

# 曲靖烟区土壤磷锌互作对烟叶磷锌含量和品质的影响<sup>①</sup>

方 秀<sup>1</sup>, 王 林<sup>1</sup>, 卢秀萍<sup>2</sup>, 许自成<sup>1\*</sup>, 解 燕<sup>3</sup>, 张 森<sup>1</sup>, 穆 童<sup>1</sup>, 孟一卓<sup>1</sup>

(1 河南农业大学烟草学院, 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:** 利用田间调查采样及室内测定分析方法, 分析了云南省曲靖市中海拔红壤烟区 648 个代表性烟田的土壤有效磷、有效锌含量及其互作对烟叶磷、锌含量和其品质的影响。结果表明: 土壤有效磷含量介于 0.96 ~ 101.28 mg/kg, 平均为 31.34 mg/kg, 35.80% 的土样有效磷处于烤烟生长适宜范围(20 ~ 40 mg/kg); 土壤有效锌含量丰富, 介于 0.20 ~ 23.68 mg/kg, 平均为 3.01 mg/kg, 74.69% 的土样有效锌含量处于烤烟生长适宜范围(1 ~ 4 mg/kg); 烟叶磷含量处于中等偏低水平, 平均为 1.9 g/kg, 95.22% 的烟样符合烟叶磷含量一般范围(1.5 ~ 6.0 g/kg); 烟叶锌含量较高, 平均为 46.12 mg/kg, 94.29% 的烟样处于烟叶锌含量一般范围(20 ~ 80 mg/kg); 烟叶锌含量随土壤有效锌含量的升高而显著增加, 随土壤有效磷含量的升高而降低; 而烟叶磷含量与土壤有效磷和有效锌含量之间的关系不明显; 土壤有效磷和有效锌含量的交互作用对烟叶磷含量无显著影响, 但对烟叶锌含量存在极显著影响, 高含量的土壤有效磷会拮抗烟株对土壤有效锌的吸收; 土壤有效磷对烟叶品质影响较小, 而土壤有效锌含量与烟叶化学成分及香气物质含量的相关性较密切。在土壤有效锌含量处于中低(<2.0 mg/kg)水平, 而土壤磷含量处于中等适宜(20 ~ 40 mg/kg)水平时, 烟叶品质表现最好。

**关键词:** 磷; 锌; 交互作用; 红壤; 烤烟; 中海拔烟区; 曲靖

**中图分类号:** S572 **文献标识码:** A

磷是烟草生长过程所必需的三大元素之一, 被称为“能量元素”, 直接参与光合作用的光合磷酸化和碳同化<sup>[1]</sup>, 对细胞构成、能量代谢和烟叶品质的形成有重要作用<sup>[2]</sup>。适宜的磷含量可改善烟叶颜色, 使化学成分协调, 香气质量好<sup>[3-4]</sup>。锌是植物体内多种酶辅助因子的重要成分<sup>[5-6]</sup>, 与光合作用<sup>[7]</sup>、酶活性调节、生长素合成<sup>[8]</sup>、蛋白质代谢等相关密切, 适量的锌素能够提高烟叶香气质和香气量, 改善其香吃味<sup>[9]</sup>。磷锌交互作用问题一直是土壤与植物营养的研究热点, 研究表明高磷可诱导作物缺锌<sup>[10]</sup>, 磷与锌之间存在交互作用机制。近年来, 关于土壤有效磷和烟叶磷含量关系以及土壤有效锌和烟叶锌含量关系的研究已有报导<sup>[11-12]</sup>, 虽然磷锌互作在其他作物上的研究较多<sup>[13-14]</sup>, 但烟草上的相关研究报道不多, 研究磷锌互作对指导烟草磷肥和锌肥施用具有积极的指导意义。为此本研究通过分析云南省曲靖市中海拔红壤烟区土壤有效磷、有效锌含量, 研究土壤磷、锌与

烟叶中磷、锌含量及其他化学成分的关系, 明确磷、锌相互作用的特点, 旨在为烤烟合理施用磷肥和锌肥提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

通过 GPS 定位, 在云南曲靖中海拔红壤烟区 9 个植烟县区(富源县、会泽县、陆良县、罗平县、马龙县、麒麟区、师宗县、宣威市、沾益县)依据地形、母质、土壤类型、烟株常年长势等因素确定了 648 个代表性烟田, 采样时间为烟草尚未施用底肥和移栽前, 同时避开雨季。采用“S”取样, 平均 5 ~ 15 hm<sup>2</sup> 采集一个混合土样, 取耕层土壤 20 cm 深的土样, 每个混合样取 8 ~ 10 个点, 混匀后用四分法取约 1.5 kg 的混合土样, 经风干、磨碎、过筛等前处理置备待测样。

同时, 在对应植烟地块上, 选取当地主栽品种(云烟 85、云烟 87、云烟 97、K326 和红花大金元)的烟

基金项目: 中国烟草总公司重大科技攻关项目(Ts-02-20110018) 和中国烟草总公司云南省公司科技攻关项目(2011YN03)资助。

\* 通讯作者(zichengxu@126.com)

