

土壤与烤烟中微量元素含量的相关性*

于建军^{1**} 叶贤文¹ 董高峰² 刘挺³ 闫鼎¹ 卫盼盼¹

(¹ 河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州 450002; ² 云南省烟草科学研究院, 昆明 650106; ³ 四川省烟草公司凉山州分公司会理县营销部, 四川会理 615100)

摘要 通过分析四川省会理烟区土壤及红花大金元烟叶各 30 份样品中微量元素含量, 研究了会理烟区植烟土壤与烟叶中微量元素含量之间的定量关系。结果表明: 会理烟区大部分土壤中微量元素含量在较适宜的范围内, 但部分土壤水溶性硼、有效锌含量较低, 烟叶中铜元素、镁元素含量较缺乏; 利用多元线性逐步回归分析得到土壤与烟叶中微量元素的回归方程, 其中烟叶中的锰、锌含量均受到土壤中 5 个中微量元素的综合影响, 而钙含量仅受到土壤中有效锰和交换性钙的影响; 偏相关和通径分析结果表明, 烟叶中微量元素与其对应的土壤中微量元素呈极显著正相关, 且直接作用系数最大。土壤中的中微量元素之间存在着广泛的协同或拮抗效应, 其中土壤有效锰的含量对烟叶所有中微量元素含量的影响最大, 而烟叶锌含量受土壤中其他中微量元素的影响最大。

关键词 会理烟区; 土壤; 烤烟; 中微量元素; 多元统计分析

中图分类号 S572 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)6-1127-08

Relationships of medium and micro elements contents between soil and flue-cured tobacco.

YU Jian-Jun¹, YE Xian-wen¹, DONG Gao-feng², LIU Ting³, YAN Ding¹, WEI Pan-pan¹ (¹Henan Agricultural University, National Tobacco Cultivation, Physiology & Biochemistry Research Center, Zhengzhou 450002, China, ²Research Institute of Tobacco Science of Yunnan Province, Kunming 650106, China, ³Huili County Branch of Sichuan Province Tobacco Company, Huili, 615100, Sichuan, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(6): 1127-1134.

Abstract: Through the analysis of the medium and micro elements contents in 30 samples of soil and flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) cultivar Honghuadajinyuan collected from Huili tobacco-growing areas of Sichuan Province, this paper studied the quantitative relationships of the elements contents between soil and flue-cured tobacco. In most soils of Huili tobacco-growing areas, the medium and micro elements contents were in suitable range; but in parts of the soils, the contents of water-soluble boron and available zinc were lower. The tobacco leaves had low contents of copper and magnesium. Multiple linear regression analysis showed there were significant relationships of the medium and micro elements contents between soil and tobacco leaves. The Mn and Zn contents in tobacco leaves were significantly affected by the contents of five medium and micro elements in soil, but the Ca content in tobacco leaves was only affected by the DT-PA-Mn and exchangeable Ca contents in soil. Partial correlation and path analysis suggested that the micro elements contents in tobacco leaves were positively correlated with the corresponding micro elements contents in soil, and the direct effect coefficient was the maximum. There existed synergistic and antagonistic effects among the medium and micro elements in soil. The contents of all the medium and micro elements in tobacco leaves were most affected by the available Mn content in soil, but the Zn content in tobacco leaves was most affected by the other medium and micro elements in soil.

Key words: Huili tobacco-growing area; soil; flue-cured tobacco; medium and micro elements; multivariate statistical analysis.

* 国家烟草专卖局资助项目(110200201007)。

** 通讯作者 E-mail: yujj5655@163.com

收稿日期: 2009-10-31 接受日期: 2010-03-13

烟叶中所含有的中微量元素对其生长发育和新陈代谢有重要意义,是烟草生长发育所必需的营养元素,每种营养元素都有其特殊功能,这些微量元素的丰缺,将在一定程度上影响烟叶质量的好坏(刘国顺,2003)。烟草中的中微量元素主要有硼、铜、铁、锰、锌、钙、镁等,目前关于烟叶的中微量元素含量对其产质量的影响报道较多(林克惠等,1990;聂新柏和靳志丽,2003;李明德等,2005),主要表现在促进烟株生长发育(Stephenson *et al.*, 1987;李永忠等,2002)、影响烟株生理代谢(Catriona *et al.*, 2002)、提高烟叶内在质量(胡国松和曹志洪,1993;侯庆山和张玉东,1997;许自成等,2007a)、提高烟叶经济性状(Tanaka *et al.*, 1984;左天觉,1993;胡国松等,2000;韩锦峰,2003)等方面。

