002; 2. 贵州省烟草公司毕节地区公司, 贵州 毕节 551700)

摘要: 对毕节地区 298 个植烟土壤样品的有效态微量元素 Cu、Zn、Fe、Mn、B 和 Mo 的含量及丰缺特性进行了分析, 以期对毕节烟区平衡施肥及提高烟叶品质提供依据。试验结果表明, 毕节地区植烟土壤中有效态 Cu、Fe、Mn 含量极丰富, Zn 含量丰富, 有效硼和有效钼的含量比较缺乏, 超过 1/2 的土壤缺硼, 超过 2/5 的土壤缺钼。土壤中有有效态 Zn、Fe 和 Mn 的含量与 pH 呈显著性负相关, 有效钼含量与 pH 呈显著性正相关。土壤中有有效 Fe、Zn、Mn 和 B 的含量与有机质含量呈显著性正相关。综上所述, 毕节烟区要适当补充 B 肥和 Mo 肥, 对 Cu、Zn、Fe 和 Mn 等元素要通过控制施入量或土壤改良来降低其有效含量, 防止土壤重金属污染。

关键词: 毕节; 烟草; 土壤; 微量元素; 含量; 分级

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119 (2012) 03-0023-05

DOI: 10.3969/j.issn.1007-5119.2012.03.005

Evaluation of Available Micronutrient Contents in Tobacco Planting Soils in Bijie

LIU Guoshun¹, LA Guixiao¹, LI Zuliang¹, ZHAI Xin², WEI Yuewei¹, DAI Changming²

(1. National Tobacco Cultivation, Physiology and Biochemistry Research Center, College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Bijie Tobacco Company of Guizhou Province, Bijie, Guizhou 551700, China)

Abstract: Available micronutrient contents, including Cu, Zn, Fe, Mn, B and Mo, in 298 tobacco-grown soil samples of Bijie area were tested and evaluated. The results indicated that soil available Cu, Fe and Mn were extremely rich and available Zn was rich in Bijie, however, more than 50% and 40% of tobacco-grown soils were deficient in available B and Mo, respectively. There was a significantly negative correlation between the content of available Zn, Fe and Mn and the pH in the soil, while there was negative correlation between available Mo and pH. Moreover, there was a positive correlation between the available Zn, Fe, Mn and B content and the organic matter content. As a whole, B and Mo fertilizers should be added, and the amount of Cu, Zn, Fe and Mn should be controlled for tobacco production in case of heavy metal contamination in Bijie.

Keywords: Bijie; tobacco; soil; micronutrient; content; classification

土壤中微量元素如铜(Cu)、锌(Zn)、铁(Fe)、锰(Mn)、硼(B)和钼(Mo)等是作物营养物质的重要组成部分^[1], 其在促进作物生长代谢、产量提高及品质改善方面具有十分重要的作用^[2]。土壤中任何一种微量元素过量或缺乏都会影响其上种植作物的生长, 并且在一定程度上影响人和动物的健康。然而长期以高产为目的的农业生产只注重大量元素氮(N)、磷(P)、钾(K)等化学肥料的投入, 导致土壤中微量元素养分失衡严重^[3-4]。植烟土

壤、水稻土、红壤均被报道出存在微量元素失衡的现象^[5-8]。微量元素失衡已经成为制约农业生产的重要因素^[9]。分析土壤中微量元素含量及其评估, 有助于了解土壤中微量元素丰缺状况, 为合理施肥及改善品质提供依据。笔者以毕节地区植烟土壤为研究对象, 研究了植烟土壤中微量元素的含量, 并进行了分级评价, 旨在为毕节烟区烟草生产的合理施肥及提高烟叶品质提供事实及理论依据。

基金项目: 贵州中烟科技项目“品牌导向的原料体系研究”(30800076)