作者简介: 方秀(1992—), 女, 河南信阳人, 硕士研究生, 研究方向为烟草营养与质量评价。E-mail: fangxiu125@163.com

叶样品,取样等级为 C3F(中橘三),每个烟样取 1.5 kg 经烘干、粉碎后过 60 目筛用于化学成分测定。

1.2 指标测定方法

1.2.1 土样测定 土壤有效磷测定采用氟化铵-盐酸浸提-钼锑抗比色法<sup>[15]</sup>,有效锌测定采用 DTPA 浸提-原子吸收分光光度法<sup>[15]</sup>。

1.2.2 烟样测定 烟叶化学成分包括:总氮、烟碱、总糖、还原糖等,具体测定方法见文献[16]。烟叶磷、锌含量采用干灰化法<sup>[17]</sup>测定。

2 结果与分析

2.1 土壤有效磷和有效锌含量的分布状况

曲靖中海拔红壤烟区土壤有效磷含量平均为 31.34 mg/kg,低于大理(31.75 mg/kg)<sup>[18]</sup>,高于河南(13.49 mg/kg)<sup>[19]</sup>,湖南(20.15 mg/kg)<sup>[20]</sup>,变幅为 0.96 ~ 101.28 mg/kg,变异系数较小,为 66.26%。根据相关资料<sup>[18]</sup>,将土壤有效磷含量按极低( <10.0 mg/kg)、低(10 ~ 20 mg/kg)、适宜(20 ~ 40 mg/kg)、高(40 ~ 80 mg/kg)和极高(>80 mg/kg) 5 个等级划分(表 1)。当 <20 mg/kg 为缺磷,20 ~ 40 mg/kg 最适宜烤烟生长,

>80 mg/kg 时为含量过高<sup>[18]</sup>。由表 1 可知,36.42% 的土壤有效磷含量在 20 mg/kg 以下,属于缺磷土壤,其中极缺等级占 12.96%;27.78% 的土壤磷含量偏高;仅 35.80% 的土壤磷含量适宜。该区土壤有效磷含量总体处于中等水平,分布于适宜范围内的比例较低。

曲靖中海拔红壤烟区土壤有效锌含量平均为 3.01 mg/kg,高于湖南(2.27 mg/kg)<sup>[21]</sup>,恩施(1.0 mg/kg)<sup>[11]</sup>,变幅为 0.20 ~ 23.68 mg/kg,变异系数较高,达 91.24%。根据他人研究结果和生产实践经验<sup>[22]</sup>,将土壤有效锌含量按其丰缺指标划分为 5 个等级: ≤0.5 mg/kg 为严重缺锌,仅占 1.54%;0.5 ~ 1.0 mg/kg 为缺乏,占 4.94%;1.0 ~ 2.0 mg/kg 为适宜,占 33.49%;2.0 ~ 4.0 mg/kg 为较丰富,占 41.20%;>4.0 mg/kg 为丰富,占 18.83%(表 2)。第 1、第 2 和第 5 等级会不同程度地影响烟草的正常生长发育,第 3、第 4 等级可满足优质烟叶生长需要。土壤有效锌含量缺乏临界值为 1.0 mg/kg,该区缺锌土壤仅占 6.48%;该区土壤有效锌含量整体较丰富,74.69% 的土壤有效锌能满足优质烟叶生长需求(1.0 ~ 4.0 mg/kg),符合优质烟叶生长的要求。

表 1 曲靖中海拔红壤烟区土壤有效磷含量分布  
Table 1 Distribution of soil rapidly available P contents in mid-altitude area of Qujing

土壤有效磷区间(mg/kg)	样本数	比例(%)	变幅(mg/kg)	均值±标准差(mg/kg)	变异系数(%)
≤10	84	12.96	0.96 ~ 9.80	6.37 ± 2.45 e	38.55
10 ~ 20	152	23.46	10.15 ~ 20.00	15.31 ± 2.88 d	18.83
20 ~ 40	232	35.80	20.06 ~ 39.94	29.27 ± 5.33 c	18.20
40 ~ 80	161	24.85	40.02 ~ 79.70	55.76 ± 11.66 b	20.01
>80	19	2.93	80.03 ~ 101.28	88.24 ± 6.63 a	7.51
总体	648	-	0.96 ~ 101.28	31.34 ± 20.76	66.26

注:表中同列数据小写字母不同表示差异达到  $P<0.05$  显著水平,下同。

表 2 曲靖中海拔红壤烟区土壤有效锌含量分布  
Table 2 Distribution of soil available Zn contents in mid-altitude area of Qujing

土壤有效锌区间(mg/kg)	样本数	比例(%)	变幅(mg/kg)	均值±标准差(mg/kg)	变异系数(%)
≤0.5	10	1.54	0.20 ~ 0.19	0.34 ± 0.09 c	27.31
0.5 ~ 1.0	32	4.94	0.51 ~ 1.00	0.81 ± 0.15 c	19.03
1.0 ~ 2.0	217	33.49	1.01 ~ 2.00	1.52 ± 0.28 b	18.09
2.0 ~ 4.0	267	41.20	2.01 ~ 3.99	2.63 ± 0.51 b	19.26
>4.0	122	18.83	4.02 ~ 23.68	7.28 ± 3.88 a	53.24
总体	648	-	0.20 ~ 23.68	3.01 ± 2.75	91.24

