

# 山东植烟土壤与烤烟微量元素分布特点及相关分析

王影影<sup>1,2</sup>, 梁洪波<sup>1</sup>, 王勇<sup>3</sup>, 李哲<sup>1,2</sup>, 彭东<sup>1,2</sup>, 于利<sup>1,2</sup>,  
刘海伟<sup>1</sup>, 闫慧峰<sup>1</sup>, 徐宜民<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院烟草研究所, 农业部烟草生物学与加工重点实验室, 青岛 266101; 2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3. 山东中烟工业有限责任公司, 济南 250100)

**摘要:** 为摸清山东烟区土壤-烤烟系统中微量元素的分布特点, 采用野外调查及室内化验分析相结合的方法, 研究了土壤与烤烟中 Fe、Mn、Cu、Zn 的交互关系。结果表明, 山东烟区土壤有效 Fe、Mn 丰富, 有效 Cu 适中, 有效 Zn 较低。山东烟区烤烟 Fe、Mn 含量较高, Cu、Zn 含量适中。逐步回归与偏相关分析结果显示, 烟叶中的微量元素都与土壤中对应的微量元素有效态含量具有显著或极显著的正相关关系, 微量元素之间表现出一定的协同或拮抗关系。本试验结果表明, 山东烟区土壤中应适当补充 Cu、Zn 两种微量元素, 特别是质地较粗的土壤中这 2 种元素缺乏较严重。

**关键词:** 土壤; 烤烟; 微量元素; 分布特征; 多元统计分析

中图分类号: S572.06

文章编号: 1007-5119 (2014) 02-0064-05

DOI: 10.13496/j.issn.1007-5119.2014.02.012

## Distributions and Correlations of Micronutrient Contents between Soil and Flue-cured Tobacco Leaves of Shandong Province

WANG Yingying<sup>1,2</sup>, LIANG Hongbo<sup>1</sup>, WANG Yong<sup>3</sup>, LI Zhe<sup>1,2</sup>, PENG Done<sup>1,2</sup>, YU Li<sup>1,2</sup>, LIU Haiwei<sup>1</sup>,  
YAN Huifeng<sup>1</sup>, XU Yimin<sup>1\*</sup>

(1. Tobacco Research Institute, CAAS, Key Laboratory of Tobacco Biology and Processing, Ministry of Agriculture, Qingdao 266101, China; 2. Graduate School of CAAS, Beijing 100081, China; 3. China Tobacco Shandong Co., Ltd., Jinan 250100, China)

**Abstract:** Field investigation and laboratory analysis were conducted to study the distributive characteristics and relationships of micronutrients between soil and flue-cured tobacco of Shandong Province, thus, to provide a theoretical basis for the flue-cured tobacco production. The results showed that the contents of available Fe and Mn in the plough horizon were plentiful, while those of Cu and Zn were moderate and insufficient, respectively; in most tobacco-growing areas of Shandong, the Fe and Mn contents were in the range of high quality tobacco production in China, and the Cu and Zn contents were moderate. Multiple linear regression analysis and partial correlation analysis showed that the micronutrient contents in tobacco leaves were positively correlated with the available micronutrient contents in soil, there existed synergistic and antagonistic effects among the micronutrients. Therefore, Cu and Zn fertilizers should be applied more in Shandong.

**Keywords:** soil; flue-cured tobacco; micronutrient; distribution characteristic; multivariate statistical analysis

土壤与烤烟中微量元素的含量及交互作用关系到烤烟对微量元素的吸收、积累, 进而影响到烤烟的生理功能及品质<sup>[1-6]</sup>。因此, 了解微量元素的丰缺状况及交互作用对确定烤烟合理的施肥量及施肥方式具有重要意义。

烤烟中微量元素含量受土壤、气候条件、种植品种、烟叶等级等多种因素的影响<sup>[7-8]</sup>。烤烟吸收的

微量元素主要来自土壤, 在一定条件下, 土壤环境状况是影响烟叶中微量元素含量的决定因素。有关植烟区土壤微量元素分布特点及土壤-烤烟系统中微量元素间的相互关系前人已做了大量研究<sup>[9-13]</sup>, 结果认为, 受土壤中元素的综合影响, 元素之间存在着广泛的协同或拮抗关系。山东是我国北方一个重要的烤烟种植省份, 烟区分布范围较广, 土壤类