烟株所需要的中微量元素主要从土壤中吸取,土壤中微量元素的多少及供应状况的好坏直接影响烟叶吸收量的多少,以致对烟叶内在品质产生影响。然而,影响土壤中微量元素的供应状况的因素有很多,特别是土壤营养元素之间的相互作用非常复杂,烟株在吸收土壤养分的过程中,土壤中各营养元素之间存在着广泛的拮抗、协同作用效应(王家玉,1992;鲁如坤,1998)。目前这种综合作用的机理主要认为有3个方面:1)营养元素在作物吸收过程中的交互作用;2)营养元素在作物体内运输过程中的作用;3)营养元素在作物代谢过程中的交互作用(徐照丽和张晓海,2006a)。目前,关于土壤几种元素之间的相互作用已有报道(王文松,1989;左天觉,1993;邵岩等,1995;赵竞英和符云鹏,1998;雷永和和李天飞,2000;徐照丽和张晓海,2006b),但关于土壤中微量元素之间综合效应还鲜有报道。

会理烟区位于四川省西南部,属于中亚热带西部半湿润气候区,是中国优质烤烟生产区之一,所产烟叶具有外观品质较好、化学成分含量比例协调、清香型风格突出、感官质量较好等特点(于建军等,2009)。本文采用多元统计分析方法对会理烟区土壤中微量元素含量与烟叶中微量元素含量之间的相互作用进行了深入分析,旨在明确会理烟区土壤、烟叶的中微量元素含量的丰缺状况,探索土壤中微量元素之间对烟叶中微量含量影响的综合效应,为烤烟营养平衡、合理施肥及提高烟叶质量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

1.1.1 土样采集 2007年在会理县通安区根据GPS定位技术分别采取有代表性的土壤共30个。样品选取土壤类型(紫色土)相同的地块,土壤采集时间选在烟草尚未施用底肥和移栽之前,以反映采样地块的真实中微量元素含量和元素供应能力,同时避开雨季。同一土种取耕层土壤20 cm深度的土样,用棋盘法取混合土样1.0 kg。从田间采来的土样经登记编号后进行预处理,经过风干、磨细、过筛、混匀、装瓶后备测。

1.1.2 烟样采集 在采集土壤的烟田,种植同一烤烟品种(红花大金元),全区烟田采用GAP管理模式,实现统一机耕、统一供苗、统一管理、统一防病、统一采收和统一调制的方针,使得烟叶的大田生产、成熟程度和调制技术严格保持一致。并烘烤后选取中部叶C3F(中桔三)等级样品30份。烤后烟叶由专职评级人员按《烤烟》(GB 2635-92)国标进行分级,等级合格率在85%以上。每样品取2.0 kg,用牛皮纸包好。样品于42℃烘干至恒重、去主脉粉碎、过60目筛、混匀、备用。

1.2 测定及数据分析方法

1.2.1 土样测定方法 将土样风干,剔除植物残体、虫体、石块等杂物,用木槌进行研磨,过100目尼龙筛。有效铜、锌、铁、锰和交换性钙、镁用盐酸溶解后,然后用原子吸收分光光度法测定;水溶性硼用沸水浸提,等离子体原子发射光谱法测定(李酉开,1983)。

1.2.2 烟样测定方法 硼、铜、铁、锰、锌、钙、镁等矿质元素含量采取干灰化法测定(王瑞新,2003),使用体积分数为5%的盐酸(优级纯)溶解、定容;试验用水为去离子水。仪器条件:ICP-MPX光谱仪。VISTA-MPX型电感耦合等离子体发射仪(美国Varian公司)。

1.3 数据处理

将土壤和烟叶中微量元素两两作为具有平行关系的变数,利用DPS统计软件(唐启义和冯明光,2002),数据标准化后进行逐步回归分析,建立多元线性回归方程。同时对回归方程进行显著性检验,并进行偏相关和通径分析。

2 结果与分析

2.1 土壤与烟叶中微量元素含量的描述统计

从表 1 可以看出,土壤的中微量元素以交换性钙的含量最高,平均为 $5672.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,所检测的 30 个样品的可交换性钙的含量都 $>800 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的土壤可交换性钙的临界值(罗建新等,2005),可以满足烤烟正常生长发育需要。交换性镁含量平均为 $247.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大值为 $827.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最小值为 $67.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。有 20% 的土样镁含量小于 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,生产中这些土壤都需要适当补充镁肥(秦松等,2005)。水溶性硼的含量平均为 $0.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,大部分含硼量都处于很低水平,普遍缺硼或严重缺硼,需要全面补充硼元素(龙怀玉等,2007)。有效铜的含量平均为 $1.72 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤有效铜的临界值为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,因此可以充分满足烟株的生长需求(黄元炯等,2005)。有效铁的含量平均为 $29.82 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效铁含量都在临界值 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上(黄元炯等,2005),表明会理烟区土壤有效铁属于极高水平,土壤有效铁含量丰富。土壤中的有效锰的含量平均为 $52.60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最大值为 $124.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最小值为 $27.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤有效锰属于正常水平(李明德等,2005)。而有效锌的含量平均为 $1.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中有效锌含量在临界值 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下的样本占 30%,含量在 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上在 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下的中等水平的样本占 63.33%,在 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上高水平的占 6.7%,这些都表明会理部分植烟土壤中有有效锌的含量是低水平的,其中有效锌含量在 $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下的需要补充锌肥才能够满足烟株生长需要(许自成等,2007c)。总体上看,各指标变幅均较大,相应变异系数较高,说明会理烟区土壤类型的多样性和分类施