2.2 土壤有效磷、有效锌与土壤其他属性的关系分析

土壤有效磷、有效锌与土壤 pH、有机质以及其他元素的相关性见表 3。土壤有效磷与全磷、碱解氮、速效钾、有效铁、有效硼、有效硫均表现为

极显著正相关关系,与 pH 和全钾、有效钙、有效镁、有效锌之间为极显著或显著负相关。土壤有效锌与有机质、全氮、碱解氮、速效钾、有效钙、有效铜、有效锰均表现为正相关关系,相关系数达 5% 显著或 1%极显著水平;与 pH、全磷、有效磷

之间为负相关,相关系数亦为 5% 显著或 1% 极显著水平。

表 3 土壤有效磷、有效锌与土壤其他属性的相关分析  
Table 3 Correlation between soil rapidly available P, available Zn and other properties

指标	有机质	pH	全氮	全磷	全钾	碱解氮	有效磷	速效钾
土壤有效磷	0.05	-0.118**	0.05	0.329**	-0.131*	0.209**	—	0.145**
土壤有效锌	0.195**	-0.323**	0.15*	-0.190**	-0.046	0.186**	-0.097**	0.099**

指标	有效钙	有效镁	有效铜	有效锌	有效铁	有效锰	有效硼	有效硫
土壤有效磷	-0.095**	-0.113**	-0.045	-0.167**	0.163**	0.004	0.433**	0.221**
土壤有效锌	0.104**	0.007	0.347*	—	-0.004	0.232**	0.031	0.066

注：\* 和 \*\* 分别表示达到  $P<0.05$  和  $P<0.01$  显著水平，下同。

2.3 烤烟磷、锌含量的分布状况

曲靖中海拔红壤烟区烟叶磷含量偏低，平均为 1.9 g/kg(图 1)，与广州(1.9 g/kg)、贵州(1.9 g/kg)烟叶磷含量相当，高于恩施(1.7 g/kg)<sup>[11]</sup>，但低于四川全省(2.2 g/kg)、云南(2.1 g/kg)<sup>[23]</sup>，变幅为 0.12% ~ 0.48%，变异系数较小，为 19.16%。我国烟叶磷含量一般为 1.5 ~ 6.0 g/kg，该区 95.22% 的烟样磷含量分布于这一范围内，39.51% 的烟样符合巴西优质烟叶磷含量<sup>[23]</sup>(2.0 ~ 2.8 g/kg)。偏度系数(2.199)大于零，表现为正偏斜，峰度系数(12.040)也大于零，形成尖峭峰。

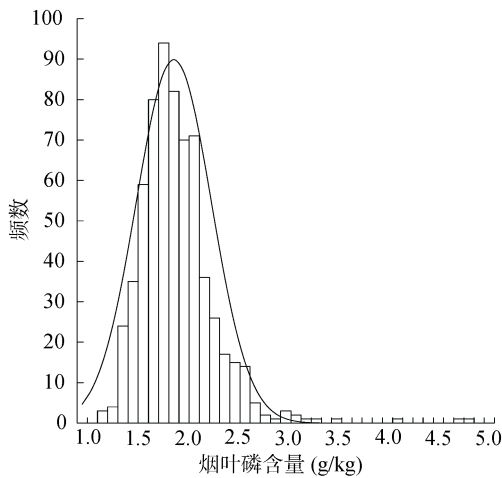


图 1 烟叶磷含量频数分布  
Fig. 1 Frequency distribution of P content in tobacco leaves

烟叶锌含量平均为 46.12 mg/kg，高于河南(37.66 mg/kg)，湖南(43.41 mg/kg)，稍低于四川(46.64 mg/kg)烟区<sup>[23]</sup>，变幅为 12.03 ~ 109.89 mg/kg，变异系数为 34.93%(图 2)。我国烟叶锌含量一般为 20 ~ 80 mg/kg，该区有 94.29% 的烟样锌含量分布于这一范围，与巴西优质烟叶锌含量(10.15 ~ 31.64 mg/kg)符合频率为 13.89%。偏度系数(1.215)和峰度系数(1.938)均大于零，分布形态也表现为正偏斜的尖峭峰。