作者简介: 刘国顺, 教授, 博士生导师, 主要从事烟草栽培生理生化研究。E-mail: liugsh1851@163.com

收稿日期: 2011-08-09

修回日期: 2011-11-08

1 材料与方法

1.1 研究区概况

毕节地区位于贵州省西北部，地处东经 103°36'~106°43'、北纬 26°21'~27°46'，属低纬高海拔山区，地势西高东低，大部分地区属亚热带湿润气候，境内海拔 457~2300 m。烤烟年种植面积 4.67~5.33 万 hm²，产量 9000~10 000 万 kg。

1.2 土壤样品采集

采样在毕节烟区的织金、黔西、纳雍、金沙、赫章、大方、毕节市和威宁县等 8 个烤烟种植县(市)进行，取样时期在烤烟收获后进行。样品采集深度为 0~20 cm，每个地块取 8~10 个样点土壤，混匀后，风干、磨碎、过筛后待测定。根据烟区地形地貌、成土条件、种植面积，共在毕节地区 8 个县(市)共采集了 298 个土样样品。

1.3 测定方法

土壤中有有效态微量元素 (Cu、Zn、Fe、Mn) 用 DTPA 溶液浸提，ICP-OES 法测定^[10]；有效 B 用沸水浸提，ICP-OES 法测定^[11]；有效钼用 pH 3.3 的草酸-草酸铵提取，硫氰酸铵比色法测定^[12]；pH 用 1:5 土水比提取 pH 计测定，有机质采用重铬酸钾氧化-外加加热法测定^[13]。

1.4 土壤有效态微量元素评价标准

参考已有的国内外研究结果^[14-15]，制定了毕节地区植烟土壤微量元素分级标准及临界值(表 1)。

1.5 数据分析

采用 DPS 软件进行相关性统计分析^[16]。

表 1 有效态微量元素分级标准及临界值 mg/kg

Table 1 The classification levels and critical values of available micronutrients

| 元素 种类 | 分级标准 | | | | | 临界值 |
|----------|-------|-----------|------------|-------------|--------|------|
| | 极低 | 低 | 中 | 高 | 极高 | |
| 有效铜 | 0.10 | 0.10~0.20 | 0.21~1.00 | 1.10~1.80 | >1.80 | 0.20 |
| 有效锌 | <0.50 | 0.50~1.00 | 1.10~2.00 | 2.10~5.00 | >5.00 | 1.00 |
| 有效铁 | <5.00 | 5.00~7.00 | 7.10~10.00 | 10.10~15.00 | >15.00 | 7.00 |
| 有效锰 | <5.00 | 5.00~7.00 | 7.10~9.00 | 9.10~15.00 | >15.00 | 7.00 |
| 有效硼 | <0.25 | 0.25~0.50 | 0.51~1.00 | 1.10~2.00 | >2.00 | 0.50 |
| 有效钼 | <0.10 | 0.10~0.15 | 0.16~0.20 | 0.21~0.30 | >0.30 | 0.15 |

2 结果

2.1 有效态微量元素含量状况

表 2 结果显示，毕节地区植烟土壤中有有效态微量元素含量变异系数在 50.87%~85.16%，离散度比较大。其中有效锰的变幅最大，含量 9.03~288.08 mg/kg，最大值是最小值的 31.90 倍，而有效硼的变幅最小，含量在 0.01~1.87 mg/kg。根据表 1 的分级标准及临界值，有效铜和有效锌中尽管分别以高、极高和中、高等级为主，但仍分别有 2.01%和 5.69%的样品低于临界值(表 3)；有效铁和有效锰的含量均高于临界值，且以高、极高等级为主；土壤中有有效硼和有效钼比较缺乏，低于临界值的土壤样本分别占 57.19%和 42.81%。可见，毕节地区植烟土壤中有有效态铁、锰、铜和锌含量丰富，有超过 1/2 的土壤缺硼，超过 2/5 的缺钼。

