

罗平烟区土壤有效硼、钼含量与烟叶硼、钼含量的关系分析

穆童¹, 卢秀萍², 许自成^{1*}, 解燕³, 方秀¹, 张森¹

(1. 河南农业大学烟草学院, 河南 郑州 450002;

2. 云南省烟草农业科学研究院, 云南 玉溪 653100;

3. 云南省烟草公司曲靖市公司, 云南 曲靖 655000)

摘要:以罗平县植烟土壤为研究对象, 分析了罗平县土壤有效硼、有效钼含量及其交互与烟叶硼、钼含量的关系。结果表明: (1) 罗平县土壤有效硼含量平均值为 0.540 mg/kg, 变幅为 0.051 ~ 3.033 mg/kg, 变异系数为 77.78%; 土壤有效钼含量丰富, 平均值为 0.489 mg/kg, 变幅为 0 ~ 3.458 mg/kg, 变异系数高达 98.77%。(2) 罗平县烟叶硼含量平均值为 16.301 mg/kg, 变幅为 2.163 ~ 35.684 mg/kg, 符合优质烤烟硼含量范围内的样本数占总数的 88.89%; 烟叶钼含量偏低, 平均值为 0.535 mg/kg, 变幅为 0.059 ~ 4.059 mg/kg, 符合优质烟叶生长发育钼含量的样本数占总样本数的 48.83%。(3) 烟叶硼含量与土壤有效硼含量呈极显著正相关, 相关系数为 0.215, 烟叶硼含量 ($\hat{y}$) 与土壤有效硼含量 (x) 的回归方程为 $\hat{y} = 14.720 + 2.925x$; 烟叶钼含量与土壤有效钼含量呈极显著正相关, 相关系数为 0.411, 烟叶钼含量 ($\hat{y}$) 与土壤有效钼含量 (x) 的回归方程为 $\hat{y} = 0.335 + 0.409x$; (4) 土壤有效硼和有效钼的交互作用对烟叶硼含量存在极显著影响, 但对烟叶钼含量的影响未达到显著水平。

关键词: 罗平烟区; 烤烟; 硼; 钼; 关系分析

中图分类号: S153.6; S572

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 06-0044-07

硼作为植物生长发育不可或缺的微量元素, 对于植株的碳氮代谢、细胞膜透性、细胞伸长和分裂等都有促进作用^[1]。烤烟缺硼会导致顶芽萎缩, 叶基部组织坏死, 烟叶腺毛数量下降, 烟叶薄而易碎, 烟株的抗病能力下降^[2]。相关研究表明, 施用硼肥后烟叶细胞膜透性明显降低, 细胞膜的稳定性增强, 光合强度提高, 整个生育期叶绿素和类胡萝卜素积累量增加且后期降解充分, 中性致香物质含量增加^[3-7]。钼是硝酸还原酶 (NR) 的重要组分, 参与植物体内 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的转化, 促进植物体内氮代谢。烤烟缺钼时, 叶片质体色素含量显著降低, 日净光合速率下降早^[8]。土壤缺钼时增施钼肥, 可以提高烟叶钾含量, 具有显著的增糖降碱作用, 改善烟叶油分状况和化学成分的协调性^[9-10]。近年来, 有关土壤有效硼含量和烟叶硼含量关系以及土壤有效钼含量和烟叶钼含量关系的研究已有报导^[11-13]。

本文以罗平县烟区为基础, 通过对罗平烟区烤烟硼、钼和土壤硼、钼含量的测试分析, 研究了烤烟硼含量与土壤有效硼含量、烤烟钼含量与土壤有效钼的关系, 探讨了土壤中有效硼与有效钼交互对烟叶硼、钼含量的影响, 旨在为罗平烟区烤烟硼肥和钼肥的合理利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 土壤和烟叶样品采集

2014 ~ 2015 年从云南省曲靖市罗平县罗雄镇、大水井乡、板桥镇、钟山乡、旧屋基乡、九龙镇、马街镇、老厂乡、富乐镇、阿岗镇共 10 个乡镇, 选取有代表性的土样 342 个, 通过 GPS 对取样点进行经纬度和海拔高度定位, 采用“S”取样, 平均 5 ~ 15 hm^2 采集一个混合土样, 每个混合样取 10 个点以上, 取样深度 0 ~ 20 cm, 去除表层浮土。用四分法弃去多余部分, 保留 0.5 kg, 经风干、磨碎、过筛等前处理置备待测样。罗平县地处东经 $103^\circ 57' \sim 104^\circ 43'$, 北纬 $24^\circ 31' \sim 25^\circ 25'$ 之间。植烟区海拔高度在 1 400 ~ 2 000 m 之间。土壤类型主要有红壤、黄壤和新积土。