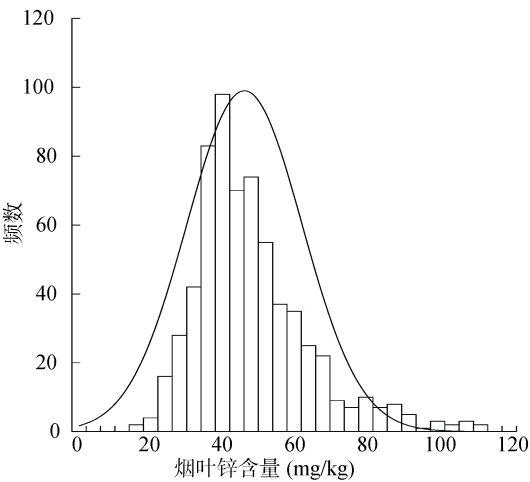


图 2 烟叶锌含量频数分布  
Fig. 2 Frequency distribution of Zn content in tobacco leaves

2.4 土壤有效磷与有效锌含量对烟叶磷、锌含量的影响

将土壤有效磷和有效锌进行分组，分析比较不同组间烟叶磷、锌含量的差异。由表 4 可知，当土壤有效磷含量分组后，烟叶磷含量在各土壤有效磷组间无明显变化，含量较均衡，但当土壤有效磷含量在 20 ~ 40 mg/kg 时烟叶磷含量最高。烟叶锌含量总体表现出随土壤有效磷含量的升高而降低的趋势，当有效磷含量 < 20 mg/kg 时，烟叶锌含量随土壤有效磷的增加而略有增加，但差异不显著；当有效磷含量 > 20 mg/kg 时，烟叶锌含量随土壤有效磷的升高而显著下降；当有效磷含量 > 80 mg/kg 时，降低幅度最明显。进行相关分析表明，烟叶磷含量与土壤有效磷相关性不显著，但烟叶锌含量与土壤有效磷呈极显著负相关，相关系数为 -0.226。

对分组后的土壤有效锌含量分析可知，烟叶磷含量在各土壤有效锌组间也无显著差异，在土壤有效锌含量 0.5 ~ 1.0 mg/kg 时，烟叶磷含量最高(2.1 g/kg)。烟叶锌含量随土壤有效锌含量的升高而显著增加，当

表 4 烟叶磷、锌含量与土壤有效磷、有效锌含量的关系  
Table 4 P and Zn contents in tobacco leaves and rapidly available P and available Zn contents in soils

土壤速效磷区间 (mg/kg)	烟叶		土壤有效锌区间 (mg/kg)	烟叶	
	磷(g/kg)	锌(mg/kg)		磷(g/kg)	锌(mg/kg)
10	1.9 ± 0.4 a	48.59 ± 17.40 a	0.5	1.8 ± 0.3 b	36.09 ± 7.73 c
10 ~ 20	2.0 ± 0.5 a	50.35 ± 16.75 a	0.5 ~ 1.0	2.1 ± 0.4 a	38.63 ± 11.61 bc
20 ~ 40	2.2 ± 0.3 a	45.18 ± 15.11 b	1.0 ~ 2.0	1.9 ± 0.4 ab	41.67 ± 11.59 b
40 ~ 80	1.9 ± 0.3 a	42.90 ± 15.61 b	2.0 ~ 4.0	1.9 ± 0.3 ab	45.42 ± 14.93 b
>80	1.9 ± 0.4 a	35.75 ± 7.72 c	>4.0	1.9 ± 0.3 ab	58.09 ± 20.46 a

土壤有效锌含量在<1.0 mg/kg 两组分时,烟叶锌含量较低,且差异不显著,但显著低于其他各组分;当土壤有效锌含量>4.0 mg/kg 时,烟叶锌含量显著增加,与其他各组间差异极显著。将 648 个烟样磷、锌含量与土壤有效锌进行相关性分析,结果表明烟叶磷含量与土壤有效锌之间无相关性,但烟叶锌含量与土壤有效锌呈极显著正相关,相关系数为 0.357。

2.5 土壤有效磷与有效锌的交互作用对烟叶磷、锌含量的影响

将曲靖中海拔红壤烟区土壤有效磷含量按低(P1: 20 mg/kg)、中(P2: 20 ~ 40 mg/kg)、高(P3: >40 mg/kg)分为 3 组,并将土壤有效锌含量按中低(Zn1: 2.0 mg/kg)、高(Zn2: >2.0 mg/kg)分为两组,分析二者互作时对烟叶磷、锌含量的影响。由表 5 可知,土壤有效磷和有效锌互作对烟叶磷含量影响不显著,而对烟叶锌含量有着显著的交互作用,通过多重比较可以看出,高锌低磷时,烟叶锌含量最高(51.85 mg/kg),且与其他各组间差异显著;低锌高磷时,烟叶锌含量最低(36.88 mg/kg)。当土壤有效锌含量处于中低水平时(Zn1: 2.0 mg/kg),随土壤有效磷含量的升高,烟叶锌含量降低幅度最明显,显著大于土壤有效锌含量处于高水平时(Zn2:>2.0 mg/kg)。

表 5 土壤有效磷与有效锌互作对烟叶磷、锌含量的影响  
Table 5 Effects of interaction between soil rapidly available P and available Zn on P and Zn contents in tobacco leaves