2.2 有效态微量元素分布

根据海拔及烤烟质量，将毕节烟区分为东部、西部和东部 3 个烟区。东部烟区主要包括金沙、黔西和织金，中部烟区主要包括大方、毕节和纳雍，西部主要包括威宁和赫章。由表 4 可知，毕节各区植烟土壤平均含量变异系数为 43.01%~86.57%，其

表 2 毕节地区植烟土壤微量元素养分含量

Table 2 The content of available micronutrients in the tobacco-grown soil of Bijie

| 元素 种类 | 平均值/ (mg·kg ⁻¹) | 标准差 | 变异 系数/% | 最大值/ (mg·kg ⁻¹) | 最小值/ (mg·kg ⁻¹) |
|----------|--------------------------------|-------|------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 有效铜 | 2.01 | 1.37 | 68.10 | 11.22 | 0.00 |
| 有效锌 | 3.01 | 2.16 | 71.71 | 17.49 | 0.53 |
| 有效铁 | 39.07 | 32.04 | 82.00 | 213.80 | 8.25 |
| 有效锰 | 70.82 | 60.32 | 85.16 | 288.08 | 9.03 |
| 有效硼 | 0.58 | 0.29 | 50.87 | 1.87 | 0.01 |
| 有效钼 | 0.16 | 0.11 | 67.00 | 0.96 | 0.03 |

表 3 毕节地区植烟土壤有效态微量元素含量 %

Table 3 The evaluation of available micronutrients in tobacco-grown soil of Bijie

| 元素 种类 | 各级分布 | | | | | 临界值以下样品数/个 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
| | 极低 | 低 | 中 | 高 | 极高 | |
| 有效铜 | 1.34 | 0.67 | 12.37 | 41.81 | 43.81 | 2.01 |
| 有效锌 | 0.00 | 5.69 | 38.46 | 40.80 | 15.05 | 5.69 |
| 有效铁 | 0.00 | 0.00 | 2.34 | 10.70 | 86.96 | 0.00 |
| 有效锰 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 6.35 | 93.65 | 0.00 |
| 有效硼 | 32.44 | 24.75 | 22.41 | 13.38 | 7.02 | 57.19 |
| 有效钼 | 8.70 | 34.11 | 51.17 | 6.02 | 0.00 | 42.81 |

中除有效铜含量在毕节东部和毕节中部变异系数小于 50%外,其他微量元素在毕节的 3 个烟区变异系数均大于 50%。毕节各植烟烟区土壤有效铜、锌、铁和锰含量丰富。有效铜、铁和锰主要属高或者极高的水平,但由于离散度较大,在毕节中部和西部仍有一部分土壤中有效铜的含量处于低或极低的水平;而土壤中有效锌的含量在毕节东部和中部以

中和高水平为主,在毕节西部以中、高和极高 3 个水平为主。毕节 3 个烟区植烟土壤中有有效硼和钼含量均缺乏,且土壤中有有效钼的缺乏程度比有效硼严重;从毕节东部到西部植烟土壤中有有效硼和钼的缺乏程度呈明显的规律性,即缺乏严重程度:毕节西部>毕节中部>毕节东部,毕节西部土壤中有近 3/4 的土壤缺钼、将近 1/2 的土壤缺硼。

表 4 毕节地区各片区植烟土壤有效态微量元素含量统计

Table 4 The available micronutrient contents of tobacco-grown soil in different Bijie areas