与土壤样品采集点对应, 选取当地主栽品种 K326、云烟 85、云烟 87、云烟 97, 取等级为 C3F (中

收稿日期: 2017-01-12; 最后修订日期: 2017-03-18

基金项目: 中国烟草总公司清香型重大专项 (Ts-03-20110020);

中国烟草总公司云南省公司科技攻关重点项目 (2011YN03)。

作者简介: 穆童 (1991-), 女, 河南焦作人, 在读硕士研究生, 主要从事烟草品质生态学研究。E-mail: atongmu325@126.com。

通讯作者: 许自成, E-mail: zichengxu@126.com。

橘三)的烟叶样品,共计342个,每个烟叶样品取3.0 kg,经烘干、粉碎、过0.25 mm筛用于化学成分测定。

1.2 土壤有效硼、钼及烟叶硼、钼测定方法

土壤中有效硼采用甲亚胺比色法测定(NY/T 1121.8-2006),土壤钼采用极谱法测定(NY/T 1121.9-2006)。烟叶硼、钼采用干灰化法测定。

1.3 数据处理

数据处理采用Excel 2016和SPSS 21.0完成。

2 结果与分析

2.1 罗平烟区土壤有效硼和烟叶硼含量

2.1.1 土壤有效硼含量的描述统计分析

罗平县植烟土壤有效硼含量的平均值为0.540

mg/kg,标准差0.423 mg/kg,高于重庆市(0.39 mg/kg)^[14]、四川凉山州(0.31 mg/kg)^[15]、河南三门峡市(0.40 mg/kg)^[16]。土壤有效硼含量变幅为0.051~3.033 mg/kg,变异范围较大。根据相关资料^[17],将罗平县土壤有效硼含量按照极低(≤ 0.20 mg/kg),低(0.20~0.50 mg/kg),中(0.50~1.00 mg/kg),高(1.00~1.50 mg/kg),极高(> 1.50 mg/kg)5个等级划分(表1)。土壤缺硼的临界值为0.50 mg/kg,当土壤有效硼含量低于0.50 mg/kg,已经无法满足烤烟正常生长发育的需要^[18],罗平县低于该值的样本数占总样本数的59.64%。整体而言,该地区土壤有效硼含量分布不均,部分土壤有效硼含量仍处在较缺乏状态。

表1 罗平县植烟土壤有效硼含量分布

土壤有效硼含量分级 (mg/kg)	样本数	平均值 $\pm$ 标准差 (mg/kg)	变异系数 (%)	变幅 (mg/kg)	分布频率 (%)
≤ 0.20	42	0.145 $\pm$ 0.039 0	26.9	0.051~0.198	12.28
0.20~0.50	162	0.328 $\pm$ 0.079 5	24.24	0.203~0.500	47.37
0.50~1.00	98	0.684 $\pm$ 0.129	18.86	0.503~0.996	28.65
1.00~1.50	29	1.229 $\pm$ 0.145	11.8	1.027~1.470	8.48
> 1.50	11	2.074 $\pm$ 0.494	23.82	1.525~3.033	3.22

2.1.2 烟叶硼含量的分布特点

罗平烟区烤烟叶片硼含量平均值为16.301 mg/kg,变幅为2.163~35.684 mg/kg,低于河南(30.71 mg/kg)、湖北(20.26 mg/kg)、湖南(21.72 mg/kg)以及全国烟区平均值(28.53 mg/kg)^[19-21]。

我国优质烤烟叶片中硼含量的范围一般在10~40 mg/kg^[22],从表2中可以看出,罗平县烟叶硼含量符合优质烤烟叶片硼含量范围内的样本数占总数的88.89%,其中,在10.00~20.00 mg/kg范围内的样本数最多,占总数的64.62%。

表2 罗平县烤烟硼含量分布

烟叶硼含量分级 (mg/kg)	样本数	平均值 $\pm$ 标准差 (mg/kg)	变异系数 (%)	变幅 (mg/kg)	分布频率 (%)
≤ 10.00	38	7.388 $\pm$ 2.006	27.15	2.163~9.987	11.11
10.00~20.00	221	14.896 $\pm$ 2.733	18.35	10.045~19.941	64.62
20.00~30.00	79	23.701 $\pm$ 2.913	12.29	20.143~29.619	23.10
30.00~40.00	4	32.407 $\pm$ 2.452	7.57	30.205~35.684	1.17
> 40.00	—	—	—	—	—

2.1.3 土壤有效硼与烟叶硼含量的关系分析

将土壤有效硼含量划分为5组,计算出每组烟叶硼含量的平均值,分析土壤有效硼含量与烟叶硼含量的关系,见图1,随着土壤有效硼含量的增加,烟叶中硼含量也呈现出增加的趋势。