肥的复杂性。除交换性钙的峰度系数为负外,其余指标均为正数,为尖峭峰;交换性钙为平阔峰。各指标偏度系数均为正数,因此为正向偏态峰。

如表 2 所示,烟叶的钙含量范围为 $1442.85 \sim 35596.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 $15019.99 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中有 9% 的样品钙含量低于我国烟叶钙含量临界值 $17000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (王瑞新,2003)。烟叶镁含量的正常范围是 $3000 \sim 12000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,当含镁量低于 $1500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,会出现明显的缺镁症状,含镁量达到 $2500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,一般不会出现缺镁症状(Mc-murtrey *et al.*,1987)。镁含量在 $944.32 \sim 10322.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均为 $3643.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有 65.52% 的烟样镁含量低于 $2500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有 25.86% 的样品的镁含量低于 $1500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,整体上会理烟叶镁含量处于低水平的。铁含量在 $58.71 \sim 185.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均 $96.65 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,与我国优质烟叶铁含量临界值范围 $57.69 \sim 295.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 相似(王世济等,2005),而铁含量则处于优质烟叶铁含量的临界值范围内。烟叶硼含量一般在 $10 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (王瑞新,2003)。会理烟叶的硼含量 $13.81 \sim 49.55 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均为 $25.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有 3.92% 的烟样的硼含量稍高于 $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,大部分烟叶硼含量处于适宜的范围内。我国烟叶铜含量正常范围为 $15 \sim 21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (王瑞新,2003)。会理烟叶铜含量为 $6.28 \sim 29.40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 $12.12 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有 80.39% 烟样的铜含量低于下限,表明大部分铜含量缺乏。中国优质烟叶锰含量临界值范围 $22.96 \sim 550.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (王瑞新,2003)。会理烟叶锰含量为 $25.49 \sim 275.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均 $72.16 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,均在优质烟叶锰含量的适宜范围内。锌是烟草需要的微量元素之一,配施锌肥可促进烟株根茎

表 1 会理植烟土壤中微量元素的描述统计分析

Tab.1 Descriptive statistics analysis of contents of medium and micro elements in soil of Huili tobacco-growing areas

中微量元素	变幅 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	平均值 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准差	峰度 系数	偏度 系数
水溶性 B	0.10 ~ 0.36	0.18	0.07	2.12	1.17
有效 Cu	0.82 ~ 4.29	1.72	0.71	1.96	1.16
有效 Fe	17.09 ~ 55.68	29.82	9.34	1.40	1.72
有效 Mn	27.03 ~ 124.98	52.60	24.72	1.27	1.36
有效 Zn	0.62 ~ 2.43	1.27	0.39	2.01	0.99
交换性 Ca^{2+}	839.71 ~ 11718.61	5672.78	2659.35	-0.40	0.14
交换性 Mg^{2+}	67.71 ~ 827.91	247.59	206.32	3.01	1.92

表 2 会理烟区烟叶中微量元素的描述统计分析

Tab.2 Descriptive statistics analysis of contents of medium and micro elements in tobacco leaves of Huili tobacco-growing areas

中微量元素	变幅 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	平均值 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准差	峰度 系数	偏度 系数
B	13.81 ~ 49.55	25.18	7.98	1.94	1.15
Cu	6.28 ~ 29.40	12.12	4.91	3.86	1.48
Fe	58.71 ~ 185.32	96.65	32.36	2.07	1.55
Mn	25.49 ~ 275.25	72.16	56.44	6.06	2.37
Zn	28.25 ~ 116.39	61.53	18.96	1.85	0.96
Ca^{2+}	1442.85 ~ 35596.80	15019.99	8180.97	-0.31	0.09
Mg^{2+}	944.32 ~ 10322.10	3643.16	2383.85	2.81	1.75

叶协调生长,我国优质烟叶锌含量范围为 20 ~ 80 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (王瑞新,2003)。而样品的锌含量 28.25 ~ 116.39 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平均 61.53 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有 9.80% 的烟样锌含量超过了我国优质烟叶锌含量范围的上限。整体上看,烟叶中微量元素含量变幅均较大,变异系数相应较大,说明合理烟叶的中微量元素含量存在着广泛的变异。除 Ca^{2+} 以外,其余指标峰度系数均为正数,属尖峭峰,相对集中, Ca^{2+} 峰度系数为负数,属平阔峰,相对分散。各指标偏度系数均为正,均属正向偏态峰。