分组	样本数	比例(%)	烟叶磷含量(g/kg)	烟叶锌含量(mg/kg)
Zn1P1	112	17.28	2.1 ± 0.5 a	44.62 ± 13.50 bc
Zn1P2	91	14.04	1.9 ± 0.3 a	39.57 ± 9.90 d
Zn1P3	56	8.64	2.0 ± 0.3 a	36.88 ± 9.27 e
Zn2P1	124	19.14	1.8 ± 0.4 ab	51.85 ± 18.97 a
Zn2P2	141	21.76	1.9 ± 0.4 ab	49.81 ± 16.73 a
Zn2P3	124	19.14	1.9 ± 0.3 a	46.33 ± 16.16 ab

2.6 曲靖中海拔红壤烟区土壤有效磷与有效锌含量对烟叶品质的影响

土壤有效磷、有效锌与烟叶化学成分及香味物质含量的相关分析见表 6。土壤有效磷对烟叶品质的影响较小,与烟碱和烟叶燃烧性呈极显著负相关,与烟叶钾含量呈显著负相关,与烟叶氯含量具有极显著正相关关系,与糖和香味物质含量相关性不显著;土壤有效锌对烟叶品质影响较大,与总糖、还原糖、总氮、氯含量及香气质、香气量、余味呈显著或极显著正相关关系,与烟叶钾含量、杂气、刺激性及燃烧性均具有负相关关系。

表 6 土壤有效磷、有效锌与烟叶品质指标的相关分析  
Table 6 Correlation between soil rapidly available P, available Zn and quality indicators of tobacco leaves

指标	总糖	还原糖	总氮	烟碱	钾	氯
土壤有效磷	0.015	0.047	0.065	-0.109**	-0.095*	0.214**
土壤有效锌	0.106**	0.190**	0.095*	-0.019	-0.103*	0.112*
指标	香气质	香气量	杂气	刺激性	余味	燃烧性
土壤有效磷	0.063	0.005	0.088*	0	-0.065	-0.116**
土壤有效锌	0.131**	0.143**	-0.101*	-0.147*	0.187**	-0.082**

由表 7 可知,曲靖中海拔红壤烟区烟叶糖含量偏高,且在有效磷含量高时烟叶糖含量稍有下降,总氮和烟碱含量适中,氯含量稍高,总体在锌含量处于中低水平、磷含量处于中等适宜水平时,烟叶化学成分最适宜,协调性好。由表 8 可知,烟叶香味物质含量在不

同锌组间,均在磷含量为适宜水平(20 ~ 40 mg/kg)表现最好,而在土壤有效锌处于高含量组间时,烟叶香气质和香气量均较高,但此时杂气和刺激性也较高。综合分析可知,在锌含量处于中低水平、磷含量处于中等适宜水平时,烟叶品质总体表现最好。

表 7 土壤有效磷与有效锌互作对烟叶化学成分的影响  
Table 7 Effects of interaction between soil rapidly available P and available Zn on chemical components in tobacco leaves

分组	总糖	还原糖	总氮	烟碱	钾	氯	糖碱比	氮碱比
Zn1P1	30.93 a	24.31 ab	1.81 bc	2.03 b	1.68 c	0.42 bc	15.24 ab	0.89 b
Zn1P2	31.79 a	22.75 c	1.84 bc	2.42 a	1.86 a	0.48 b	13.14 b	0.76 c
Zn1P3	31.38 a	23.18 bc	1.86 ab	1.98 b	1.82 ab	0.49 b	15.85 a	0.94 a
Zn2P1	32.53 a	24.99 a	1.75 c	2.14 ab	1.69 c	0.31 c	15.20 ab	0.82 b
Zn2P2	32.36 a	24.39 ab	1.84 bc	2.32 ab	1.67 c	0.41 bc	13.95 b	0.78 c
Zn2P3	32.27 a	24.64 a	1.90 a	2.09 b	1.59 c	0.65 a	15.44 a	0.91 a

表 8 土壤有效磷与有效锌互作对烟叶香气物质含量的影响  
Table 8 Effects of interaction between soil rapidly available P and available Zn on aroma components in tobacco leaves

分组	香气质	香气量	杂气	刺激性	余味	燃烧性
Zn1P1	13.83 ab	14.44 a	11.07 b	12.37 cd	13.75 b	3.90 a
Zn1P2	13.98 ab	14.27 a	11.16 ab	12.28 d	13.89 bd	3.95 a
Zn1P3	13.80 b	14.33 a	11.28 ab	12.43 bcd	13.90 bd	3.87 ab
Zn2P1	14.01 ab	14.44 a	11.37 a	12.71 a	14.09 ab	3.91 a
Zn2P2	14.13 a	14.37 a	11.35 a	12.60 ab	14.21 a	3.85 ab
Zn2P3	14.14 a	14.47 a	11.46 a	12.58 abc	13.91 bd	3.76 b