通过方差分析,比较了不同土壤有效硼含量分组后的烟叶硼含量在组间的差异,经F测验达到显著水平,在此基础上进行多重比较,结果见表3,土壤有效硼含量 > 1.50 mg/kg分组与0.20~0.50 mg/kg及其以下分组存在显著差异。

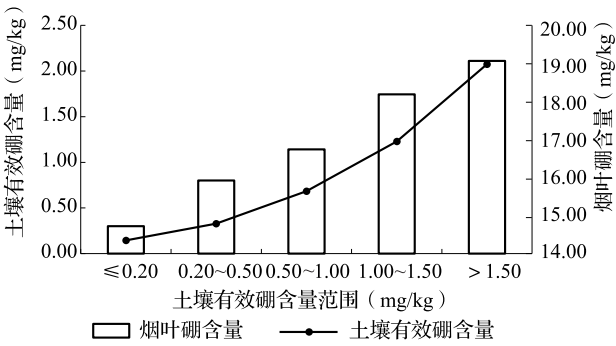


图1 土壤有效硼和烟叶硼含量变化趋势

表3 土壤有效硼对烟叶硼含量的影响

土壤有效硼含量 (mg/kg)	样本数	烟叶硼含量均值 ± 标准差 (mg/kg)
≤0.20	42	14.721 ± 6.166 c
0.20 ~ 0.50	162	15.920 ± 5.463 bc
0.50 ~ 1.00	98	16.739 ± 5.657 abc
1.00 ~ 1.50	29	18.187 ± 6.162 ab
>1.50	11	19.068 ± 6.524 a

注：表中字母不同表示差异达到0.05的显著水平，下同。

将342个样本的烟叶硼和土壤有效硼含量进行相关分析，两者呈正相关关系，与已有的研究相一致^[23-24]，相关系数为0.215，达到1%极显著水平。之后对烟叶样本含硼量($\hat{y}$)与土壤有效硼含量(x)进行回归分析，建立回归方程 $\hat{y} = 14.720 + 2.925x$ 。

将土壤有效硼含量按照低(≤0.50 mg/kg)、中(0.50~1.00 mg/kg)、高(>1.00 mg/kg)分为3组，对每组烟叶样本含硼量($\hat{y}$)与土壤有效硼含量(x)进行回归分析，见表4。土壤有效硼含量>1.00 mg/kg分组，烟叶硼含量与土壤有效硼含量之间的回归方程经F测验未达到5%显著水平，由此可见，土壤有效硼含量过高时，烟叶硼含量并不会随着土壤有效硼含量的升高而显著增加，并且有资料显示，当土壤有效硼含量≥1.00 mg/kg时，会对烤烟产生毒害现象^[25]。选取土壤有效硼含量低于1.00 mg/kg的土壤样品和烟叶样品进行关系分析，如图2。

表5 罗平县植烟土壤有效钼含量分布

土壤有效钼含量分级 (mg/kg)	样本数	平均值 ± 标准差 (mg/kg)	变异系数 (%)	变幅 (mg/kg)	分布频率 (%)
≤0.10	23	0.051 ± 0.040 6	79.61	0.000 ~ 0.096	6.73
0.10 ~ 0.15	29	0.127 ± 0.014 9	11.73	0.102 ~ 0.150	8.48
0.15 ~ 0.20	35	0.179 ± 0.014 0	7.82	0.151 ~ 0.199	10.23
0.20 ~ 0.30	73	0.245 ± 0.028 1	11.47	0.202 ~ 0.296	21.35
>0.30	182	0.759 ± 0.530	69.83	0.300 ~ 3.458	53.22

表4 土壤有效硼对烟叶硼含量回归分析

土壤有效硼含量 (mg/kg)	样本数	回归方程	F 值	r
≤0.50	204	$\hat{y} = 12.589 + 10.607x$	8.110 **	0.196
0.50 ~ 1.00	98	$\hat{y} = 10.149 + 9.638x$	4.882 *	0.22
>1.00	40	$\hat{y} = 14.468 + 2.699x$	1.689	0.206