基金项目: 国家烟草专卖局特色优质烟叶重大专项 (TS-02-20110012)

作者简介: 王影影, 女, 在读硕士, 主要从事烟草栽培和植物营养方面的研究。E-mail: wangyingying505@163.com。\*通信作者, E-mail: yiminx@sohu.com

收稿日期: 2013-03-12

修回日期: 2013-06-28

型、成土母质种类复杂，气候条件各地也有一定差异。因此受这些因素的影响，微量元素在土壤-烤烟系统中的交互作用可能会与其他地区有差别，但目前针对山东烟区的烟叶与土壤中微量元素综合效应的研究甚少。本研究以山东烤烟土壤和烟叶为试验材料，分析了烤烟叶片微量元素及土壤有效态微量元素含量的分布特点及相互关系，以期对山东烟田微肥施用和优质烟叶生产提供科学指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

1.1.1 土样采集 综合考虑地形地貌、成土母质（岩）土壤类型和植烟面积等因素，选取山东临朐、蒙阴、诸城、五莲、费县、莒县 6 个主要植烟区中的代表性烟田。统一采用不锈钢土钻按“S”型取 15 点（每点取一土钻）制成混合土样，采集深度为 0~30 cm。土样在自然条件下风干，除去活体和根系，研磨，过 0.149 mm 筛，自封袋中保存备用。共采集耕层土 37 份，其中花岗岩发育成的棕壤或粗骨土 7 份，石灰岩发育成的褐土 5 份，碎屑类沉积岩（页岩、砂岩）发育成的褐土及钙质粗骨土 19 份，其余 6 份为洪积-冲击物或黄土性物质发育成的褐土。

1.1.2 烟样采集 在采集土样的地块对应采集烟叶样品 C3F（中橘三）37 份，品种为各县（市、区）主栽品种，由专业评级人员按照 GB 2635—92 烤烟标准进行等级评定。等级评定后每个样品取 1 kg 左右，样品烘干后去主脉粉碎，过 60 目筛，用于微量元素测定。

### 1.2 方 法

1.2.1 土样测定 土壤 Fe、Mn、Cu 和 Zn 有效态含量用二乙基三胺五乙酸（DTPA）浸提-原子吸收分光光度计测定<sup>[14]</sup>。

1.2.2 烟样测定 称取约 0.2 g 烟末样品，精确到万分之一，置于消解罐中，加入 5 mL HNO<sub>3</sub> 和 3 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>，用微波消解仪消解。消解结束后，冷却到常温，打开密闭消解罐，将样品消解液转移至 50 mL

PET 瓶中，定容到 50 g 左右，混匀，并记录 PET 瓶中液体的质量。用 RCP-MS 测定溶液中的 Fe、Mn、Cu、Zn，并计算含量。

1.2.3 数据分析 数据分析采用 Excel 进行平均数、标准差和变异系数等的计算，SAS 8.1 进行逐步回归分析和偏相关分析。

## 2 结 果

### 2.1 土壤微量元素有效态含量的分布特点

依据第二次全国土壤普查微量元素分级标准和 1989 年中国科学院在南京召开的微量元素工作会议所制定的土壤微量元素有效态含量丰缺指标（表 1）<sup>[15]</sup>，对山东烟区土壤 Fe、Mn、Cu 和 Zn 有效态含量进行评价。

表 1 土壤 Fe、Mn、Cu、Zn 有效态含量丰缺评价指标 mg/kg  
Table 1 Criteria of soil available micronutrients

微量元素	很缺	缺	适中	丰	很丰
有效铁	<2.5	2.5~4.5	4.5~10.0	10.0~20.0	>20.0
有效锰	<1.0	1.0~5.0	5.0~15.0	15.0~30.0	>30.0
有效铜	<0.1	0.1~0.2	0.2~1.0	1.0~1.8	>1.8
有效锌	<0.3	0.3~0.5	0.5~1.0	1.0~3.0	>3.0

由表 2 可见，山东烟区土壤有效 Fe、Mn 含量丰富，90%以上的样品处于适中-很丰范围内；有效 Cu、Zn 含量适中，在供试样品中土壤有效 Zn 平均值虽高于缺 Zn 临界值 0.5 mg/kg，但位于缺 Zn 临界边缘值 0.5~1.0 mg/kg 的样点占到 62%，为潜在缺锌区，表明山东烟区整体缺 Zn，应当注意适当补充锌肥。

