

# 文山植烟土壤有效锌含量及其影响因素研究<sup>①</sup>

谭 军<sup>1</sup>, 刘晓颖<sup>1</sup>, 李 强<sup>1</sup>, 周冀衡<sup>1\*</sup>, 陈丽娟<sup>1</sup>, 宾 俊<sup>1</sup>, 邱永健<sup>2</sup>

(1 湖南农业大学烟草研究院, 湖南农业大学生物科学技术学院, 长沙 410128; 2 广西中烟工业有限责任公司, 南宁 530001)

**摘要:** 为探明文山烟区植烟土壤有效锌分布情况及其影响因素, 并为烤烟合理施用锌肥提供理论依据, 运用 GPS 定位技术采集了 276 份土样, 测定其有效锌含量, 采用经典统计学方法和 GIS 技术, 对其基本特征、空间分布状况及影响因素进行了分析。结果表明: 文山烟区植烟土壤有效锌平均含量为 1.93 mg/kg, 变幅为 0.20~8.17 mg/kg, 变异系数为 70.47%, 属于中等变异强度。全烟区有 70.12% 的区域土壤有效锌在适宜范围内(1.00~5.00 mg/kg)。县域间植烟土壤有效锌平均含量从高到低排序为: 麻栗坡 > 西畴县 > 文山县 > 马关县 > 砚山县 > 丘北县 > 广南县。土壤中有效锌含量随着有机质增加而增大, 随海拔升高呈抛物线变化; 不同海拔组和有机质组间有效锌含量差异均达极显著水平。有效锌含量在土壤 pH 为 6.5~7.5 时最低, 在偏酸和偏碱的环境中含量较高。文山烟区分布最广的是红壤, 其次是黄壤。不同土壤类型有效锌含量差异达极显著水平, 含量最高的是水稻土, 最低的是紫色土。因此, 文山烟区植烟土壤有效锌含量总体满足优质烟叶生产的需求, 部分缺锌区域应加强锌肥、有机肥的施用以提高土壤中有效锌含量。

关键词: 文山; 植烟土壤; 有效锌; 有机质; pH

中图分类号: S15 文献标识码: A

锌是植物必需微量元素之一。锌在植物中参与多种代谢活动, 有促进生长发育、提高作物产量和品质等多种生物学功能<sup>[1]</sup>。此外, 锌元素在烤烟中还具有提高烟叶易烤性、增加烤后烟叶香气质和香气量的功能<sup>[2-3]</sup>。烤烟主要从土壤中获取锌元素, 但已有研究表明, 植烟土壤缺锌已成普遍性。许自成等<sup>[4]</sup>研究表明湖南 22.41% 的植烟土壤缺锌; 李强等<sup>[5]</sup>、赵爽等<sup>[6]</sup>对曲靖烟区, 李永富等<sup>[7]</sup>对湖南省邵阳烟区以及王新中等<sup>[8]</sup>对大理州烟区的研究都表明各烟区土壤都存在不同程度的缺锌。对于缺锌土壤, 施用锌肥是给作物补充锌元素最便捷有效的措施<sup>[9]</sup>。近年来, 许多科研工作者已在国内多个烟区对植烟土壤有效锌含量及其分布特点进行了研究<sup>[10-13]</sup>, 为各烟区科学合理地施用锌肥提供了依据。文山烟区是云南省四大新烟区之一, 也是全国大型烟区之一<sup>[14]</sup>, 但还无文山烟区土壤有效锌分布及其相关影响因素的研究, 这将会影响文山烟叶的工业可用性, 更会影响文山烟区的健康发展。因此, 本研究以文山烟区土样为基础, 研究文山烟区土壤有效锌含量的分布特点以及海拔、土壤类型、土壤有机质含量和土壤酸碱度等因素对其的影响, 旨在

为文山烟区土壤锌元素管理与施肥提供决策指导和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

于 2013 年在烟地尚未施底肥前, 避开雨季, 采用 GPS 技术在文山全州 7 个种烟县(市)采集 276 个土样, 按 S 形取样法, 取耕层 0~20 cm 土壤, 去掉杂质均匀混合后按四分法缩小样品量, 每样保留 0.50 kg。新鲜土样经登记编号后进行预处理, 经过风干、混匀、磨细、过筛、装瓶待分析测定用。采样点如图 1 所示。