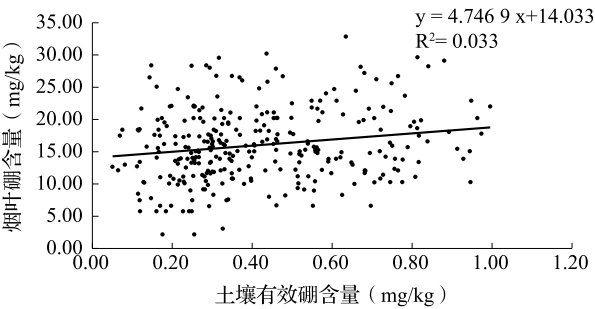


图2 土壤有效硼与烟叶硼含量的关系

2.2 罗平烟区土壤有效钼与烟叶钼含量

2.2.1 土壤有效钼含量的描述统计分析

罗平县植烟土壤有效钼含量丰富，平均值为0.489 mg/kg，标准差0.483 mg/kg，变幅为0~3.458 mg/kg，高于东北平原及内蒙高原(0.10~0.15 mg/kg)。根据相关研究^[26]，将罗平县土壤有效钼划分为极低(≤0.10 mg/kg)、低(0.10~0.15 mg/kg)、中(0.15~0.20 mg/kg)、高(0.20~0.30 mg/kg)、极高(>0.30 mg/kg)5个等级(表5)。土壤有效钼含量低于0.20 mg/kg时烟株会表现不同程度的缺钼症状^[27]，从表5可以看出，罗平县植烟土壤有效钼含量低于该值的样本数仅占总数的25.44%。

2.2.2 烟叶钼含量的分布特点

罗平县烟叶钼含量平均值为0.535 mg/kg，变幅为0.059~4.059 mg/kg，变异幅度较大，低于江西(0.689 mg/kg)，福建南平(0.56 mg/kg)^[13,28]。烟叶中钼含量低于0.50 mg/kg时，属于缺钼状态^[29]，罗平县烟叶样本中有54.97%低于该值(表6)。

表 6 罗平县烤烟钼含量分布

烟叶钼含量分级 (mg/kg)	样本数	平均值 ± 标准差 (mg/kg)	变异系数 (%)	变幅 (mg/kg)	分布频率 (%)
≤0.10	13	0.083 ± 0.012 3	14.82	0.059 ~ 0.100	3.80
0.10 ~ 0.50	175	0.303 ± 0.111	36.63	0.104 ~ 0.499	51.17
0.50 ~ 1.00	123	0.627 ± 0.119	18.98	0.502 ~ 0.987	35.96
1.00 ~ 1.50	21	1.241 ± 0.134	10.80	1.021 ~ 1.497	6.14
> 1.50	10	2.549 ± 1.085	42.57	1.510 ~ 4.059	2.92

2.2.3 土壤有效钼与烟叶钼含量的关系分析

将土壤有效钼含量划分为 5 组, 计算出每组烟叶钼含量的平均值, 分析土壤有效钼含量和烟叶钼含量的关系, 见图 3, 随着土壤有效钼含量的增加, 烟叶钼含量整体呈增加趋势。

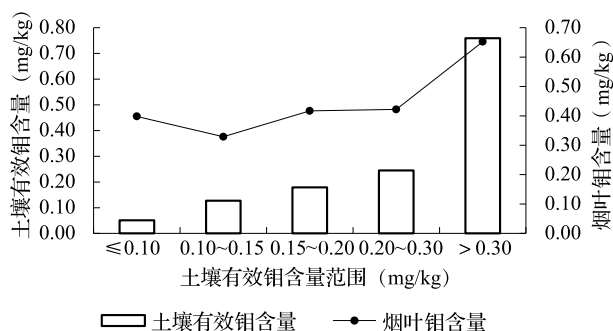


图 3 土壤有效钼和烟叶钼含量变化趋势

通过方差分析, 比较了不同土壤有效钼含量分组后的烟叶钼含量在组间的差异, 经 F 测验达到显著水平, 在此基础上进行多重比较, 结果见表 7, 土壤有效钼含量 >0.30 mg/kg 分组, 烟叶钼含量与其他组存在显著差异。

表 7 土壤有效钼对烟叶钼含量的影响

土壤有效钼含量 (mg/kg)	样本数	烟叶钼含量均值 ± 标准差 (mg/kg)
≤0.10	23	0.398 ± 0.303 b
0.10 ~ 0.15	29	0.329 ± 0.154 b
0.15 ~ 0.20	35	0.417 ± 0.250 b
0.20 ~ 0.30	73	0.422 ± 0.241 b
>0.30	182	0.652 ± 0.597 a

相关研究指出, 烟株吸收钼含量与土壤钼的含量呈显著正相关^[30], 将 342 个样本烟叶钼和土壤有效钼含量进行相关分析, 相关系数为 0.411, 达到 1% 极显著水平。将烟叶样本钼含量 ($\hat{y}$) 与土壤有效钼含量 (x) 进行回归分析, 建立回归方程 $\hat{y} = 0.335 + 0.409x$ 。

