

# 不同海拔高度植烟土壤有效钙镁的分布状况<sup>①</sup>

## ——以云南曲靖烟区为例

李卫<sup>1,2</sup>, 解燕<sup>1,3</sup>, 周冀衡<sup>1,2\*</sup>, 张一扬<sup>1,2</sup>, 杨荣生<sup>3</sup>, 杨述元<sup>4</sup>, 汤浪涛<sup>1,2</sup>, 杨虹琦<sup>1</sup>

(1 湖南农业大学烟草科学与健康重点实验室, 长沙 410128; 2 云南瑞升烟草技术(集团)有限公司, 昆明 650106;

3 云南省曲靖市烟草公司, 云南曲靖 655000; 4 福建中烟工业公司, 福州 350003)

**摘要:** 为探明不同海拔高度植烟土壤有效Ca、Mg的差异和分布状况, 采集了2552个曲靖烟区1300~2300 m海拔高度土壤样品, 利用数理统计和地统计学方法对其有效Ca、Mg进行了研究。结果表明: 曲靖烟区土壤有效Ca、Mg含量平均为2640.86 mg/kg、314.26 mg/kg。中海拔地区土壤有效Ca含量最高, 低与较低海拔地区土壤有效Ca含量适宜, 高与较高海拔地区土壤有效Ca含量处于低水平范围内。随着海拔高度的增加, 土壤有效Mg含量递减。低与较低海拔地区土壤有效Mg含量过高, 其他地区适宜。土壤有效Ca、Mg含量与海拔高度呈极显著负相关。较低和低海拔地区土壤Ca/Mg比值显著低于其他地区, 中海拔地区Ca/Mg比值最大。土壤有效Ca与有效P呈极显著正相关, 与其他土壤养分指标呈极显著正相关, 有效Mg与碱解N、有效P呈显著负相关, 与其他土壤养分呈极显著正相关。曲靖烟区土壤有效Ca含量从东往西逐渐下降, 有效Mg则是南北高, 中间低, Ca/Mg比值在东部地区较大, 而南北部地区和西部地区较小。

**关键词:** 海拔; 植烟土壤; 有效钙; 有效镁; 地统计学; 曲靖烟区

**中图分类号:** S158.3

太阳辐射量、有效积温、昼夜温差、空气湿度和降雨量等均随海拔高度的变化而变化<sup>[1-3]</sup>。随海拔高度的增加, 土壤中N等土壤养分<sup>[4]</sup>、Fe等微量元素<sup>[5]</sup>也增加。Ca、Mg是影响烤烟产质量的重要元素, 过高的Ca含量既影响烟叶质量, 又易对其他阳离子的吸收产生拮抗作用, Ca是烤烟吸收数量仅次于K的矿质元素, 含Ca量高的烟叶表现过厚、粗糙、僵硬, 使用价值低<sup>[6]</sup>。烤烟缺Mg会导致分解加速, 降低植株的同化能力<sup>[7-8]</sup>, 适量的Mg可促进烤烟的生长发育, 有利于烟叶内在品质的提高<sup>[9]</sup>。许自成等<sup>[10]</sup>研究表明, 黄壤和黄棕壤的Ca、Mg含量较适宜植烟, 红壤和水稻土Ca/Mg比值较高。曲靖烟区属于立体性地形地貌, 1300~2300 m海拔范围内均有烤烟种植。有关有效Ca、Mg在不同海拔高度土壤中的分布尚未见报道, 本文以云南曲靖烟区土壤为研究对象, 对不同海拔高度土壤有效Ca和有效Mg的差异进行分析, 并利用地统计学分析其空间分布特征, 旨在了解不同海拔高度植烟土壤有效Ca和有效Mg的差异和空间分布规律, 为曲靖

烟区合理分区配方施肥, 促进烟草生产, 提高烟草生产的效益提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 研究区域概况