### 1.2 测定方法

土壤有机质按照 NY/T 1121.6-2006 标准测定<sup>[15]</sup>; 土壤 pH 按照 NY/T 1377-2007 标准测定<sup>[16]</sup>; 土壤有效态锌含量按照 NY/T890-2004 标准测定<sup>[17]</sup>。

### 1.3 数据处理与分析

首先采用域法识别异常值并剔除, 即把分布在平均值  $\pm 3$  倍标准差之外的样本视为异常值<sup>[18]</sup>。然后采用 Excel 2013 和 SPSS 17.0 软件对数据进行处理和分析。采用 ArcGIS 10.2 软件绘制空间分布图。

基金项目: 云南省烟草公司项目(2011YN73)资助。

\* 通讯作者(jzhou2005@163.com)

作者简介: 谭军(1985—), 男, 重庆万州人, 博士研究生, 主要研究方向为烟草科学与工程技术。E-mail: 649766283@qq.com

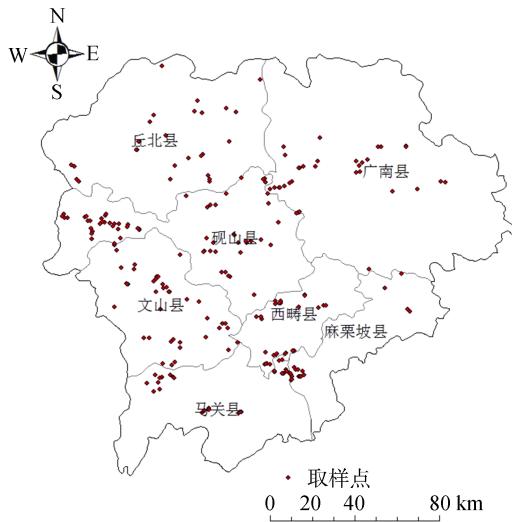


图 1 土样采集点分布图  
Fig.1 Distribution of soil sample sites

#### 1.4 土壤有效锌含量丰缺标准

参照以往研究<sup>[19-21]</sup>, 将文山植烟土壤有效锌含量分为: 缺乏( $< 1.00 \text{ mg/kg}$ )、适宜( $1.00 \sim 1.50 \text{ mg/kg}$ )、较丰富( $1.50 \sim 3.00 \text{ mg/kg}$ )、丰富( $3.00 \sim 5.00 \text{ mg/kg}$ )、极丰富( $\geq 5.00 \text{ mg/kg}$ )5个等级。土壤有效锌含量在 $1.00 \sim 5.00 \text{ mg/kg}$ 范围时满足优质烟叶生产。

## 2 结果与分析

### 2.1 文山烟区植烟土壤有效锌含量总体评价

由图2可知, 所采集的文山烟区土样有效锌含量呈正态分布, 主要集中在 $< 3.00 \text{ mg/kg}$ 的范围, 占总样本的83.40%,  $\geq 5.00 \text{ mg/kg}$ 的样本仅占

4.43%。此外, 采用域法剔除5个异常样本, 剩余的271个样本进行后续研究分析。

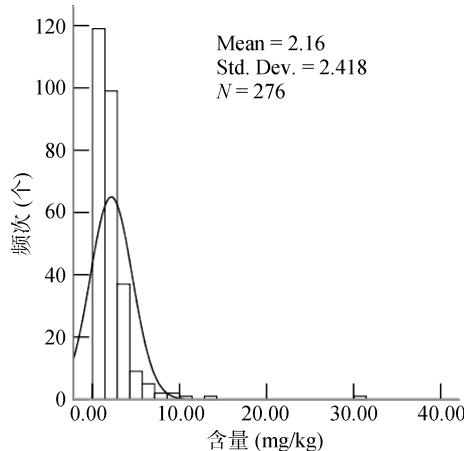


图 2 文山烟区土壤有效锌含量频次分布  
Fig. 2 Frequency distribution of available zinc in tobacco-planting soils in Wenshan