| 地区 | 元素 | 范围/(mg·kg ⁻¹) | 平均值/(mg·kg ⁻¹) | 标准差 | 变异系数/% | 各级分布/% | | | | | 低于临界值 样品个数/% |
|----------|----|---------------------------|----------------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-----------------|
| | | | | | | 极低 | 低 | 中 | 高 | 极高 | |
| 毕节 东部 | Cu | 0.35~4.99 | 2.03 | 0.87 | 43.01 | 0.00 | 0.00 | 8.91 | 38.61 | 52.48 | 0.00 |
| | Zn | 0.53~8.53 | 3.12 | 2.07 | 66.34 | 0.00 | 7.92 | 35.64 | 39.60 | 16.83 | 7.92 |
| | Fe | 9.06~150.19 | 34.92 | 23.03 | 65.97 | 0.00 | 0.00 | 1.98 | 8.91 | 89.11 | 0.00 |
| | Mn | 11.58~255.47 | 74.71 | 59.12 | 79.14 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 4.95 | 95.05 | 0.00 |
| | B | 0.01~1.87 | 0.64 | 0.35 | 54.19 | 9.90 | 28.71 | 52.48 | 8.91 | 0.00 | 38.61 |
| | Mo | 0.03~0.76 | 0.18 | 0.11 | 58.10 | 18.81 | 24.75 | 28.71 | 18.81 | 8.91 | 43.56 |
| 毕节 中部 | Cu | 0.12~5.78 | 1.65 | 0.75 | 45.73 | 0.00 | 0.88 | 10.53 | 53.51 | 35.08 | 0.88 |
| | Zn | 0.65~11.93 | 2.11 | 1.50 | 71.12 | 0.00 | 7.89 | 54.39 | 34.21 | 3.51 | 7.89 |
| | Fe | 8.25~213.80 | 46.20 | 39.04 | 84.51 | 0.00 | 0.00 | 3.51 | 7.89 | 88.60 | 0.00 |
| | Mn | 11.39~288.08 | 83.62 | 69.63 | 83.26 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 5.26 | 94.74 | 0.00 |
| | B | 0.03~1.61 | 0.53 | 0.25 | 46.96 | 11.40 | 33.33 | 51.75 | 3.51 | 0.00 | 44.74 |
| | Mo | 0.03~0.96 | 0.16 | 0.13 | 78.59 | 37.72 | 19.30 | 23.68 | 10.53 | 8.77 | 57.02 |
| 毕节 西部 | Cu | 0.00~11.22 | 2.49 | 2.15 | 86.57 | 4.76 | 1.19 | 15.48 | 29.76 | 48.81 | 5.95 |
| | Zn | 1.04~17.49 | 4.11 | 2.49 | 60.46 | 0.00 | 0.00 | 20.24 | 51.19 | 28.57 | 0.00 |
| | Fe | 8.32~158.56 | 34.39 | 29.29 | 85.18 | 0.00 | 0.00 | 1.19 | 16.67 | 82.14 | 0.00 |
| | Mn | 9.03~200.77 | 48.79 | 38.93 | 79.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9.52 | 90.48 | 0.00 |
| | B | 0.17~1.76 | 0.56 | 0.27 | 47.61 | 3.57 | 41.67 | 48.81 | 5.95 | 0.00 | 45.24 |
| | Mo | 0.03~0.35 | 0.13 | 0.07 | 50.71 | 41.67 | 32.14 | 13.10 | 10.71 | 2.38 | 73.81 |

2.3 有效态微量元素含量与 pH 的关系

土壤中有有效态微量元素含量受土壤特性影响,如土壤 pH、金属总量、离子交换量、有机质含量和土壤的矿化能力等^[17-19]。室内模拟试验表明,上述影响因素中土壤 pH 对土壤中有有效态微量元素的影响最为显著^[20]。由表 5 可知,毕节地区植烟土壤中有有效铁和有效锰的含量与土壤 pH 呈极显著负相关关系 ($r_{Fe}=-0.4216$, $r_{Mn}=-0.4616$, $n=298$);有效锌含量与土壤 pH 呈显著负相关关系 ($r_{Zn}=-0.1399$, $n=298$);而有效钼的含量与土壤 pH 呈显著正相关关系 ($r=0.1853$, $n=298$)。有效铜和有效硼的含量也呈现出随着 pH 的增加而降低的现象 ($r_{Cu}=-0.0145$, $r_B=-0.0156$, $n=298$),但是二者的负相关关系并不显著。