2.2 土壤与烟叶中微量元素的逐步回归数学模型的建立

按各自变量对因变量作用大小,依次将对因变量作用最大的自变量引入回归方程,按逐步回归的计算原理及检验剔除原则,每引入 1 个自变量后,对在此之前已引入的自变量重新测验,不显著的立即舍弃,直至既无不显著的自变量从回归方程中剔除,又无显著自变量可以引入回归方程为止,所建立的回归方程即为最优回归方程。按此计算得到的土壤与烟叶中微量元素的逐步回归方程分别为:

$$Y_1 = -0.347989385 + 140.19049971X_1 + 0.0011769207931X_3 + 0.0000019283220348X_6 \\ (R=0.9999^{**})$$

$$Y_2 = 2.690425926 - 13.826078485X_1 + 6.530411470X_2 + 0.011216770836X_4 \\ (R=0.9884^{**})$$

$$Y_3 = -2.712365967 + 3.375140981X_3 - 1.9296358004X_5 + 0.004691134691X_7 \\ (R=0.9970^{**})$$

$$Y_4 = -7.74283296 + 28.016550201X_1 + 1.2493771797X_4 - 7.123843045X_5 + 0.0005507093310X_6 + 0.010069369198X_7 \\ (R=0.9980^{**})$$

$$Y_5 = -1.467282681 + 46.66857814X_1 + 0.14423578202X_4 + 27.635575165X_5 + 0.0012114024040X_6 + 0.014530722891X_7 \\ (R=0.8758^{**})$$

$$Y_6 = -202.1286774 + 3.986465193X_4 + 3.0865702252X_6 \\ (R=0.9990^{**})$$

$$Y_7 = -637.778662 - 213.80549220X_2 + 691.5683307X_5 + 0.16906569687X_6 + 11.364375220X_7 \\ (R=0.9570^{**})$$

式中:分别以土壤中微量元素含量为自变量(X_1 :水溶性 B、 X_2 :有效 Cu、 X_3 :有效 Fe、 X_4 :有效 Mn、 X_5 :有效 Zn、 X_6 :交换性 Ca^{2+} 、 X_7 :交换性 Mg^{2+}),以烤烟中微量元素含量作为因变量(Y_1 :硼含量、 Y_2 :铜含量、 Y_3 :铁含量、 Y_4 :锰含量、 Y_5 :锌含量、 Y_6 :钙含量、 Y_7 :镁含量)。

从以上逐步回归方程可以看出:烟叶中的硼含量受到土壤中的水溶性硼含量、有效铁含量、交换性钙含量等 3 个因素的综合影响。其中土壤中的有效铜起抑制作用。烟叶中的铜含量受到土壤中的水溶性硼、有效铜、有效锰 3 个因素的综合影响,其中土壤中水溶性硼含量抑制烟株对铜的吸收。烟叶中的铁含量受到土壤中的有效铁、有效锌、交换性镁 3 个因素的综合影响,其中土壤有效锌会抑制烟株对铁的吸收,而交换性镁的作用相对较小。烟叶中的锰含量受到土壤中的水溶性硼、有效锰、有效锌、交换性钙、交换性镁 5 个因素的综合影响,其中土壤有效锌含量对烟株吸收起抑制作用。烟叶中的锌含量受到土壤中的水溶性硼、有效锰、有效锌、交换性钙、交换性镁 5 个因素的综合影响,这 5 个因素均对烟株的吸收起促进作用。烟叶中的钙含量受到土壤中的有效锰、交换性钙 2 个因素的综合影响,土壤有效锰对烟株吸收钙起促进作用。烟叶中的镁含量受到土壤中的有效铜、有效锌、交换性钙、交换性镁 4 个因素的综合影响,其中水溶性硼对烟株吸收镁起抑制作用。

以上回归方程经显著性测验均达到极显著水平,表明土壤与烟叶中微量元素的回归方程具有较高的精度。同时分析表明,烟叶中各中微量元素与土壤中微量元素之间存在极显著的线性关系。

2.3 土壤与烟叶中微量元素之间的偏相关分析

土壤与烟叶中微量元素之间的偏相关分析结果(表 3)表明,烟叶中的硼含量仅与土壤中水溶性硼呈极显著正相关,与其他指标偏相关系数均未达到极显著水平,说明土壤中水溶性硼的含量直接决定着烟叶中硼元素的含量。烟叶中的铜含量与土壤中