曲靖市是云南连接内地的重要陆路通道, 地处云贵高原中部, 地跨东经102°42'~104°50', 北纬24°19'~27°03'之间, 面积28904 km<sup>2</sup>, 下辖1区1市7县, 人口587.5万。曲靖烟区以亚热带高原季风气候为主, 年均降雨量在800~1700 mm, 年日照时数1584~2195 h, 年平均气温14.5℃, 无霜期达204~282天, 多由丘陵、山地和坝子组成, 烤烟大多种植在海拔1300~2300 m范围内的红壤和紫色土地带, 以旱地为主。曲靖烤烟年产量达1.67 × 10<sup>5</sup> t, 是云南省最大的烤烟产区之一。

#### 1.2 样品采集

2007年、2008年根据各地烤烟种植分布区域的生态特点、种植规模以及品种类型在曲靖市主产烟区应

①基金项目: 烟草工商研共建原料与品牌协同发展机制(ESTB)项目与天香工程项目资助。

\* 通讯作者(jhzhou2005@163.com)

作者简介: 李卫(1985—), 男, 湖南双峰人, 研究方向为烟草栽培与生理。E-mail: hunau\_liwei@163.com

用GPS定位技术按比例分配样点数目原则进行采样点设置，共采集土壤样品 2 552 份（图 1）。土壤样品在烟草尚未施用底肥和移栽以前采集，同时避开雨季，具体采样方法为：长方形土块采取之字形，较为方正的地块采用对角线或棋盘形采样，取耕层土壤 20 cm 深度的土样，在同一采样单元内每 8 ~ 10 个点的土样构成一个 0.5kg 左右的混合土样。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、装瓶后备测定分析之用。

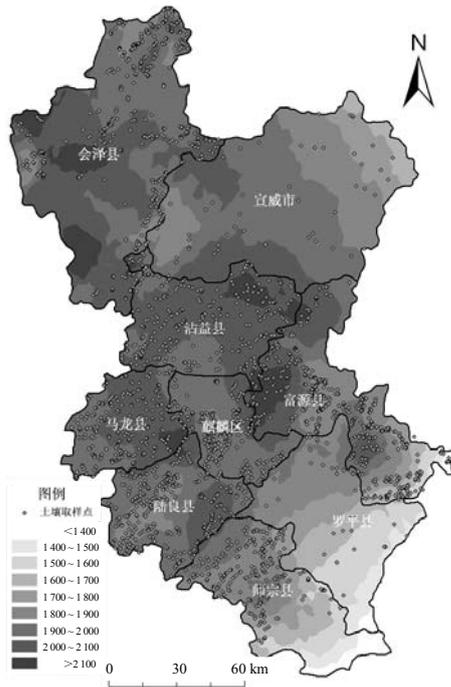


图 1 土壤取样分布图

Fig. 1 Distribution of soil samples

### 1.3 土壤有效钙镁的测定

测定方法见文献[11]。

### 1.4 数据处理

将海拔高度按每 200 m 一个梯度分为较低、低、中、高、较高 5 个等级，统计分析在SPSS15.0 软件平台下进行。所用地图均先进行ArcInfo 投影转换，生成以米（m）为单位的平面坐标，然后生成用于地统计学分析的样点分布图。曲靖市行政区域图采用 1：50 万电子地图，取样点经纬度经调试校对后转换成 ArcView 能够接受的shp数据格式。半方差模型拟合与空间分布（普通Kriging插值）图绘制均在ArcGIS9.2 软件地统计学模块中完成<sup>[12]</sup>。在空间分布图中，根据各元素的分位点将含量分为 5 个等级。

## 2 结果分析

### 2.1 不同海拔高度土壤有效钙镁的差异

不同海拔高度土壤有效Ca和有效Mg的含量如表 1 所示，曲靖植烟土壤有效Ca含量平均为 2 640.86 mg/kg，低于湖南烟区（3 548.00 mg/kg）<sup>[10]</sup>，高于贵州烟区（2 052.00 mg/kg）<sup>[13]</sup>，处于种植优质烟叶的适宜范围内（2 400 ~ 4 000 mg/kg）<sup>[14]</sup>。从不同海拔高度土壤来看，中海拔地区（1 700 ~ 1 900 m）土壤有效Ca含量最高，平均值达 3 107.18 mg/kg，与其他地区的差异达到显著水平；低海拔地区（1 500 ~ 1 700 m）与较低海拔地区（<1 500 m）土壤有效Ca含量适宜，两者差异不显著；高海拔地区（1 900 ~ 2 100 m）与较高海拔地区（>2 100 m）土壤有效Ca含量处于低水平范围内<sup>[14]</sup>，两者差异不显著，其中较高海拔地区最低（平均为 2 290.94 mg/kg）。