将土壤有效钼含量按照低 (≤ 0.15 mg/kg)、中 ($0.15 \sim 0.20$ mg/kg)、高 (> 0.20 mg/kg) 分为 3 组, 对每组烟叶样本钼含量 ($\hat{y}$) 与土壤有效钼含量 (x) 进行回归分析, 见表 8。土壤有效钼含量 ≤ 0.15 mg/kg 分组, 烟叶钼含量与土壤有效钼含量之间的回归方程经 F 测验未达到显著水平, 土壤钼含量过低, 不利于烟株对钼素的吸收和积累。选取土壤有效钼含量高于 0.15 mg/kg 的土壤样品和烟叶样品进行关系分析, 如图 4。

表 8 土壤有效钼对烟叶钼含量回归分析

土壤有效钼含量 (mg/kg)	样本数	回归方程	F 值	r
≤0.15	52	$\hat{y} = 0.412 - 0.534x$	0.611	0.411
0.15 ~ 0.20	35	$\hat{y} = -0.729 + 6.386x$	4.762 *	0.355
>0.20	255	$\hat{y} = 0.337 + 0.407x$	44.170 **	0.386

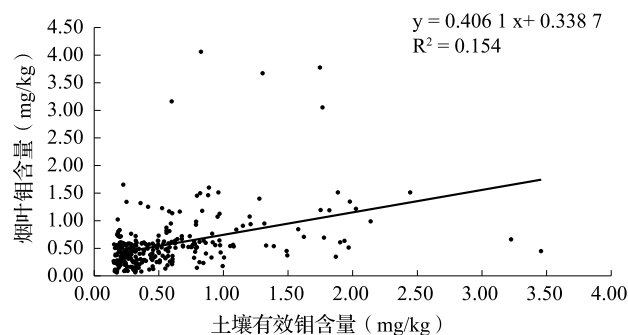


图 4 土壤有效钼与烟叶钼含量的关系

2.3 土壤有效硼与有效钼互作对烟叶硼与钼含量的影响

将罗平县 342 个土壤样品中有效硼含量按低 (B1)、中 (B2)、高 (B3) 分为 3 组, 并将土壤有效钼含量按低 (Mo1)、中 (Mo2)、高 (Mo3) 分为 3 组, 探讨两者互作对烟叶中硼、钼含量的影响。

2.3.1 土壤有效硼与有效钼互作对烟叶硼含量的影响

方差分析结果表明, 不同土壤有效硼与有效钼

含量分组对烟叶硼含量存在极显著交互作用，并进行多重比较，结果见表 9，土壤低硼低钼分组烟叶硼含量与其他各组存在显著差异。

表 9 土壤有效硼与有效钼互作对烟叶硼、钼含量的影响

分组	样本数	烟叶硼含量平均值 ±	烟叶钼含量平均值 ±
		标准差 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)
B1Mo1	26	11.482 ± 6.088C	0.357 ± 0.204
B1Mo2	23	15.629 ± 7.296ABC	0.312 ± 0.174
B1Mo3	155	16.383 ± 4.954AB	0.587 ± 0.578
B2Mo1	16	17.373 ± 5.657A	0.397 ± 0.304
B2Mo2	9	17.313 ± 7.392A	0.539 ± 0.233
B2Mo3	73	16.529 ± 5.545AB	0.625 ± 0.507
B3Mo1	10	18.576 ± 7.946A	0.305 ± 0.174
B3Mo2	3	11.802 ± 4.113BC	0.865 ± 0.141
B3Mo3	27	19.113 ± 5.365A	0.480 ± 0.203

注：同列数据后大写字母不同表示差异达到 0.01 显著水平。

在不同土壤有效钼含量（低、中、高）情况下，将烟叶硼含量（ $\hat{y}$ ）与土壤有效钼含量（ x ）进行回归分析，见表 10。土壤有效钼含量与烟叶硼含量呈正相关，且在土壤有效钼含量 ≤ 0.15 mg/kg 及 > 0.20 mg/kg 分组，烟叶硼含量与土壤有效钼含量之间的回归方程经 F 测验达到 1% 显著水平，而土壤有效钼含量在 $0.15 \sim 0.20$ mg/kg 分组，烟叶硼含量与土壤有效钼含量之间经 F 测验没有达到显著水平。

表 10 不同土壤有效钼含量下土壤有效硼与烟叶硼含量的回归分析

土壤有效钼含量 (mg/kg)	样本数	回归方程	F 值	r
≤ 0.15	52	$\hat{y} = 10.889 + 6.420x$	7.608 **	0.363
$0.15 \sim 0.20$	35	$\hat{y} = 15.243 + 1.075x$	0.071	0.046
> 0.20	255	$\hat{y} = 15.331 + 2.549x$	12.397 **	0.216