由表1可知, 文山植烟土壤有效锌平均含量为 $1.93 \text{ mg/kg}$ , 变幅为 $0.20 \sim 8.17 \text{ mg/kg}$ , 且属于中等变异等级。全烟区有70.12%的区域土壤有效锌在适宜范围内。7个植烟县土壤有效锌平均含量在 $1.36 \sim 2.65 \text{ mg/kg}$ 之间, 从高到低排列为: 麻栗坡>西畴县>文山县>马关县>砚山县>丘北县>广南县。方差分析表明, 各植烟县土壤有效锌含量差异达极显著水平( $F=4.820$ ,  $\text{Sig.}=0.000$ ), 经Duncan多重比较可知, 广南县植烟土壤有效锌含量极显著低于麻栗坡、西畴县和文山县, 且显著低于马关县; 丘北县极显著低于麻栗坡和西畴县, 且显著低于马关县。

表 1 植烟土壤有效锌含量和分布  
Table 1 Statistics of available zinc in tobacco-planting soils in Wenshan

区域	样本数	平均值±标准差 (mg/kg)	变幅 (mg/kg)	变异系数 (%)	植烟土壤有效锌分布频率(%)				
					< 1.00	1.00 ~ 1.50	1.50 ~ 3.00	3.00 ~ 5.00	$\geq 5.00$
文山县	44	$2.26 \pm 1.40 \text{ abAB}$	$0.23 \sim 6.14$	61.95	18.18	11.36	45.45	18.18	6.83
砚山县	58	$1.87 \pm 1.54 \text{ abcABC}$	$0.20 \sim 8.17$	82.35	32.76	20.69	29.31	10.34	6.9
丘北县	50	$1.46 \pm 0.74 \text{ cdBC}$	$0.24 \sim 3.86$	50.68	22.00	42.00	34.00	2.00	0.00
广南县	40	$1.36 \pm 1.15 \text{ dC}$	$0.21 \sim 5.75$	84.56	55.00	12.50	25.00	5.00	2.50
马关县	21	$2.14 \pm 1.10 \text{ abcABC}$	$0.56 \sim 4.50$	51.40	19.04	14.29	38.10	28.57	0.00
麻栗坡	26	$2.65 \pm 1.32 \text{ aA}$	$0.82 \sim 7.00$	49.81	3.86	7.69	65.38	19.23	3.84
西畴县	32	$2.42 \pm 1.65 \text{ abA}$	$0.40 \sim 7.30$	68.18	12.50	18.72	43.75	15.63	9.40
全州	271	$1.93 \pm 1.36$	$0.20 \sim 8.17$	70.47	25.45	19.56	38.38	12.18	4.43

注: 同列数据小写字母、大写字母不同分别表示差异达 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 显著水平, 下表同。

### 2.2 文山烟区植烟土壤有效锌空间分布特征

描述性统计只能对研究区域的全貌进行描述, 不能最大限度地展现其空间变化特性, 更不能定量描述其结构性和随机性、相关性和独立性, 但地统计学方法可以做到。因此, 首先运用半方差函数进行模型拟合, 并

对其拟合精度进行验证, 得到最优拟合模型的相关参数值, 然后利用普通克里格插值法绘制文山烟区植烟土壤有效锌含量的空间分布图(图3)。最优拟合模型为高斯模型(Gaussian), 该模型有效锌含量的标准化平均误差接近于0, 标准化均方根误差亦接近于1, 说明选取的

理论模型可以较为准确地反映土壤有效锌的空间结构特性。此外，本模型的块金值  $C_0$  为 0.21，偏基台值  $C$  为 0.28，块金效应  $C_0/(C_0+C)$  为 42.86%。当块金效应在 25% ~ 75% 时，表明系统具有中等空间相关性<sup>[22]</sup>。因此，文山烟区植烟土壤有效锌含量的空间分布具有中等相关性，其空间变异受结构性因素(气候、土壤类型等)和随机性因素(耕作制度、种植习惯和管理水平等)的共同影响。由图 3 可知，文山烟区植烟土壤有效锌含量以 1.00 ~ 3.00 mg/kg 为主要分布区域，砚山县、丘北县和广南县部分区域缺锌，三者中又以广南县最甚。