表 5 土壤中有有效态微量元素含量与 pH 的关系

Table 5 The relationships between available micronutrient contents and pH in tobacco-grown soil

| pH | 样品数/个 | 有效铜/(mg·kg ⁻¹) | 有效锌/(mg·kg ⁻¹) | 有效铁/(mg·kg ⁻¹) | 有效锰/(mg·kg ⁻¹) | 有效硼/(mg·kg ⁻¹) | 有效钼/(mg·kg ⁻¹) |
|-----------|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <4.50 | 1 | 0.23 | 2.41 | 21.96 | 125.87 | 0.45 | 0.20 |
| 4.50~5.50 | 26 | 1.83 | 3.70 | 82.50 | 105.99 | 0.49 | 0.11 |
| 5.50~6.50 | 116 | 2.12 | 3.15 | 42.99 | 99.41 | 0.60 | 0.15 |
| 6.50~7.50 | 118 | 1.99 | 2.83 | 30.70 | 47.84 | 0.61 | 0.19 |
| 7.50~8.50 | 36 | 1.95 | 2.67 | 23.85 | 25.44 | 0.49 | 0.16 |
| >8.50 | 1 | 1.15 | 3.69 | 15.02 | 155.17 | 0.37 | 0.19 |

2.4 有效态微量元素含量与有机质含量的关系

研究表明,土壤有效硼、锌 60%~80%来自土壤有机质的分解,而且有机质保护多种微量元素免遭固定和淋失^[21]。由表 6 可知,土壤中有有效锌、有效铁、有效锰和有效硼的含量都与有机质含量呈显著正相关性,相关系数 r 分别为 0.1252、0.2091、

0.1772 和 0.2705 ($n=298$), 而有效铜和有效钼含量也随有机质含量的增加而增加, 但是二者的正相关关系并不显著, r 分别为 0.0917 和 0.1077 ($n=298$).

表 6 土壤中有效态微量元素与有机质的关系

Table 6 The relationships between available micronutrient content and organic matter content in tobacco-grown soil

| 有机质/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | 样品数/ 个 | 微量元素($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | | | | | |
|--|-----------|--|------|-------|-------|------|------|
| | | 有效铜 | 有效锌 | 有效铁 | 有效锰 | 有效硼 | 有效钼 |
| <10.00 | 56 | 2.24 | 2.81 | 29.23 | 32.40 | 0.46 | 0.13 |
| 10.00~20.00 | 46 | 1.53 | 2.50 | 42.90 | 78.23 | 0.53 | 0.16 |
| 20.00~25.00 | 65 | 1.78 | 2.83 | 39.46 | 91.00 | 0.58 | 0.18 |
| 25.00~30.00 | 54 | 2.01 | 3.30 | 31.93 | 72.01 | 0.57 | 0.15 |
| >30.00 | 77 | 2.34 | 3.42 | 48.61 | 76.22 | 0.70 | 0.17 |

3 讨论

土壤中有效态微量元素除受土壤自身特性的影响外, 还受耕作制度、施用肥料、环境污染等人为因素的影响^[22]。由于长期重视土壤中大量及中量元素, 而不重视微量元素的补给, 或者单一施肥, 使土壤中微量元素含量失衡, 现已成为限制作物高产、高质的重要因素^[23-24]。本研究结果表明, 毕节地区土壤中 Fe、Mn、Cu、Zn 含量丰富或极丰富, 这可能与毕节烟区土壤 pH 大多以酸性或酸性偏中为主、当地烟草种植大量施用自制农家肥以及采矿造成的负面影响有关, 具体的原因还有待进一步研究。而有效硼和有效钼的含量比较缺乏, 有超过 1/2 的土壤缺硼, 超过 2/5 的土壤缺钼; 且从毕节东部到西部, 土壤中 B 和 Mo 的缺乏程度加重。钼通过自身化合物的变价参与植物体内的氧化还原反应, 对氮、磷和碳水化合物的转化和代谢有密切的关系^[25]; 硼促进烟株体内碳水化合物的代谢和运输, 参与蛋白质和生物碱的合成^[26]。大量研究表明^[27-28], 在缺钼、缺硼土壤上增施钼肥和硼肥能显著提高烟株的抗病性, 提高烟叶的产值。因此, 在以后的烟草种植过程中毕节烟区应该适当加大 B 和 Mo 肥的补给。可以通过施用硼砂和钼酸铵做基肥或者后期作为叶面肥进行喷施^[29-30]。