3 讨论

通过对曲靖中海拔红壤烟区 9 个植烟县区 648 个土壤样品的研究探讨发现,该区土壤有效磷含量中等,分布于适宜优质烟叶生长范围内的比例较低,36.42% 的土壤处于不同程度的缺磷状态。土壤有效锌含量整体较符合优质烟叶生长的要求,含量稍偏高,可能是因为受成土母质的影响,红壤中铁铝氧化物含量高,致使土壤呈酸性<sup>[24-25]</sup>,且红壤对有机质的保持作用稳定,有机质的自身分解和对锌的固定以及酸性土壤活化锌共同导致土壤有效锌含量偏高;烟叶锌含量也较高,94.29% 的烟样符合我国烟叶锌含量一般范围 (20 ~ 80 mg/kg)。烟叶磷含量偏低,95.22% 的烟样磷含量符合我国烟叶磷含量的一般标准 (1.5 ~ 6.0 g/kg),但符合巴西优质烟叶磷含量的烟样较少。因此,应针对土壤有效磷含量缺乏的地区,适当增施磷肥,以调节土壤肥力,提高烟叶产质量。但考虑到该区土壤有效锌含量丰富,为避免和降低二者之间的拮抗作用而影响到烟叶对磷、锌的吸收,在增施磷肥的过程中,应以土壤有效锌含量为基础,实行以锌定磷,“补磷、调磷、限磷”相结合,采用不同的施肥措施。

应用方差分析比较了不同土壤有效磷和有效锌含量分组后烟叶磷、锌含量的差异,研究表明,在不同的土壤有效磷含量分组间,烟叶磷含量无显著变化,基本上不随土壤有效磷含量的增加而增加,与张

拯研<sup>[26]</sup>所研究的烟叶对磷的吸收不会随磷肥用量的增加而增加一致,而与许自成等<sup>[27]</sup>研究的在一定范围内,烟叶磷含量会随土壤有效磷含量的增加而增加不一致。可能是因为烟叶对磷的吸收不仅与土壤磷含量关系密切,还与烟草品种、土壤 pH、根际微生物等有关;而且磷在土壤中极易被固定,移动性较差,易与铁、铝氧化物,碳酸钙以及钙、铁、铝发生沉淀和吸附,转化成缓效性或不溶性磷被固定,有效性降低<sup>[28]</sup>。烟叶磷含量亦不随土壤有效锌含量的变化而出现显著差异,且相关分析显示,烟叶磷含量与土壤有效锌之间无显著相关性,表明土壤有效锌含量对烟株吸收磷素无明显影响。

烟叶锌含量随土壤有效磷含量的升高而降低,且当土壤有效磷含量处于高水平时,烟叶锌含量降低幅度最明显,即土壤磷对锌的吸收利用具有拮抗效应。因为土壤有效磷含量高时,红壤吸附磷酸根后可使 Zn 的吸附量增加,解吸率下降<sup>[29]</sup>,导致土壤中锌的有效性降低;并且磷多会减慢锌从根部转运到地上部的速度,植株根部积累的磷与锌形成不溶性的磷酸盐沉淀<sup>[30]</sup>,从而使锌的利用效率降低;刘芳等<sup>[31]</sup>研究表明,在磷含量低时二者拮抗机制主要是竞争土壤吸附点位,而化学沉淀次之;但在高磷含量下,二者将发生明显的化学沉淀,导致土壤有效锌降低。且过量的磷会使土壤 pH 发生改变进而影响 Zn 的有效性<sup>[32]</sup>,Lieu<sup>[33]</sup>研究了不同 pH 下磷锌互作对水稻生长的影响表明,控制 pH 为 5.3 时,增施磷

肥能促进水稻对磷的吸收,且不会降低植株中锌的含量;而当 pH 上升至 6.3 时,增磷却明显抑制了植株对锌的积累。所以烟叶生产中可通过适当调节土壤 pH 来调节磷、锌的有效性,减少二者之间的拮抗作用,提高其利用效率。烟叶锌含量随土壤有效锌含量的升高呈增加趋势,当土壤有效锌处于高含量水平时,烟叶锌含量增长速度显著加快。因此,当土壤有效锌较低时,直接影响了烤烟对锌的吸收利用,不利于优质烟叶的形成。所以,对烟叶锌含量偏低的地区,适当增施锌肥或采用叶面喷施的方法直接增施锌可提高烟叶锌含量。

磷锌交互作用一直是近年来的研究热点,一般认为土壤中磷、锌之间存在一定的拮抗作用<sup>[34]</sup>。曲靖中海拔红壤烟区土壤有效磷与有效锌互作对烟叶磷含量影响不显著,而对烟叶锌含量却有着显著的交互作用,且当土壤有效锌含量较低时,随土壤有效磷含量的升高,烟叶锌含量降低幅度显著大于土壤有效锌含量处于高水平时,与雷广海<sup>[35]</sup>研究的磷诱导缺锌大多发生在有效锌含量较低的土壤上一致。可能是因为锌的生理失活效应,磷浓度高会干扰锌在细胞中某些部位的代谢<sup>[34]</sup>,但具体作用机理仍有待进一步研究。因此,磷与锌的交互作用是单一的,锌的存在和含量对磷的吸收影响不大,而高含量的磷会抑制烟叶对锌的吸收,且在高磷高锌水平下拮抗作用更明显。因此,在施肥时应充分考虑土壤磷、锌交互作用,在土壤有效锌含量偏高的地区,应控制磷肥的施用量。