### 2.2 烟叶微量元素含量的分布特点

参照国内外卷烟企业对初烤烟叶微量元素含量的要求，制定烟叶 Fe、Mn、Cu、Zn 含量的评价标准<sup>[16]</sup>（表 3）。

由表 4 山东典型烟区烤烟中部烟叶（C3F）样品 Fe、Mn、Cu、Zn 含量的描述性统计结果可见，山东烟区烟叶中 Fe、Mn 含量较高，Cu 含量适中，Zn 含量较低。表中给出了我国烤烟微量元素含量的正常范围值，但正常范围值并不代表优质烟叶的范

表2 山东植烟区代表性烟田微量元素有效态含量统计分析

Table 2 Statistic analysis of available micronutrient contents in Shandong tobacco planting areas

微量元素	均值±标准差/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	变幅/(mg·kg <sup>-1</sup> )	变异系数/%	各级所占比例/%				
				很缺	缺	适中	丰	很丰
有效铁	18.86±14.97	2.22~50.67	79.34	2.70	5.40	35.14	16.22	40.54
有效锰	27.37±23.24	4.69~101.93	84.91	0	2.70	45.95	10.81	40.51
有效铜	0.83±0.34	0.12~1.57	41.05	0	5.40	76.00	18.60	0
有效锌	0.69±0.34	0.21~2.21	49.50	0	29.70	59.46	10.84	0

表3 烟叶中 Fe、Mn、Cu、Zn 含量丰缺评价指标 mg/kg

Table 3 Criteria of micronutrients in tobacco leaves

微量元素	低	较低	适中	较高	高
铁	<55	55~90	90~120	120~200	>200
锰	<20	20~40	40~150	150~500	>500
铜	<4	4~6	6~15	15~25	>25
锌	<7	7~20	20~50	50~80	>80

围值。根据以往研究结果和生产实践经验，我国优质烤烟烟叶 Fe、Mn、Cu、Zn 含量的分布范围一般 Fe 为 200~800 mg/kg，Mn 为 40~150 mg/kg，Cu 为 15~21 mg/kg，Zn 为 20~80 mg/kg<sup>[17]</sup>。因此山东烟叶 Fe、Mn、Cu、Zn 含量符合我国优质烟叶标准的概率分别是 81.82%、57.58%、13.28%、50.62%。

2.3 烤烟与土壤微量元素含量的相关性

2.3.1 土壤与烤烟微量元素含量逐步回归方程的建立 将烟叶 Fe、Mn、Cu、Zn 含量做为因变量，分别用 Y<sub>1</sub>、Y<sub>2</sub>、Y<sub>3</sub>、Y<sub>4</sub> 表示，土壤有效 Fe、有效 Mn、有效 Cu、有效 Zn 含量做为自变量，分别用

X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub>、X<sub>4</sub> 表示，应用多元回归分析方法建立以下“最优”回归方程，以便对因变量进行预测或控制。

$$Y_1=181.13+2.53X_1+82.09X_3 (R=0.4955^{**})$$

$$Y_2=207.77+2.05X_2-107.75X_3 (R=0.2845^*)$$

$$Y_3=6.58+0.04X_1+10.18X_3 (R=0.5^*)$$

从回归方程可以看出，烟叶的 Fe 受土壤中有效 Fe 和有效 Cu 的影响，并且土壤的有效 Cu 对烟叶吸收 Fe 有促进作用；烟叶 Mn 的含量受土壤有效 Mn 和有效 Cu 的影响，其中土壤有效 Cu 抑制烟株对 Mn 的吸收；烟叶中的 Cu 受土壤中有效 Cu 和有效 Fe 的相互影响；在本试验烟叶中的 Zn 未能与土壤中有效态 Fe、Mn、Cu、Zn 之间建立起显著的回归方程，表明山东烟区烟叶中的 Zn 含量受给定自变量的影响不大，给定自变量不是影响其含量的关键因素，可能受其他未给定因素如海拔、有机质、大量元素等的影响更大。

表4 山东烟区烟叶微量元素含量统计分析

Table 4 Statistic analysis of micronutrient contents in tobacco leaves of Shandong