2.3.2 土壤有效硼与有效钼互作对烟叶钼含量的影响

通过方差分析，土壤有效硼与有效钼含量对烟叶钼含量的交互作用未达到显著水平，因而，土壤有效硼含量对烟株吸收土壤钼素的整体影响不大。在不同土壤有效硼含量（低、中、高）情况下，将烟叶钼含量（ $\hat{y}$ ）与土壤有效钼含量（ x ）进行回归分析，见表 11。土壤有效硼含量在 ≤ 0.50 mg/kg 和 $0.50 \sim 1.00$ mg/kg 分组，烟叶钼和土壤有效钼含量之间的回归方程呈正相关，且经 F 测验达到 1% 显著水平。土壤有效硼在 > 1.00 mg/kg 分组，烟叶钼和土壤有效钼含量之间的回归方程呈正相关，经 F 测验达到 5% 显著水平。

表 11 不同土壤有效硼含量下土壤有效钼对烟叶钼含量回归分析

土壤有效硼含量 (mg/kg)	样本数	回归方程	F 值	r
≤ 0.50	204	$\hat{y} = 0.286 + 0.499x$	51.384 **	0.45
$0.50 \sim 1.00$	98	$\hat{y} = 0.427 + 0.285x$	12.781 **	0.343
> 1.00	40	$\hat{y} = 0.362 + 0.254x$	4.463 *	0.324

3 小结与讨论

3.1 云南省罗平县烟区土壤有效硼含量的平均值为 0.540 mg/kg，高于曲靖市有效硼含量平均值 0.46 mg/kg^[11]，但该地区土壤有效硼含量分布不均，变异幅度较大，变幅为 0.051 ~ 3.033 mg/kg。当土壤有效硼 ≤ 0.50 mg/kg 时，土壤属于缺硼状态，罗平县土壤有效硼含量低于 0.50 mg/kg 的样本数占总样本数的 59.64%。土壤有效硼含量能够满足优质烟叶生长的样本数仅占总样本数的 28.65%，其余样本存在不同程度的缺硼或者硼含量过高^[21]。罗平县烟叶硼含量平均值为 16.301 mg/kg，按照我国优质烤烟叶片中硼含量标准（10.00 ~ 40.00 mg/kg），罗平县烟叶硼含量符合优质烤烟叶片硼含量范围内的样本数占总样本数的 88.89%。

土壤的供钼能力由土壤中全钼和有效钼含量决定^[31]。罗平县烟区土壤有效钼含量丰富，平均值为 0.489 mg/kg，土壤缺钼的样本数仅占总样本数的 15.21%。罗平县烟叶钼含量平均值为 0.535 mg/kg，变异幅度大，变幅为 0.059 ~ 4.059 mg/kg。有资料显示，当作物成熟叶的含钼量为 0.10 ~ 0.50 mg/kg 时属缺钼范围，0.50 ~ 1.00 mg/kg 时，能够保证植物正常生长^[32]。罗平县烟叶钼含量低于 0.50 mg/kg 的样本数占总样本数的 51.17%，满足烟叶生长发育钼含量的样本数仅占总样本数的 35.69%。

3.2 应用方差分析方法比较了不同土壤有效硼、有效钼含量分组间烟叶硼、钼含量的差异。在一定范围内，随着土壤中有效硼、有效钼含量的增加，烟叶中硼、钼的含量也相应的呈现增加趋势。土壤有效硼与烟叶硼含量呈极显著正相关，相关系数为 0.215 **，其回归方程为 $\hat{y} = 14.720 + 2.925x$ ，经 F 测验达到极显著水平；土壤有效钼与烟叶钼含量呈极显著正相关，相关系数为 0.411 **，其回归方程为 $\hat{y} = 0.335 + 0.408x$ ，经 F 测验达到极显著水平。因此，在土壤有效硼、有效钼含量缺乏的情况下，

增施硼肥、钼肥,能够在一定程度上提高烟叶中硼、钼的含量。

3.3 硼和钼都属于植物生长发育不可或缺的微量元素。有研究表明,硼和钼在植物体内呈现相互促进的作用,能够显著促进萝卜对硼的吸收,对于苋菜而言,硼、钼间存在极显著正交互作用,促进其对钼的吸收^[33-34],但目前关于土壤有效硼及有效钼互作对烟叶中硼、钼含量的影响尚未见报道。罗平县植烟土壤有效硼、有效钼含量对烟叶硼含量存在交互作用且达到1%极显著水平。在土壤有效钼含量低和高的两种情况下,土壤有效硼与烟叶硼含量存在极显著正相关,其回归方程达到1%显著水平,而在土壤有效硼含量中等条件下,两者相关性不显著,回归方程未达到显著水平。由此可见,在土壤有效钼含量较低时,增施硼肥或者提高土壤有效钼含量更有利于提高烟叶硼含量。在土壤有效硼含量低和中等两种情况下,土壤有效钼与烟叶钼含量存在极显著正相关,其回归方程达到1%显著水平,在土壤有效硼含量高的条件下,土壤有效钼与烟叶钼呈显著正相关,回归方程达到5%显著水平,而罗平县植烟土壤有效硼、有效钼含量对烟叶钼含量的交互作用未达到显著水平,由此可见,烟叶钼含量主要是受土壤中有效钼含量的影响,土壤有效硼含量对其影响不大。