土壤中微量元素含量与土壤 pH 及有机质含量的关系研究的较多^[3,5,8,17,19]。大多数研究认为^[3,5,16], 随着土壤中 pH 的升高, 土壤中 Fe、Mn、Cu、Zn 和 B 的有效性会降低, 但两者的相关性的显著程度

却因元素种类、土壤类型、成土母质的不同而有所差异。在酸性条件下, 随着 pH 的升高, 有效 Cu 和 Zn 含量随之减少, 且元素 Cu 比 Zn 更易受到 pH 变化的影响, 有效 Cu 的含量在 pH 超过 5.5 时其有效性就大大降低, 而元素 Zn 则在 pH 超过 6.2 时有效性才大大降低^[17]。土壤中铁的溶解度受土壤 pH 的影响很大, 三价铁的沉淀主要是由 pH 决定的^[31]。当土壤 pH>7.5 时, 土壤 pH 每升高一个单位, 土壤溶液中 Fe 的活性就将降低 1000 倍^[32,34]。B 在酸性条件下以离子态存在, 在碱性条件下发生固定作用, 有效性降低, 而 Mo 与 B 则相反^[5]。在对毕节地区植烟土壤中微量元素与 pH 关系研究发现, 土壤中有效态 Zn、Fe 和 Mn 的含量与 pH 呈显著负相关关系, 而有效 Mo 的含量与 pH 呈显著正相关关系, 这和前人研究结果一致^[5,17]。但是土壤中有效 Cu 含量与 pH 之间并没呈现显著的负相关关系, 这可能与毕节地区植烟土壤中有一定面积的土壤偏碱性, 在这部分土壤中有效铜的有效性大大降低, 降低了两者的负相关程度。土壤中有有机质是微量元素的重要储备库。本研究中发现, 毕节地区植烟土壤中有效 Zn、Fe、Mn 和 B 的含量与有机质含量呈显著正相关关系, 而有效铜和有效钼的含量却与有机质无显著的相关关系, 这与李晓宁等^[5]的研究结果有差别, 这可能与当地的气候条件、成土母质、施肥措施以及试验条件等有关。

微量元素是植物生长发育必需的元素, 但并不是含量越多越好, 若土壤中微量元素过多就会对土壤造成污染, 影响农作物的生长及品质的形成^[34]。如当土壤中铜含量严重超标时, 植物会出现铜毒害, 铜毒害抑制光合电子转移, 而且破坏光系统, 导致作物光合作用及其产量下降^[34]。同时如果植烟土壤中一些微量元素含量过高, 也会造成烟叶中某些重金属含量过高, 影响烟叶的吸食品质^[35]。因此, 对土壤中含量丰富的微量元素 Cu、Zn、Fe、Mn 可以通过控制烟草生产中这些元素的摄入量或者通过在酸性较大的地方增施石灰的办法来降低其有效态的含量, 避免造成土壤的污染。