表3 土壤与烟叶中微量元素之间的偏相关系数

土壤	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	Mg
水溶性 B	1.0000 **	-0.6808 **	-	0.3511	0.2374	-	-
有效 Cu	-	0.9845 **	-	-	-	-	-0.1672
有效 Fe	0.2529	-	0.9951 **	-	-	-	-
有效 Mn	-	0.4846 **	-	0.9961 **	0.4546 *	0.4295 *	-
有效 Zn	-	-	-0.2733	-0.4868 *	0.6458 **	-	0.2890
交换性 Ca ²⁺	0.1126	-	-	0.3469	0.3058	0.9989 **	-0.1433
交换性 Mg ²⁺	-	-	0.3059	0.4741 *	0.2909	-	0.9470 **

* 和 ** 分别表示 5% 和 1% 的显著水平。

有效铜和有效锰呈极显著正相关,但与水溶性硼呈极显著负相关,说明土壤中有效锰的含量可促进烟株对土壤中有效铜的吸收,土壤水溶性硼含量的提高可抑制烟株对有效铜的吸收。烟叶中的铁含量仅与土壤中的有效铁呈极显著正相关,与有效锌呈负相关,但未达到显著水平。烟叶中的锰含量与土壤中的有效锰含量呈极显著正相关,与交换性镁呈显著正相关,但与有效锌呈显著负相关,说明交换性镁可促进烟株对锰元素的吸收,但有效锌对烟株吸收锰元素起抑制作用。烟叶中的锌含量与土壤中的有效锌呈极显著正相关,与有效锰呈显著正相关,说明土壤中有效锰含量可促进烟株对锌元素的吸收。烟叶中的钙含量与土壤中交换性钙含量呈极显著正相关关系,与有效锰呈显著正相关性,说明土壤的有效锰可促进烟株对钙元素的吸收。烟叶中的镁元素与土壤中的交换性镁呈极显著正相关。

2.4 土壤与烟叶中微量元素之间的通径分析

2.4.1 烟叶中硼含量与土壤中微量元素的通径分析 从表4可见:对烟叶硼含量的直接作用按绝对值大小依次为水溶性硼(X_1)、有效铁(X_3)、交换性钙(X_6)。尽管土壤有效铁和交换性钙对烟叶硼含量的直接影响较小,但其通过与水溶性硼对烟叶硼含量的产生的间接通径系数分别为-0.1554和-0.3195,反映出土壤有效铁和交换性钙的影响主要在间接影响上,其影响程度较小。因此,烟叶硼含量主要由土壤中的水溶性硼含量决定。

2.4.2 烟叶中铜含量与土壤中微量元素的通径分析 从表5可见:对烟叶铜含量的直接作用按绝对值大小依次为有效铜(X_2)、水溶性硼(X_1)、有效锰(X_4)。土壤有效锰通过与有效铜对烟叶铜含量的影响较大,反映出土壤有效锰与有效铜之间的协同作用共同影响烟叶铜含量,而水溶性硼尽管其直接作用为负效应,但其通过与有效铜、有效锰之间的协同作用可在一定程度上促进烟株对铜的吸收。

表4 烟叶硼含量与土壤中微量元素的通径分析

Tab.4 Path analysis between the content of B in tobacco leaves and the contents of medium and micro elements in soil

作用因子	相关系数	直接作用系数	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_3$	$\rightarrow X_6$
X_1	1.0000	1.0004	-	-0.0002	-0.0002
X_3	-0.1539	0.0014	-0.1554	-	0.0001
X_6	-0.3186	0.0006	-0.3195	0.0003	-

表5 烟叶铜含量与土壤中微量元素的通径分析

Tab.5 Path analysis between the content of Cu in tobacco leaves and the contents of medium and micro elements in soil

作用因子	相关系数	直接作用系数	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_4$
X_1	0.0030	-0.1604	-	0.1172	0.0462
X_2	0.9777	0.9513	-0.0198	-	0.0461
X_4	0.4536	0.1045	-0.0709	0.4199	-

2.4.3 烟叶中铁含量与土壤中微量元素的通径分析 从表6可见:对烟叶铁含量的直接作用按绝对值大小依次为有效铁(X_3)、交换性镁(X_7)、有效锌(X_5)。尽管交换性镁对烟叶铁含量的直接影响较小,但其通过与有效铁、有效锌对烟叶铁含量的间接影响较大,因而整体上与烟叶铁含量表现为正相关关系。有效锌的直接作用和间接作用均表现为负效应,且间接作用大于直接作用,整体上土壤有效锌会对烟株吸收铁起抑制作用。

表6 烟叶铁含量与土壤中微量元素的通径分析

Tab.6 Path analysis between the content of Fe in tobacco leaves and the contents of medium and micro elements in soil

作用因子	相关系数	直接作用系数	$\rightarrow X_3$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_7$
X_3	0.9965	0.9736	-	0.0066	0.0163
X_5	-0.3024	-0.0231	-0.2770	-	-0.0022
X_7	0.5613	0.0299	0.5296	0.0017	-