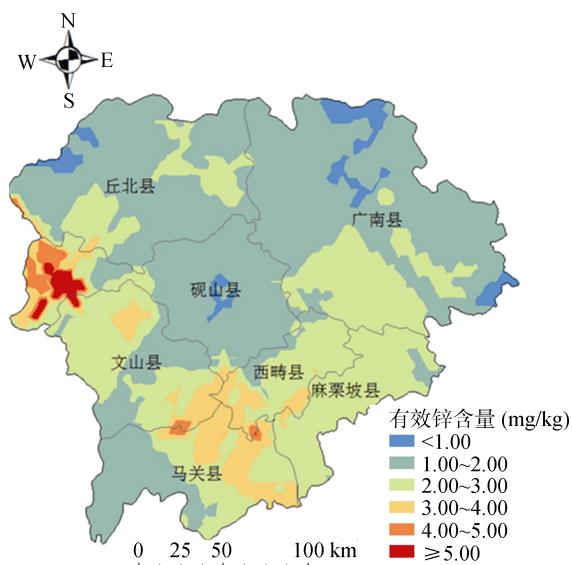


图 3 土壤有效锌含量分布比例

Fig. 3 Distribution of soil available zinc contents in Wenshan

### 2.3 海拔高度对土壤有效锌含量的影响

文山烟区海拔范围主要在 1 100 ~ 2 000 m 之间。以 100 m 的组距，将所采土样按海拔分为 5 个组，分别统计各组土壤有效锌含量和分布频率，结果如表 2 所示，5 个海拔组的土壤有效锌平均含量在 1.35 ~ 2.23 mg/kg，属中等强度变异。土壤有效锌含量随海拔升高呈抛物线形变化，在海拔 1 400 ~ 1 500 m 时，锌含量最高，达 2.23 mg/kg，二者的二次拟合曲线为： $(y_{\text{有效锌}} = -0.2567x_{\text{(海拔)}}^2 + 2.0162x - 1.7105, R^2 = 0.9908)$ 。5 个海拔组土壤有效锌含量的适宜样本比例在 40.91% ~ 82.05%，但不同海拔组间的差异较大。方差分析表明，不同海拔组有效锌含量差异达极显著水平( $F = 3.752$ ， $\text{Sig.} = 0.005$ )，经 Duncan 多重比较可知，1 400 ~ 1 500 m 海拔组有效锌含量极显著高于海拔<1 300 m 的组，且显著高于 $\geq 1 600$  m 的组；1 300 ~ 1 400 m 海拔组也显著高于海拔<1 300 m 和 $\geq 1 600$  m 的分组。

### 2.4 土壤 pH 对土壤有效锌含量的影响

以 0.5 的组距，将所采土壤按 pH 分为 7 个组，分别统计各组土壤有效锌含量和分布频率。结果如表 3 所示，7 个 pH 组的土壤有效锌平均含量为 1.78 ~ 2.20 mg/kg，变异系数适中，属中等强度变异。有效锌含量在土壤 pH 为 6.5 ~ 7.5 时最低，在偏酸和偏碱土壤环境中含量较高。各组土壤有效锌含量的适宜样本比例在 58.97% ~ 84.61%，最高的是 pH < 5.0 的组(84.61%)，其次是 pH 6.5 ~ 7.0 的组(78.95%)。方差分析表明，各 pH 组有效锌含量无显著性差异( $F = 0.543$ ， $\text{Sig.} = 0.775$ )。

表 2 不同海拔植烟土壤有效锌含量变化

Table 2 Available zinc contents of tobacco-planting soils under different latitude grades

海拔(m)	样本数	平均值±标准差 (mg/kg)	变幅 (mg/kg)	变异系数 (%)	植烟土壤有效锌分布频率(%)				
					< 1.00	1.00 ~ 1.50	1.50 ~ 3.00	3.00 ~ 5.00	$\geq 5.00$
< 1 300	22	1.35 ± 1.54 bB	0.27 ~ 7.30	114.07	59.09	18.18	13.64	9.09	0.00
1 300 ~ 1 400	34	2.09 ± 1.63 aAB	0.32 ~ 6.80	77.99	26.47	14.71	44.12	5.88	8.82
1 400 ~ 1 500	99	2.23 ± 1.54 aA	0.30 ~ 8.17	69.06	22.23	18.18	35.35	16.16	8.08
1 500 ~ 1 600	78	1.89 ± 1.00 abAB	0.20 ~ 4.50	52.91	17.95	19.23	47.44	15.38	0.00
$\geq 1 600$	38	1.44 ± 0.81 bAB	0.23 ~ 3.85	56.25	28.95	28.95	36.84	5.26	0.00