微量元素	均值±标准差/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	变幅/(mg·kg <sup>-1</sup> )	变异系数/%	各级所占比例/%				
				低	较低	适中	较高	高
铁	306.72±72.36	180.92~560.00	28.99	0	0	0	18.92	81.08
锰	117.73±91.29	43.62~321.63	51.36	0	0	54.05	45.95	0
铜	15.75±3.78	7.88~27.00	24.02	0	2.70	72.90	18.92	5.40
锌	28.96±9.06	12.66~53.44	28.94	0	40.54	56.76	2.70	0

2.3.2 土壤与烟叶微量元素含量的偏相关分析 从土壤与烟叶微量元素含量的偏相关分析结果(表5)看出，烟叶微量元素都与土壤中对应的元素呈显著或极显著的正相关关系，进一步证明了土壤基础肥力对烟叶品质的重要作用。叶片中的微量元素除与土壤中对对应元素有效含量呈显著相关外，与其他微量元素有效含量的相关性都不显著，但是烟叶

表5 土壤与烟叶中微量元素含量的偏相关系数

Table 5 Partial correlation coefficients of the contents of micronutrients between soil and flue-cured tobacco

微量元素	有效 Fe	有效 Mn	有效 Cu	有效 Zn
烟叶铁	0.61**	0.13	0.17	-0.25
烟叶锰	0.27	0.41*	-0.20	-0.29
烟叶铜	0.3	-	0.853**	-
烟叶锌	-0.3	-	-0.2	0.36*

注：\*和\*\*分别表示 5%和 1%的显著水平，“-”表示相关系数小于 0.1。

与土壤中微量元素之间仍然具有一定的相关性,表现出协同或者拮抗作用,这表明土壤与烟叶中微量元素含量关系的复杂性。

### 3 讨论

烟叶中微量元素的含量分布受多种因素的综合影响。研究表明<sup>[18-19]</sup>,土壤微量元素含量的高低对烟叶中对应元素的含量起主要作用,两者呈极显著正相关,且直接作用系数较大。本研究与前人研究结果有相似之处,进一步证明了土壤的基础肥力对烟叶品质的重要作用。另外,元素间的协同或拮抗作用也会影响植株对微量元素的吸收。陈春宏<sup>[20]</sup>研究表明,Fe、Mn之间存在强烈的拮抗关系,Fe能够抑制植株对Mn的吸收累积,同时增加土壤中Mn的含量也会显著降低植物对Fe的吸收。但在本试验中,Fe、Mn并未表现出此关系,可能与土壤中Fe、Mn含量相对平衡有关,还可能因为在陈春宏等的研究中,在高Fe、高Mn的情况下Fe、Mn的拮抗作用才会明显的表现出来,而在本试验供试土样中Fe、Mn含量要显著低于前者研究的Fe、Mn浓度。汪洪等<sup>[21]</sup>研究表明,施锌可以显著降低植株中Fe、Mn的浓度,对植物吸收Fe、Mn有拮抗作用,本试验结果与其有一定的相似性,但相关性不显著,可能是因为山东烟区土壤有效Zn含量偏低。另外,研究表明<sup>[22]</sup>,烤烟不同品种对土壤中微量元素的响应能力也不同,在今后的研究土壤-烤烟系统微量元素交互作用时需进一步统一品种,消除不同品种对结果带来的误差。

### 4 结论

山东烟区土壤Fe和Mn有效态含量丰富,但元素空间分布不均匀,变异性较强。Cu有效态含量适中,Zn有效态含量较低,属缺乏和潜在缺乏水平。山东烟区烤烟Fe含量基本符合优质烟叶含量,Cu、Zn含量低于优质烟叶适宜值的下限,而Mn含量有一半样品高于优质烟Mn适宜值的上限。

土壤与烟叶中微量元素含量关系较复杂,烟叶中的Fe、Cu受土壤中有效Fe和有效Cu的综合影

响,烟叶中的Mn受土壤中有效Mn和有效Cu的综合影响,烟叶中的Zn含量与土壤中有效Zn含量关系不大,具有特异性。烟叶中的微量元素都与土壤中对应的微量元素有效态含量具有显著或极显著的正相关关系,与其他微量元素有效态含量相关性不显著。