表7 烟叶锰含量与土壤中微量元素的通径分析

Tab.7 Path analysis between the content of Mn in tobacco leaves and the contents of medium and micro elements in soil

作用因子	相关系数	直接作用系数	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_6$	$\rightarrow X_7$
X_1	0.4430	0.0283		0.4472	-0.0207	-0.0083	-0.0035
X_4	0.9959	1.0122	0.0125		-0.0306	-0.0054	0.0072
X_5	0.5827	-0.0490	0.0119	0.6312		-0.0087	-0.0027
X_6	-0.1789	0.0260	-0.0090	-0.2102	0.0164		-0.0020
X_7	0.2340	0.0368	-0.0027	0.1977	0.0036	-0.0014	

表8 烟叶锌含量与土壤中微量元素的通径分析

Tab.8 Path analysis between the content of Zn in tobacco leaves and the contents of medium and micro elements in soil

作用因子	相关系数	直接作用系数	$\rightarrow X_1$	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_6$	$\rightarrow X_7$
X_1	0.4636	0.1401		0.1537	0.2390	-0.0543	-0.0149
X_4	0.7582	0.3478	0.0619		0.3529	-0.0353	0.0309
X_5	0.7732	0.5658	0.0592	0.2169		-0.0569	-0.0117
X_6	-0.1453	0.1699	-0.0448	-0.0722	-0.1896		-0.0086
X_7	0.1615	0.1581	-0.0132	0.0679	-0.0420	-0.0093	

2.4.4 烟叶中锰含量与土壤中微量元素的通径分析 从表7可见:对烟叶锰含量的直接作用按绝对值大小依次为有效锰(X_4)、有效锌(X_5)、交换性镁(X_7)、水溶性硼(X_1)、交换性钙(X_6)。水溶性硼、有效锌、交换性钙、交换性镁则主要通过有效锰的间接作用影响烟叶对锰的吸收。尽管交换性钙对烟叶锰含量的直接作用为正效应,但其与有效锰的间接作用为负效应,且影响程度大于直接作用,因而整体上交换性钙会抑制烟株对锰的吸收。

2.4.5 烟叶中锌含量与土壤中微量元素的通径分析 从表8可见:对烟叶锌含量的直接作用按绝对值大小依次为有效锌(X_5)、有效锰(X_4)、交换性钙(X_6)、交换性镁(X_7)、水溶性硼(X_1)。水溶性硼、有效锰、交换性钙通过有效锌的间接作用与直接作用共同影响着烟株对锌的吸收,而交换性镁则主要是通过直接作用对烟叶锌含量起正效应。

2.4.6 烟叶中钙含量与土壤中微量元素的通径分析 从表9可见:对烟叶钙含量的直接作用按绝对值大小依次为交换性钙(X_6)、有效锰(X_4)。尽管有效锰通过与交换性钙的间接作用对烟叶钙含量

表9 烟叶钙含量与土壤中微量元素的通径分析

Tab.9 Path analysis between the content of Ca in tobacco leaves and the contents of medium and micro elements in soil

作用因子	相关系数	直接作用系数	$\rightarrow X_4$	$\rightarrow X_6$
X_4	-0.1861	0.0223		-0.2084
X_6	0.9987	1.0033	-0.0046	

表10 烟叶镁含量与土壤中微量元素的通径分析

Tab.10 Path analysis between the content of Mg in tobacco leaves and the contents of medium and micro elements in soil

作用因子	相关系数	直接作用系数	$\rightarrow X_2$	$\rightarrow X_5$	$\rightarrow X_6$	$\rightarrow X_7$
X_2	0.3491	-0.0641		0.0528	-0.0108	0.3712
X_5	-0.0537	0.1126	-0.0301		-0.0632	-0.0730
X_6	0.1009	0.1886	0.0037	-0.0377		-0.0537
X_7	0.9407	0.9836	-0.0242	-0.0084	-0.0103	

起负效应,但影响程度较小,因而整体有效锰可促进烟叶对钙的吸收。

2.4.7 烟叶中镁含量与土壤中微量元素的通径分析 从表10可见:对烟叶镁含量的直接作用按绝对值大小依次为交换性镁(X_7)、交换性钙(X_6)、有效锌(X_5)、有效铜(X_2)。有效铜、有效锌与交换性钙对烟叶镁含量的直接作用影响程度远小于土壤交换性镁对烟叶镁含量的直接作用,因而烟叶镁含量主要受土壤交换性镁的影响。

综上所述,土壤与烟叶中的各中微量元素之间存在着复杂的相互关系,土壤中每一种元素含量的变化均在一定程度上影响着烟叶各中微量元素的含量,并且土壤中微量元素对烟叶中微量元素的影响包括直接作用和间接作用,因而烟叶各中微量元素的含量是受多种因素综合作用的结果。