表 3 不同 pH 组植烟土壤有效锌含量变化

Table 3 Available zinc contents of tobacco-planting soils under different pH grades

pH	样本数	平均值±标准差 (mg/kg)	变幅 (mg/kg)	变异系数 (%)	植烟土壤有效锌分布频率(%)				
					< 1.00	1.0 ~ 1.50	1.50 ~ 3.00	3.00 ~ 5.00	$\geq 5.00$
< 5.0	13	1.90 ± 1.12	0.21 ~ 4.10	58.95	15.39	30.77	38.46	15.38	0.00
5.0 ~ 5.5	44	1.97 ± 1.48	0.20 ~ 6.14	75.13	29.55	11.36	43.18	9.09	6.82
5.5 ~ 6.0	64	1.98 ± 1.19	0.26 ~ 5.75	60.10	20.30	18.75	40.63	17.19	3.13
6.0 ~ 6.5	39	1.93 ± 1.24	0.32 ~ 5.32	64.25	25.65	20.51	35.9	15.38	2.56
6.5 ~ 7.0	38	1.78 ± 0.92	0.55 ~ 5.15	51.69	18.42	26.32	47.37	5.26	2.63
7.0 ~ 7.5	34	1.68 ± 1.47	0.30 ~ 8.17	87.50	32.65	23.53	38.24	0.00	5.58
$\geq 7.5$	39	2.20 ± 1.89	0.24 ~ 7.30	85.91	33.34	15.38	23.08	20.51	7.69

## 2.5 有机质对土壤有效锌含量的影响

参照文献[19]，将所采土样按有机质分为4组，分别统计各组土壤有效锌含量和分布频率，结果如表4所示。4个有机质组的土壤有效锌平均含量为0.91~2.69 mg/kg，有机质含量为15~25 g/kg的组变异系数较高，属强变异，其余组变异系数适中。随着土壤有机质含量的增加，缺锌土样(<1.00 mg/kg)所占比例随之降低，含量极丰富(≥5.00 mg/kg)的土样所占比例随之升高。相关性分析表明，土壤中有效锌含量

与有机质呈极显著正相关关系( $r=0.980, P=0.000$ )，二者的回归方程为： $(Y_{\text{有效锌}})=0.5268x_{\text{有机质}}+0.4841, R^2=0.9604$ 。方差分析表明，各有机质组的土壤有效锌含量差异达极显著水平( $F=10.362, \text{Sig.}=0.000$ )，经Duncan多重比较表明，有机质<15 g/kg组的土壤有效锌含量极显著低于有机质 $\geq 35$  g/kg和25~35 g/kg的组，且显著低于15~25 g/kg的组；有机质15~25 g/kg的组，有效锌含量也极显著低于有机质 $\geq 35$  g/kg的组。

表4 不同有机质组植烟土壤有效锌含量变化  
Table 4 Available zinc contents of tobacco-planting soils under different organic matter grades

有机质 (g/kg)	样本数	平均值±标准差 (mg/kg)	变幅 (mg/kg)	变异系数 (%)	植烟土壤有效锌分布频率 (%)				
					<1.00	1.00~1.50	1.50~3.00	3.00~5.00	≥5.00
<15	19	0.91 ± 0.77 cC	0.20~2.49	84.62	68.42	5.26	26.32	0.00	0.00
15~25	104	1.61 ± 1.68 bBC	0.23~6.80	104.35	34.62	25.96	27.89	8.65	2.88
25~35	104	2.23 ± 1.36 aAB	0.24~8.17	60.99	13.46	17.31	50.00	14.42	4.81
≥35	44	2.69 ± 1.58 aA	0.26~7.00	58.74	13.64	15.91	40.91	20.45	9.09