对土壤有效磷、有效锌含量与烟叶其他品质指标进行分析,发现土壤有效磷对烟叶品质影响较小,与吴正举等<sup>[36]</sup>所研究的土壤磷含量与烟叶品质没有显著相关性一致,可能是因为该区土壤有效磷含量较缺乏,分布于适宜范围内的比例较低,且磷在土壤中极易被固定,发生吸附、沉淀和转化作用,转化成缓效性或不溶性磷被固定,有效性降低,从而导致烟株对磷的利用率降低,进而对烟叶品质影响较小。而土壤有效锌含量对烟叶品质影响较明显,与烟叶化学成分及香气物质含量相关性较密切,与许自成等<sup>[21]</sup>研究的湖南烤烟烟叶化学成分随土壤有效锌的变化而呈现趋势性变化一致,韦凤杰等<sup>[9]</sup>也研究发现锌可促进烤烟烟叶香气物质含量的增加,但有关锌对烟叶品质的影响效应及生理机制仍需进一步研究。总体表现出在土壤锌含量处于中低 (<2.0 mg/kg) 水平,磷含量处于中等适宜 (20 ~ 40 mg/kg) 水平时,烟叶品质表现最好。

## 4 结论

1) 土壤有效磷含量总体上偏低,而土壤有效锌含量总体上丰富;烟叶磷含量处于中等偏低水平,烟叶锌含量较高。

2) 烟叶锌含量随土壤有效锌含量的升高而显著增加,随土壤有效磷含量的升高而降低;而烟叶磷含量与土壤有效磷和有效锌含量之间的关系不明显;土壤有效磷和有效锌含量的交互作用对烟叶磷含量无显著影响,但对烟叶锌含量有极显著影响,高含量的土壤有效磷会导致烟株对土壤有效锌的吸收产生拮抗作用。

3) 土壤有效磷对烟叶品质影响较小,而土壤有效锌含量与烟叶化学成分及香气物质含量的相关性较密切。在土壤有效锌含量处于中低 (<2.0 mg/kg) 水平,而土壤磷含量处于中等适宜 (20 ~ 40 mg/kg) 水平时,烟叶品质表现最好。

## 参考文献:

- [1] 徐敏, 刘国顺, 杨永峰. 磷对不同基因型烤烟叶绿素荧光参数的影响[C]. 中国烟草学会 2006 年学术年会论文集, 2007
- [2] 周冀衡, 朱小平, 王彦亭, 等. 烟草生理与生物化学[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 1996: 192-193
- [3] 刘国顺, 肖庆礼, 王新中, 等. 施磷对南阳烟区烤烟化学成分和香气物质含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(6): 34-37
- [4] 王艳丽, 刘国顺. 磷肥用量对烟叶细胞壁物质含量和烟叶厚度的影响[J]. 烟草科技, 2005(5): 41-44
- [5] Vallee B L, Auld D S. Zinc condition, function and structure of zinc enzymes and other protein[J]. Biochemistry, 1990, 29: 5647-5659
- [6] 汪邓民, 周冀衡, 朱显灵, 等. 磷钙锌对烟草生长、抗性保护酶及渗透调物的影响[J]. 土壤, 2000, 32(1): 34-37
- [7] 刘国顺, 习向银, 时向东, 等. 锌对烤烟漂浮育苗中烟苗生长及生理特性的影响[J]. 河南农业大学学报, 2002, 36(1): 18-22
- [8] Tsui C. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant[J]. American Journal of Botany, 1948, 35: 172-179
- [9] 韦凤杰, 张国显, 常思敏, 等. 锌对豫西烤烟香气物质含量和评吸质量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2008, 42(3): 263-267
- [10] Singh Y. Phosphorus and zinc interaction in maize nutrition[J]. Indian J. Agri., 1976, 21(40): 480-482
- [11] 郭燕, 毕庆文, 许自成, 等. 恩施烟区土壤有效锌与烤烟锌含量的关系[J]. 中国土壤与肥料, 2009(3): 57-61
- [12] 秦艳青. 褐土区磷肥种类和用量对烤烟生长及产质量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2003: 12-13
- [13] 李惠英, 朱永官. 不同磷钾施肥量对大麦产量及其吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 10(4): 51-53