罗平县植烟土壤有效硼及有效钼含量都处于较高水平,但是烟叶中硼、钼含量却相对较低,可见烟株对土壤中硼、钼的吸收利用率不高。产生这种现象的原因不仅取决于土壤有效硼、有效钼含量,还可能与土壤的理化性质以及植烟环境有关。烟株吸钼量的35%~65%依赖于土壤pH值,土壤pH值每提高一个单位,烟株含钼量甚至加倍^[35]。罗平县大多烟田都比较依赖无机化肥的施用^[36],这会导致土壤酸度增加,进而影响烟株对钼素的吸收,因此,在施肥时应注重有机肥和无机肥的合理配施,改善土壤酸碱度。有研究认为,当南方烟区土壤有效硼低于0.50 mg/kg时,需补充硼肥^[37]。在烟苗移栽前施用适量基肥,并且在团棵期和旺长期喷施追肥效果较好。可用7.5 kg/hm²硼砂作为基施,喷施可选用浓度为0.2%的硼砂。土壤有效钼低于0.20 mg/kg时,需补充钼肥^[38],并且采用叶面喷施具有较好的效果,可在烟株进入团棵期后,每隔15 d喷施浓度为0.05%的钼酸铵。

参考文献:

- [1] 牛义,张盛林.植物硼素营养研究的现状及展望[J].中国农学通报,2003,19(2):101-104.
- [2] 李章海,丁伟.烟草生产理论与技术[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2002.99-112.
- [3] 徐晓燕,李东亮,李卫芳,等.硼钼对烟叶膜脂过氧化及体内保护系统和钾吸收的影响[J].中国烟草学报,2002,8(2):6-10.
- [4] 崔国明,黄必志,柴家荣,等.硼对烤烟生理生化及产质量的影响[J].中国烟草科学,2000,21(3):14-18.
- [5] 余洁,陆引罡,周建云,等.硫硼营养对烟叶石油醚提取物合成的影响[J].中国土壤与肥料,2012,(3):81-84.
- [6] 赵铭钦,陈秋会,陈红华.中外烤烟烟叶中挥发性香气物质的对比分析[J].华中农业大学学报,2007,26(6):875-879.
- [7] 齐永杰,徐茂华,潘武宁,等.硼钼肥及其配施对烤烟上部叶香气物质含量的影响[J].天津农业科学,2015,21(6):116-119.
- [8] 武丽,罗倩茜,唐兴贵,等.缺钼对旺长期烤烟光合色素和荧光日变化及亚显微结构的影响[J].西北植物学报,2014,34(9):1801-1807.
- [9] 李章海,宋泽民,黄刚,等.缺钼烟田施钼对烟草光合作用和氮代谢及烟叶品质的影响[J].烟草科技,2008,41(11):56-58.
- [10] 李余湘,张西仲,李章海,等.烤烟叶面喷施钼肥效应研究[J].贵州农业科学,2011,39(2):60-62.
- [11] 张春,周冀衡,杨荣生,等.云南曲靖不同海拔烟区土壤和烟叶硼含量的分布状况及相关性[J].中国烟草学报,2010,16(6):48-53.
- [12] 唐先干,韩延,何宽信,等.江西紫色土有效硼含量及对烤烟硼元素分布特征的影响[J].中国土壤与肥料,2013,(1):64-67.
- [13] 王东胜,何宽信,王能如,等.江西植烟土壤及烟叶钼含量调查分析[J].江西农业学报,2010,22(8):75-78.
- [14] 李晓宁,高明,慈恩.重庆市植烟土壤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.
- [15] 吕小娜,庞凤,李廷轩,等.四川省凉山州新植烟区土壤养分状况分析及综合评价[J].土壤通报,2013,44(3):691-697.
- [16] 邵惠芳,郑聪,许自成,等.三门峡烟区土壤养分状况的综合评价[J].西南农业学报,2009,22(4):1011-1015.
- [17] 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.
- [18] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996.53-56.
- [19] 巩永凯,龙怀玉,王豹,等.我国烤烟中部烟叶硼含量特征研究[J].中国土壤与肥料,2008,(6):35-38.
- [20] 许自成,王林,肖汉乾,等.湖南烟区烤烟(*Nicotiana glauca* L.)硼含量与土壤有效硼含量的关系[J].生态