## 2.6 土壤类型对土壤有效锌含量的影响

文山烟区土壤类型主要为水稻土、棕壤、红壤、黑壤、黄壤、褐壤和紫色土。将土样按土壤类型分类，分别统计土壤有效锌含量和分布频率。结果如表5所示，7个土壤类型有效锌平均含量为1.03~4.18 mg/kg，变异系数适中，属于中等强度变异。各土壤类型有效

锌含量从高到低依次为 水稻土>棕壤>黑壤>红壤>褐壤>黄壤>紫色土。方差分析表明，不同土壤类型有效锌含量差异达极显著水平( $F=16.958, \text{Sig.}=0.000$ )，经Duncan多重比较表明，水稻土有效锌含量极显著高于其他类型土壤；棕壤极显著高于紫色土，显著高于黄壤；黑壤也显著高于紫色土。

表5 不同土壤类型植烟土壤有效锌含量变化  
Table 5 Available zinc contents of tobacco-planting soils under different soil types

土壤类型	样本数	平均值±标准差 (mg/kg)	变幅 (mg/kg)	变异系数 (%)	植烟土壤有效锌分布频率(%)				
					<1.00	1.00~1.50	1.50~3.00	3.00~5.00	≥5.00
红壤	122	1.83 ± 1.31 bcdBC	0.20~8.17	71.58	26.23	23.76	36.89	9.02	4.10
黄壤	82	1.64 ± 1.08 cdBC	0.21~5.50	65.85	30.48	21.95	35.37	9.76	2.44
水稻土	28	4.18 ± 1.95 aA	1.00~7.30	46.65	0.00	25.00	16.67	25.00	33.33
棕壤	12	2.79 ± 0.45 bB	2.20~3.60	16.13	0.00	0.00	58.33	41.67	0.00
紫色土	7	1.03 ± 0.46 dC	0.49~1.95	44.66	71.43	28.57	0.00	0.00	0.00
褐壤	12	1.83 ± 0.91 bcdBC	0.32~3.54	49.73	25.00	41.67	25.00	8.33	0.00
黑壤	8	2.20 ± 0.39 bcBC	1.68~2.97	17.72	0.00	25.00	75.00	0.00	0.00

## 3 讨论

锌是植物的必需微量元素。在烟草中，缺锌不但会影响烟株的生长发育，还会影响烟叶的产量、品质以及可用性。烟叶中锌含量高低主要受植烟土壤有效锌含量丰缺的影响。本研究表明文山烟区植烟土壤有效锌平均含量为1.93 mg/kg，高于保山烟区<sup>[21]</sup>和四川凉攀烟区<sup>[23]</sup>，持平于安徽宣城烟区<sup>[24]</sup>，但低于

湖南邵阳烟区<sup>[7]</sup>和大理烟区<sup>[8]</sup>、云南曲靖和马龙县烟区<sup>[6, 25]</sup>。结合土壤有效锌含量丰缺评价标准可知，文山烟区植烟土壤有效锌含量较丰富，总体满足优质烟叶生产的需求。土壤pH影响土壤中各种养分的迁移、转化和存在形态<sup>[26]</sup>。研究表明文山植烟土壤pH平均值为6.31。不适宜烤烟种植的土壤pH<5.0和 $\geq 7.5$ 的土样共占19.19%。有效锌含量在土壤pH为6.5~7.5时最低，在偏酸和偏碱的土壤环境中含量较

高。这是因为锌是两性元素，既能溶于酸也能溶于碱，在中性环境中溶解度较低。偏酸和偏碱的土壤环境改变了锌的存在形态，增加了其溶解性，所以土壤有效锌含量升高。

文山烟区植烟土壤中有效锌含量随土壤有机质含量增加而增加，这与前人的研究结论基本一致<sup>[6-7]</sup>。有机质对土壤有效锌含量的影响可能是因为：有机质是土壤有效锌的重要来源<sup>[27]</sup>；有机质改善了土壤结构和理化性质，影响了锌的存在形态；有机质丰富了土壤微生物多样性，微生物活化了锌。因此，土壤有效锌缺乏区域可以增施有机肥、含锌肥料来提高其含量。