- [14] 郝小雨, 刘建玲, 廖文华, 等. 磷锌配施对油菜养分吸收和土壤有效磷、锌的影响[J]. 华北农学报, 2009, 24(6): 123–127
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 152–177
- [16] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 250–275
- [17] 许自成, 王林, 肖汉乾, 等. 湖南烟区土壤交换性钙、镁含量及对烤烟品质的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4425–4433
- [18] 黄俊杰. 大理州植烟土壤养分时空变化特征及烤烟施肥优化[D]. 昆明: 云南农业大学, 2016: 19–20
- [19] 范艺宽, 张翔, 李富欣, 等. 河南省烟区土壤磷素资源状况与动态变化研究[J]. 中国烟草科学, 2003(3): 14–15
- [20] 黎妍妍. 湖南烟区烤烟质量和生态因素综合评价[D]. 郑州: 河南农业大学, 2007: 23–24
- [21] 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
- [22] 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
- [23] 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
- [24] Curry K J, Bennett R H, Mayer L M, et al. Direct visualization of clay microfabric signatures driving organic matter preservation in fine-grained sediment[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2007, 71: 1709–1720
- [25] 石中山, 王春苗, 特拉津·那斯尔, 等. 重庆地区酸性紫色土锌有效性及其影响因素研究[J]. 土壤, 2010, 42(4): 600–605
- [26] 张拯研. 磷锌互作对烟株磷锌吸收和抗花叶病毒影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008: 45–46
- [27] 许自成, 王林, 肖汉乾. 湖南烟区烤烟磷含量与土壤磷素的分布特点及关系分析[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2007, 33(3): 290–292
- [28] 郭燕. 恩施烟区土壤-烤烟营养元素的分布特点及其关系分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009: 60–61
- [29] 罗厚庭, 董元彦, 李学垣. 可变电荷土壤吸附磷酸根后对 Cu、Zn、Cd 次级吸附的影响[J]. 华中农业大学学报, 1992, 11(4): 358–360
- [30] 刘鸣达, 王耀晶, 李艳利, 等. 不同磷浓度对土壤吸附锌特性的影响[J]. 土壤肥料, 2005(6): 10–13
- [31] 刘芳, 刘忠珍, 刘世亮, 等. 潮土中磷锌交互作用机制探讨及磷对锌吸附-解吸的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1770–1776
- [32] 涂从, 郑春荣. 土壤-植物系统中重金属与养分元素交互作用[J]. 中国环境科学, 1997, 17(6): 526–529
- [33] Lieu N B. The effects of applications of phosphorus and zinc on growth and nutrition uptake by rice[J]. *Dissertation Abstract International*, 1972, 32: 5579–5592
- [34] 杨志敏, 郑绍建, 胡霭堂. 植物体内磷与重金属元素锌、镉交互作用的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(4): 366–376
- [35] 雷广海. 烟叶矿质营养相互关系研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009: 56–58
- [36] 吴正举, 刘淑欣, 熊德忠, 等. 福建烟区土壤特性及其与烟叶品质的关系[J]. 中国烟草学报, 1996, 3(1): 49–53
- [37] 陆景冈. 土壤地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1997: 97–105

## Effects of Interaction Between Soil Rapidly Available Phosphorus and Available Zinc on P and Zn Contents and Quality of Tobacco Leaves in Mid-altitude Area of Red Earth in Qujing

FANG Xiu<sup>1</sup>, WANG Lin<sup>1</sup>, LU Xiuping<sup>2</sup>, XU Zicheng<sup>1\*</sup>, XIE Yan<sup>3</sup>, ZHANG Sen<sup>1</sup>,  
MU Tong<sup>1</sup>, MENG Yizhuo<sup>1</sup>

(1 *College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;*

2 *Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Sciences, Yuxi, Yunnan 653100, China;*

3 *Qujing Tobacco Company of Yunnan Province, Qujing, Yunnan 655000, China)*

**Abstract:** By using the methods of field survey and sampling as well as laboratory analysis method, this paper analyzed the contents of soil rapidly available phosphorus (RAP) and available zinc (AZ) in the red soils of the mid-altitude area in Qujing City of Yunnan Province and their interaction on phosphorous (P) and zinc (Zn) contents as well as the quality of tobacco leaves. The results showed that: 1) RAP content was generally at the low level, ranged from 0.96 mg/kg to 101.28 mg/kg, with an average of 31.34 mg/kg, RAP contents of 35.80% of the soil samples were in the range (20 – 40 mg/kg) suitable for tobacco growth; AZ content was abundant, ranged from 0.20 mg/kg to 23.68 mg/kg, with the mean of 3.01 mg/kg, AZ contents of 74.69% of the soil samples were in the range (1 – 4 mg/kg) suitable for tobacco growth; 2) P content in tobacco leaves was in the middle and low levels, with the mean of 1.9 g/kg, P contents of 95.22% of tobacco samples were in the general range (1.5 – 6.0 g/kg) in China; Zn content in tobacco leaves was high, with the mean of 46.12 mg/kg, Zn contents of 94.24% of tobacco samples were in the general range (20 – 80 mg/kg) in China; 3) P content in tobacco leaves changed irregularly with the changes of soil RAP and AZ contents; Zn content of tobacco leaves increased with the increase of soil AZ content but decreased with the increase of soil RAP content; 4) The interaction between soil RAP and AZ had no significant effect on P content in tobacco leaves but a significant effect on Zn content in tobacco leaves, and the high existence of RAP could inhibit tobacco absorbed soil AZ; 5) Soil RAP had little effect on the quality of tobacco leaves, while there was a significant correlation between soil AZ and the chemical components as well as aroma substances of tobacco leaves. Generally, tobacco leaf has a high quality when soil AZ content is ranged in the middle-low level and soil RAP content is ranged in the middle-suitable level.

**Key words:** Phosphorus; Zinc; Interaction; Red earth; Flue-cured tobacco; Mid-altitude area; Qujing