3 讨论

采用多元线性逐步回归分析法得到土壤与烟叶中微量元素的回归方程,经显著性测验均达到极显著水平,为预测和估计会理烟区烟叶中微量元素含

量提供了一定的参考依据。利用同样方法也可以探索土壤中微量元素与烟叶致香成分、感官质量、安全性等质量指标的预测方程,为中式卷烟特色优质原料提供理论依据。通过土壤与烟叶中微量元素之间的偏相关和通径分析证明,烟叶中微量元素与其相对应的土壤内中微量元素均呈极显著正相关,且直接作用系数最大,与许自成等(2007b)、张晓林等(2001)研究结果一致。说明土壤中含有的中微量元素对烟叶内相对应的元素起主要作用,因此土壤的基础肥力对烟叶内在品质的影响不容忽视。同时土壤中微量元素与烟叶中微量元素之间又存在着广泛的协同作用或者拮抗作用,烟叶中微量元素中仅有硼和镁的含量由各自相对应的土壤中微量元素含量的高低决定。会理烟区土壤有效锰的含量对烟叶内铜含量、锌含量、钙含量的偏相关系数均达到极显著或显著正相关,且直接作用系数较大,因此可以把土壤中有效锰的含量视作土壤中微量元素最为关键的因素之一,其含量的高低不仅决定了烟叶锰含量的高低,同时也作为协同因子影响着其他元素的含量。陈春宏和张耀栋(1992)认为,铁、锰2元素之间存在强烈的拮抗作用,铁能显著抑制锰的吸收和累积;铁供应增加后,锰的含量迅速下降。在本试验中并未表现出此关系,可能是由于会理烟区土壤有效铁含量、有效锰含量相对平衡造成的。徐照丽等(2006)研究表明,低浓度的铜、锌可促进烤烟对锰的吸收,但较高浓度的铜、锌会抑制植物对锰的吸收,本试验结果与以上结论一致。会理烟区烟叶锌含量受土壤中其他中微量元素的影响最大,其含量由土壤中各种微量元素之间比例及含量共同决定。张晓林等(2001)研究也表明,烟叶中锌元素与土壤锌元素含量关系不大,具有特异性,与本试验结果一致。艾绥龙等(1999)研究表明,锌元素的吸收与钾、钙、镁、锰存在着明显的拮抗作用,本试验与以上研究结果不一致,这可能是由于会理烟区植烟土壤有效锌含量较为缺乏引起的。在本研究中,土壤中交换性镁含量并未对烟株吸收交换性钙产生负面作用,与曹志洪(1995)研究结果不一致,可能是由于会理烟区小部分土壤交换性镁含量偏低的原因造成的。

会理烟区土壤大部分中微量元素含量适宜,变异系数均较大,整体上符合生产优质烟叶的条件;但水溶性硼与有效锌含量较低。会理烤烟大部分中微量元素含量适宜,铜、镁含量偏低。针对会理烟区土

壤中微量元素含量的状况以及土壤与烟叶中微量元素的综合效应,可在实际生产中在不对烟株造成伤害的条件下适当增加锰肥促进烟株对其他中微量元素的吸收,另一方面,通过平衡施肥措施,协调土壤中的铜、镁、锌、铁元素之间的含量和比例,尽可能地减小它们之间的拮抗作用,提高烟叶铜、镁含量。此外烟叶中微量元素含量还受到烟草品种、气候因子和栽培调控措施的影响,因此需要从多方面深入探索烟区生态条件对烟叶中微量元素的影响,优化栽培调控技术,提高烟叶中微量元素的协调性,提高烟叶的工业可用性。

参考文献

- 艾绥龙,马英明,牛瑜德. 1999. 水培条件下烟草锌临界值探讨. 陕西农业科学, (1): 13-15.
- 曹志洪. 1995. 优质烤烟生产的钾素与微肥. 北京: 中国农业科技出版社.
- 陈春宏,张耀栋. 1992. 铁锰相互作用及其对植物生理化的影响. 土壤肥料, (6): 9-12.
- 韩锦峰. 2003. 烟草栽培生理. 北京: 中国农业出版社.
- 胡国松,曹志洪. 1993. 烤烟根际土壤中钾素和微量元素行为的研究. 中国烟草学报, 1(3): 3-11.
- 胡国松,郑伟,王震东,等. 2000. 烤烟营养原理. 北京: 科学出版社.
- 黄元炯,张翔,范艺宽,等. 2005. 河南烟区土壤硫、镁及微量元素的含量与分布. 烟草科技, (3): 33-36.
- 侯庆山,张玉东. 1997. 镁锌硼肥在烤烟生产中应用效果的研究. 土壤, (3): 149-151.
- 雷永和,李天飞. 2000. 烟用化肥与农药. 昆明: 云南科技出版社.
- 李酉开. 1983. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社.
- 李明德,肖汉乾,余崇祥,等. 2005. 湖南烟区土壤中、微量元素状况及施肥效应研究. 中国烟草科学, (1): 25-27.
- 李永忠,蒋志宏,杨志新,等. 2002. 供Mg水平对烤烟主要经济性状的影响. 西南农业大学学报, (3): 200-203.
- 刘国顺. 2003. 烟草栽培学. 北京: 中国农业出版社.
- 龙怀玉,张认连,刘建利,等. 2007. 中国烤烟中部叶矿质营养元素浓度状况. 植物营养与肥料学报, 13(3): 450-457.
- 鲁如坤. 1998. 土壤植物营养学原理和施肥. 北京: 化学工业出版社.
- 罗建新,石丽红,龙世平. 2005. 湖南主产烟区土壤养分状况与评价. 湖南农业大学学报(自然科学版), 31(4): 376-380.
- 林克惠,邓敬宁,彭桂芬. 1990. 镁、锌、硼肥对烤烟几个生