文山烟区植烟土壤中有效锌含量随着海拔增加先升高再降低，呈抛物线形。该结论与前人研究的其他烟区土壤有效锌含量随海拔升高而升高的结论不一致<sup>[6, 28]</sup>。更进一步分析表明，文山烟区有77.86%烤烟种植在1300~1600 m范围内；仅14.02%种植在高于1600 m海拔内。在烤烟种植过程中烟农会施入较多有机肥，增加了土壤有效锌来源，在高于1600 m海拔的区域，烤烟种植较少，施入的有机肥相对较少，从而减少了有效锌的来源。此外，文山烟区在较高海拔区域，土壤类型以沙壤为主，耕作层较薄，植被稀少，有机质含量降低，也是土壤有效锌含量较低的重要原因。

文山烟区分布最广的是红壤，其次是黄壤。有效锌含量最高的是水稻土，其次棕壤。水稻土有效锌含量最高可能是受其成土母质的影响<sup>[29]</sup>，也可能是因为水稻收割，其地下部分残留在土壤中，增加了土壤有机质，提高了土壤有效锌含量。

## 4 结论

研究表明文山烟区植烟土壤有效锌平均含量为1.93 mg/kg，中等变异等级，总体满足优质烤烟种植的要求。土壤中有效锌含量随着有机质增加而增加，呈直线形变化；随着海拔增加先升高后降低，呈抛物线变化，不同海拔组和有机质组间有效锌含量差异达极显著水平。有效锌含量在土壤pH为6.5~7.5时最低，在偏酸和偏碱的环境中含量较高。文山烟区分布最广的是红壤，其次是黄壤，不同土壤类型有效锌含量差异达极显著水平，含量最高的是水稻土，最低的是紫色土。全烟区有25.45%的区域有效锌缺乏，有4.43%的区域有效锌含量偏高。有效锌含量缺乏区域应加强有机肥以及含锌肥料的施用，偏高区域可以通过控施有机肥、含锌肥料以及调节土壤酸碱度等措

施来降低其含量。

## 参考文献：

- [1] 杨系玲, 杨克军, 李佐同, 等. 锌对不同基因型玉米幼苗光合特性及锌积累的影响[J]. 核农学报, 2016, 30(3): 571–579
- [2] 韩锦峰, 汪耀富, 钱晓刚. 烟草栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 189–221
- [3] 胡国松, 郑伟, 王震东. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 198–209
- [4] 许自成, 王林, 肖汉乾. 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[J]. 生态环境, 2007, 16(1): 180–185
- [5] 李强, 周冀衡, 张永安, 等. 曲靖植烟土壤有效微量元素的空间变异和影响因子[J]. 烟草科技, 2013(10): 63–97, 79
- [6] 赵爽, 许自成, 解燕, 等. 曲靖市植烟土壤有效锌含量状况及与土壤因素的关系分析[J]. 中国烟草学报, 2013, 19(1): 26–31
- [7] 李永富, 邓小华, 宾波, 等. 湖南省邵阳烟区土壤有效锌含量时空特征及其影响因素[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(1): 53–59
- [8] 王新中, 樊在斗, 李再光, 等. 大理州植烟土壤有效锌分布特征及其影响因素分析[J]. 烟草科技, 2015, 48(8): 11–14
- [9] 陆欣春, 田霄鸿, 杨习文, 等. 氮锌配施对石灰性土壤锌形态及肥效的影响[J]. 土壤学报, 2010, 11(6): 1202–1213
- [10] 张春华, 张正杨, 刘国顺, 等. 植烟土壤有效态微量元素空间变异特征[J]. 土壤, 2010, 42(1): 20–25
- [11] 崔爱华, 张东启, 郭卢, 等. 亳州烟区农田耕作层土壤微量元素含量研究[J]. 土壤, 2014, 46(6): 1164–1168
- [12] 王影影, 梁洪波, 徐宜民, 等. 山东典型植烟土壤微量元素有效态含量研究[J]. 土壤, 2014, 46(1): 172–177
- [13] 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
- [14] 周炼川, 徐天养, 张家征, 等. 文山烟区植烟土壤pH分布特点及其与主要养分的相关关系[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(1): 61–64
- [15] 中华人民共和国农业部. 土壤检测 第6部分：土壤有机质的测定(NY/T 1121.6-2006)[S]. 北京: 中国标准出版局, 2006
- [16] 中华人民共和国农业部. 土壤pH的测定(NY/T 1377-2007)[S]. 北京: 中国标准出版局, 2007
- [17] 中华人民共和国农业部. 土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTPA)浸提(NY/T 890-2004)[S]. 北京: 中国标准出版局, 2004
- [18] 李强, 周冀衡, 李迪秦, 等. 曲靖烟区土壤有效中量元素的空间变异特征及影响因子研究[J]. 核农学报, 2011, 25(3): 540–547
- [19] 陈江华, 刘建利, 李志宏. 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] 张春华, 张正杨, 刘国顺, 等. 植烟土壤有效态微量元素空间变异特征[J]. 土壤, 2010, 42(1): 20–25