- 学报, 2007, 27 (6): 2309-2317.
- [21] 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.
- [22] 陈江华, 刘建利, 龙怀玉. 中国烟叶矿质营养及主要化学成分含量特征研究 [J]. 中国烟草学报, 2004, 10 (5): 20-27.
- [23] 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, 25 (3): 20-24.
- [24] 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): 363-369.
- [25] Lal K N, Tyagi R S. Deficiency, favorable, and toxic effects of boron on tobacco [J]. American Journal of Botany, 1949, 36 (9): 676-680.
- [26] 黄昌勇. 土壤学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [27] 冯勇刚, 石俊雄. 贵州省烟草平衡施肥研究 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2005. 20.
- [28] 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.
- [29] 张继, 付继刚, 潘和平, 等. 黔东南州植烟土壤及烟叶钼营养评价与相关性分析 [J]. 热带农业科学, 2016, 36 (3): 53-57.
- [30] 邵岩, 雷永和, 施永超. 烟草中微量元素肥料的施用原理 [J]. 云南烟草, 1995, (1): 59-64.
- [31] 王云, 魏复盛. 土壤环境元素化学 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995. 258-284.
- [32] 喻敏, 王运华. 高等植物中的钼 [J]. 植物学报, 1999, 16 (5): 547-554.
- [33] 刘鹏. 硼胁迫对植物的影响及硼与其它元素关系的研究进展 [J]. 农业环境科学学报, 2002, 21 (4): 372-374.
- [34] 蒋惠名. 硼、锌、钼及其配合施用对蔬菜养分利用及菜地土壤肥力及酶活性的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- [35] 张继榛. 影响安徽省土壤中有效钼含量的因素研究 [J]. 土壤学报, 1994, 31 (2): 153-160.
- [36] 王育军, 周冀衡, 孙书斌, 等. 云南省罗平县烟区土壤肥力适宜性评价及养分时空变异特征 [J]. 土壤, 2015, 47 (3): 515-523.
- [37] 张长云. 微量元素与烤烟生产 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35 (33): 10734-10736.
- [38] 李章海, 张西仲, 武丽, 等. 烤烟土壤有效钼临界值的初步研究 [J]. 烟草科技, 2012, 45 (1): 69-73.

The relationship between the contents of available boron and available molybdenum in soil with the contents of boron and molybdenum of tobacco leaf in Luoping

MU Tong¹, LU Xiu-ping², XU Zi-cheng^{1*}, XIE Yan³, FANG Xiu¹, ZHANG Sen¹ (1. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou Henan 450002; 2. Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Yuxi Yunnan 653100; 3. Qujing Branch of Tobacco Company of Yunnan Province, Qujing Yunnan 655000)

Abstract: The relationship between the soil available boron and available molybdenum content with the boron and molybdenum content in flue-cured tobacco leaf and the relationship between the soil available boron and available molybdenum interaction with the boron and molybdenum content in flue-cured tobacco leaf in Luoping tobacco-growing areas was analyzed. The results indicated that: (1) The soil available boron content in Luoping county ranged from 0.051 to 3.033 mg/kg with the mean of 0.540 mg/kg and the coefficient of variation was 77.78%. The soil available molybdenum content was abundant, which ranged from 0 to 3.458 mg/kg with the mean of 0.489 mg/kg and the coefficient of variation was 98.77%. (2) The boron content in flue-cured tobacco leaf in Luoping county ranged from 2.163 to 35.684 mg/kg with the mean of 16.301 mg/kg. The number of samples in the range of high quality flue-cured tobacco leaves was 88.89%. The molybdenum content in flue-cured tobacco leaf was low, which ranged from 0.059 to 4.059 mg/kg with the mean of 0.535 mg/kg. The number of samples satisfying the growth and development of tobacco leaves was 48.83%. (3) The boron content in flue-cured tobacco leaf had high positive correlation with the soil available boron content at 0.01 level. The correlation coefficient was 0.215. Based on the correlation analysis, the regression equation built between soil available boron and the boron content in flue-cured tobacco leaf was $\hat{y} = 14.720 + 2.925x$. The molybdenum content in flue-cured tobacco leaf had high positive correlation with the soil available molybdenum content at 0.01 level. The correlation coefficient was 0.411. Based on the correlation analysis, the regression equation built between soil available molybdenum and the molybdenum content in flue-cured tobacco leaf was $\hat{y} = 0.335 + 0.409x$. (4) As for the content of boron in tobacco leaves, there was a very significant influence by the interaction between available boron and available molybdenum in soil. But the effect of interaction of available boron and available molybdenum in soil on the content of molybdenum in tobacco leaves did not reach a significant level.

Key words: Luoping tobacco-growing areas; flue-cured tobacco; boron; molybdenum; relationship analysis