- 理生化指标、产量和品质的影响. 云南农业大学学报, **5**(3): 136-143.
- 聂新柏, 靳志丽. 2003. 烤烟中微量元素对烤烟生长及产质量的影响. 中国烟草科学, (4): 30-34.
- 秦松, 闫献芳, 冯永刚, 等. 2005. 贵州植烟土壤交换性钙镁特征研究. 土壤通报, **36**(1): 143-144.
- 邵岩, 雷永和, 晋艳. 1995. 烤烟水培镁临界值的研究. 中国烟草学报, **2**(4): 52-56.
- 唐启义, 冯明光. 2002. 用统计分析及其 DPS 数据处理系统. 北京: 科学出版社.
- 王家玉. 1992. 植物营养元素交互作用研究. 土壤学进展, **20**(2): 1-10.
- 王瑞新. 2003. 烟草化学. 北京: 中国农业出版社.
- 王世济, 李桐, 赵第锐, 等. 2005. 安徽烟区土壤和烟叶的中微量元素含量的研究. 安徽农业科学, **33**(11): 2065-2066.
- 王文松. 1989. ^{15}N , K 肥对烤烟营养元素吸收规律及产质影响的研究(硕士学位论文). 泰安: 山东农业大学.
- 徐照丽, 吴玉萍, 杨宇虹, 等. 2006. 烤烟中 Cu、Zn、Mn 交互作用. 农业环境科学学报, **25**(5): 1162-1166.
- 徐照丽, 张晓海. 2006a. 烤烟营养元素交互作用研究进展. 西南农业学报, **19**(增刊): 535-538.
- 徐照丽, 张晓海. 2006b. 利用铁、铜间相互作用减轻烤烟铜毒害的研究. 中国烟草科学, (2): 37-40.
- 许自成, 黎妍妍, 肖汉乾, 等. 2007a. 湖南烟区土壤交换性钙、镁含量及对烤烟品质的影响. 生态学报, **27**(11): 4425-4433.
- 许自成, 王林, 关博谦, 等. 2007b. 湖南烟区烤烟锰与土壤有效锰含量的分布特点及关系分析. 中国烟草学报, **13**(5): 27-32.
- 许自成, 王林, 肖汉乾. 2007c. 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. 生态环境, **16**(1): 180-185.
- 于建军, 董高峰, 毕庆文, 等. 2009. 四川会理烟区生态因素与烟叶质量特点分析. 四川农业大学学报, **27**(1): 83-88.
- 张晓林, 和丽忠, 陈锦玉, 等. 2001. 土壤-烤烟矿质营养元素相互关系的主组分分析. 土壤学报, **38**(2): 193-203.
- 赵竟英, 符云鹏. 1998. 钙、铁肥施用量对烟叶矿质营养含量的影响. 河南农业大学学报, **32**(增刊): 80-82.
- 左天觉. 1993. 烟草的生产、生理和生物化学. 上海: 上海远东出版社.
- Catriona M, Macinnis-Ng O, Ralph PJ. 2002. Towards a more ecologically relevant assessment of the impact of heavy metals on the photosynthesis of seagrass, *Zostera capricorni*. *Marine Pollution Bulletin*, **45**: 100-106.
- McMurtrey JR. 1947. Effect of magnesium on growth and composition of tobacco. *Soil Science*, **63**: 59-67.
- Stephenson RA, Parker MB, Gaines TP, et al. 1987. Manganese and soil pH effect on yield and quality of flue-cured tobacco. *Tobacco Science*, **31**: 104-109.
- Tanaka A, Yamaguchi J, Miura S. 1984. Comparison of fertilizer nitrogen efficiency among field crops. *Soil Science and Plant Nutrition*, **30**: 199-208.

作者简介 于建军,男,1957年生,学士,教授。长期从事烟草化学和烟草加工工艺研究。发表论文40余篇。E-mail: yujj5655@163.com
责任编辑 李凤芹