#### 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份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] 吴玉萍,杨虹琦,徐照丽,等. 重金属镉在烤烟中的积累分配[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(5): 37-39.
- [8] 赵秀兰,刘晓. 不同品种烟草生长和镉及营养元素吸收对镉胁迫相应的差异[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 117-121, 131.
- [9] 黎根,吴风光,汪健,等. 植烟土壤有效态微量元素分析评价及对策[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(增刊): 87-92.
- [10] 于建军,叶贤文,董高峰,等. 土壤与烤烟中微量元素含量的相关性[J]. 生态学杂志, 2010, 29(6): 1127-1134.
- [11] 赵月,周冀衡,陈习羽,等. 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[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2012, 38(3): 235-240.
- [12] 许自成,王林,肖汉乾. 湖南烟区烤烟锌含量与土壤有效性的分布特点及关系分析[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 180-185.
- [13] Rimmer D L, Luo Y M. Zn-Cu interaction affecting Zn adsorption and plant availability a metal-contaminated soil[J]. Pedsosphere, 1996, 6(4): 335-339.

- [14] 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, 1999: 205-207.
- [15] 王德宣, 富德义. 吉林省西部地区土壤微量元素有效性评价[J]. 土壤, 2002, 34(2): 86-89.
- [16] 袁有波, 陈雪, 罗贞宝, 等. 毕节地区初烤烟叶微量元素含量分布特征[J]. 中国烟草科学, 2007, 28(5): 45-48.
- [17] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2003.
- [18] 于建军, 叶贤文, 董高峰, 等. 土壤与烤烟中微量元素含量的相关性[J]. 生态学杂志, 2010, 29(6): 1127-1134.
- [19] 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.
- [20] 陈春宏. 铁、锰相互作用及其对植物生理生化影响[J]. 土壤肥料, 1992(6): 9-12.
- [21] 汪洪, 刘荣乐, 金继运, 等. 土层水分非均匀供应下施锌对玉米植株中 Ca、Fe、Mn、Cu 吸收积累的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2012, 30(1): 2-7.
- [22] 柳均, 何伟, 周冀衡, 等. 不同品种烤烟对土壤微量元素的响应[J]. 中国烟草科学, 2010, 31(1): 37-40.

## 《中国烟草学报》2014年第2期目次

### 专论

论烟草供应链物流建设.....冰火, 禾木

### 烟草与烟气化学

气袋-热脱附-气/质联用法分析卷烟主流烟气中的气相成分.....郑赛晶, 刘百战, 徐中一, 等

1-L-谷氨酸-1-脱氧-D-果糖的热裂解分析研究.....毛多斌, 李山, 牟定荣, 等

离子色谱法测定烟用香精香料中的硝酸根和亚硝酸根.....王文元, 李青青, 陈兴, 等

$\beta$ -苯乙醇在不同类型多孔材料上的脱附活化能.....王明锋, 熊智勇, 刘娟, 等

### 制造技术

湖南产区浓香型烟叶香韵分布.....邓小华, 邓井青, 肖春生, 等

麦芽精油成分研究及其在卷烟中应用.....邹鹏, 郭东锋, 舒俊生, 等

### 农艺与调制

不同光质 LED 补光对日光温室内光环境及烟苗生长的影响.....薛超群, 王健伟, 杨立均

烤烟硫营养对钙吸收与积累的影响.....朱英华, 周可金, 张国, 吴社兰, 等

复合菌剂对二氯喹啉酸胁迫下烟草根际土壤微生物及酶活性的影响.....刘华山, 张志勇, 韩锦峰, 等

不同氮肥形态下烤烟叶片组织结构的差异及对焦油释放量的影响研究.....李哲, 陈爱国, 金红成, 等

施用腐熟秸秆肥对烤烟根系土壤微生物和酶活性的影响.....曹仕明, 廖浩, 张翼, 等

### 经济与管理

欧盟烟草控制法律法规的分析与探讨.....陈闯, 田忠, 张尚明, 等

中式混合型卷烟发展状况调查分析.....屈湘辉, 辜菊水, 邹鹏

### 现代烟草农业

长沙烟区现代烟草农业的信息化管理探索与实践.....邓少青, 刘文丽, 曾尚梅, 等

烟农合作社问题的新制度经济学理论解析.....钟木龄, 郑少锋

### 生物技术

烟草 SOC1 基因的克隆和表达分析.....石永春, 杨永银, 刘卫群

Beinhart1000-1 抗赤星病基因的 QTL 定位.....高亭亭, 蒋彩虹, 罗成刚, 等

### 综述

卷烟烟气气溶胶粒度的研究进展.....吴君章, 沈光林, 孔浩辉, 等