- [21] 程昌新, 闫辉, 尹兴盛, 等. 保山烟区植烟土壤有效硼和有效锌含量丰缺评价[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2015, 30(5): 804–809
- [22] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 65–132
- [23] 张隆伟, 伍仁军, 王昌全, 等. 四川凉攀烟区植烟土壤有效铜和有效锌空间变异特征[J]. 中国烟草科学, 2014, 35(3): 1–6
- [24] 张国, 季学军, 李德成, 等. 安徽省宣城市植烟土壤主要属性定量评价及空间分布[J]. 土壤, 2012, 44(5): 873–879
- [25] 李强, 周冀衡, 杨荣生, 等. 马龙县植烟土壤养分空间变异特征及适宜性评价[J]. 土壤, 2011, 43(6): 897–902
- [26] 鲁如坤. 土壤—植物营养学原理与施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998
- [27] 张艳玲, 张仕祥, 杨杰, 等. 施肥对植烟土壤重金属输入的影响[J]. 烟草科技, 2010(11): 51–54, 60
- [28] 黎娟, 刘逊, 邓小华, 等. 湘西植烟土壤有效锌含量及其变化规律研究[J]. 云南农业大学学报, 2012, 27(2): 1210–1214, 1240
- [29] 农牧渔业部农业局. 微量元素肥料研究与应用[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1986: 157–158

## Distribution of Available Zinc in Tobacco-planting Soils in Wenshan and Its Influential Factors

TAN Jun<sup>1</sup>, LIU Xiaoying<sup>1</sup>, LI Qiang<sup>1</sup>, ZHOU Jiheng<sup>1\*</sup>, CHEN Lijuan<sup>1</sup>, BIN Jun<sup>1</sup>, QIU Yongjian<sup>2</sup>

(1 Institute of Tobacco, College of Biological Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;  
2 China Tobacco Guangxi Industrial Co., Ltd., Nanning 530001, China)

**Abstract:** In order to understand the distribution of available zinc in tobacco-planting soils in Wenshan and its influential factors and to provide a basis for the reasonable application of zinc fertilizer, 276 soil samples were collected with the help of GPS. Available zinc contents, spatial distribution and influential factors were analyzed by geostatistics method with geographic information system (GIS) and classical statistical method. The results showed that the average available zinc content ranged from 0.20 to 8.17 mg/kg, with a mean of 1.93 mg/kg and a variation coefficient of 70.47%. 70.12% of the soil samples were in the appropriate level (1.00–5.00 mg/kg), which was very fit for tobacco planting. Available zinc content was in an order of Malipo>Xichou>Wenshan>Maguan>Yanshan>Qiubei>Guangnan. Available zinc content increased with the increase of organic matter content, showed a parabolic trend with the increase of altitude. There were extremely significant differences in available zinc contents among the different altitude and organic matter grades. Available zinc content was lowest in pH of 6.5–7.5, and was higher in the acid and alkali soils. The most of tobacco-planting soil in Wenshan is red soil, followed by yellow soil. Available zinc content in different soil types existed extremely significant differences, zinc content was highest in paddy soil but was lowest in purple soil. So, available zinc content of tobacco-planting soils in Wenshan on the whole meets the requirement of high quality tobacco leaves, but the region with zinc deficiency should strengthen the application of zinc fertilizer and organic fertilizer to improve available zinc content in soils.

**Key words:** Wenshan; Tobacco-planting soil; Available zinc; Organic matter; pH