参考文献

- [1] 牟金明,王朋辉,宋日,等. 作物根茬留田对土壤有效微量元素动态的影响[J]. 吉林农业科学, 1998(1): 59-61.
- [2] 陆景陵. 植物营养学(上)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.
- [3] 李辉桃,李昌纬,赵伯善,等. 有机肥对土中一些微量元素消长和平衡的影响[J]. 土壤通报, 1994, 25(增刊): 26-29.
- [4] 李志军,李平儒,史银光,等. 长期施肥对关中壤土微量元素有效性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1456-1463.
- [5] 李晓宁,高明,慈恩. 重庆市植烟土壤中有效态微量元素含量评价[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 25-28.
- [6] 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状况研究[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 30-33.
- [7] 朱静,黄标,孙维侠,等. 农田土壤有效态微量元素的时空变化及其影响因素研究[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2007, 43(1): 1-12.
- [8] 郭军玲,吴士文,金辉,等. 农田土壤微量元素含量的空间变异特征和影响因素[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 145-149, 158.
- [9] 张晓霞,李占斌,李鹏. 黄土高原草地土壤微量元素分布特征研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 45-48, 67.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [11] 马玲,刘军,程丽娅. 沸水浸提-ICP法直接测定土壤有效硼[J]. 安徽地质, 2007, 17(3): 193-197.
- [12] 刘国顺,李娟,黄克久. 重庆植烟土壤有效态微量元素状况分析[J]. 烟草科技, 2010(5): 55-59.
- [13] 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.
- [14] 刘铮,朱其清,唐丽华,等. 我国缺乏微量元素的土壤及其区域分布[J]. 土壤学报, 1982, 19(3): 209-22.
- [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] 唐启义,冯明光. 实用统计分析及DPS数据处理系统[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [17] Martinez C E, Motto H L. Solubility of lead, zinc and copper added to mineral soils [J]. Environmental Pollution, 2000, 107(1): 153-158.
- [18] Ziper C, Komarneni S, Baker D E. Specific cadmium sorption in relation to the crystal chemistry of clay minerals [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1988, 52: 49-53
- [19] Stahl R S, James, B R. Zinc sorption by B horizon soils as a function of pH [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1991, 55: 1592-1597.
- [20] Basta N T, Pantone D J, Tabatabai M A. Path analysis of heavy metal adsorption by soil [J]. Agron. J., 1993, 85: 1054-1057.
- [21] 张永娥,王瑞良,靳绍菊. 土壤微量元素含量及其影响因素的研究[J]. 土壤肥料, 2005(5): 35-37.
- [22] 韩晓日,邹德乙,刘杰. 长期施用有机肥和化肥对土壤锌锰铜铁养分平衡的影响[C]//胡思农. 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用—国际学术讨论会论文集, 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 329-398.
- [23] 余存祖,彭琳,刘耀宏,等. 山西省土壤微量元素含量分布与微肥效应[J]. 土壤通报, 1987(4): 163-165.
- [24] 姜城. 不同经营体制下土壤养分空间变异规律及管理技术的研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2000.
- [25] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 朱尊权, 译. 上海: 上海远东出版社, 1993.
- [26] 马光庭. 生态有机肥与农业可持续发展[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3): 191-193.
- [27] 陈志厚,郑国建,吴平,等. 南平烟区中部烟叶含钼状况及烤烟施钼效应[J]. 江西农业学报, 2010, 22(10): 67-69.
- [28] 张志华,向鹏华,方其春. 施硼对烤烟产量和品质的影响研究[J]. 湖南农业科学, 2010(5): 62-63, 66.
- [29] 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.
- [30] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [31] Takahashi M, Overcoming Fe deficiency by a transgenic approach in rice [J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2003, 72(3): 211-220.
- [32] 李燕婷,白灯莎,买买提艾力,张福锁,等. 根际施肥调控技术研究初探[J]. 中国农业科技导报, 2002, 21(5): 55-58.
- [33] Crowley D E, Reid P P, Szanislo P J. Microbial siderophores as iron sources for plant [A]//Winkelmann D, van der Helm J B, Neilands P P. Iron transport in microbes, plants and animals [M]. Herdberg: VCH Verlag, 1987: 375-386.
- [34] 万红友,周生路,赵其国,等. 苏南经济快速发展区土壤Cu、Ni、Pb、Zn形态及其有效性定量分析—以昆山市为例[J]. 土壤学报, 2010, 47(4): 652-658.
- [35] Hsu B, J Lee. Toxic effects of copper on photosystem II spinach chloroplasts [J]. Plant Physiol, 1988, 87(1): 116-119.