表 1 不同海拔高度土壤有效 Ca、Mg 的含量

Table 1 Soil available Ca and Mg contents at different altitudes

海拔 (m)	样本数	有效 Ca (mg/kg)		有效 Mg (mg/kg)		Ca/Mg 比值	
		平均值	变异系数 (%)	平均值	变异系数 (%)	平均值	变异系数 (%)
<1 500	31	3 047.70 ab	37.64	439.28 a	49.83	8.79 ab	77.32
1 500 ~ 1 700	136	2 810.86 b	46.63	431.06 a	53.89	8.31 b	75.38
1 700 ~ 1 900	827	3 107.18 a	55.16	349.28 b	57.39	11.53 a	93.35
1 900 ~ 2 100	1 235	2 391.17 c	65.54	283.67 c	73.90	10.93 a	89.48
>2 100	323	2 290.94 c	48.44	280.38 c	64.04	10.40 a	65.12
合计	2 552	2 640.86	60.37	314.26	66.70	10.89	88.43

注：同一列不同字母表示平均值在 p<0.05 水平下差异显著。

曲靖烟区土壤有效Mg含量平均为 314.26 mg/kg，在生产优质烟叶的适宜范围内（240 ~ 360 mg/kg）<sup>[14]</sup>，高于湖南烟区（278.40 mg/kg）<sup>[10]</sup>和高于贵州烟区

（247.20 mg/kg）<sup>[13]</sup>。不同海拔高度土壤有效Mg含量差异较大，随着海拔高度的增加，土壤有效Mg含量递减。低海拔地区与较低海拔地区土壤有效Mg含量过高

且两者差异不显著；中海拔地区土壤有效Mg含量适宜，显著低于较低和低海拔地区，显著高于较高和高海拔地区；高海拔地区与较高海拔地区土壤有效Mg含量适宜，两者差异不显著。

土壤Ca/Mg比值的大小反映了Ca和Mg的生物有效性以及土壤生态过程的变化<sup>[15]</sup>。曲靖烟区土壤Ca/Mg比值平均为 10.89，变异较大（88.43%），高于湖南烟区（9.35）<sup>[10]</sup>。不同海拔高度土壤相比，较低

和低海拔地区土壤Ca/Mg比值显著低于其他地区，中海拔地区Ca/Mg比值最大，平均达 11.53。

对土壤有效 Ca、Mg 与对应海拔高度进行的相关分析（表 2）表明，曲靖土壤有效 Ca、Mg 与海拔高度均呈极显著负相关。不同海拔梯度中，除较高和较低海拔地区外，有效 Ca、Mg 均与海拔高度成负相关，其中中海拔地区和高海拔地区达到极显著水平。

表 2 土壤有效 Ca、Mg 含量与海拔的相关系数

Table 2 Correlation matrix between soil available Ca and Mg contents and altitude

	<1 500 m	1 500~1 700 m	1 700~1 900 m	1 900~2 100 m	>2 100 m	合计
有效 Ca (mg/kg)	-0.24	-0.07	-0.16**	-0.13**	0.10	-0.20**
有效 Mg (mg/kg)	0.08	-0.01	-0.16**	-0.10**	0.11	-0.21**

注：\*\*，\* 分别代表  $p < 0.01$ ， $p < 0.05$  水平下显著，下同。

## 2.2 不同海拔高度土壤有效钙镁含量与其他土壤养分的关系

曲靖烟区土壤偏酸性（表 3），pH 平均值为 6.16，随着海拔高度的增加 pH 值呈下降趋势；各海拔梯度土壤有机质含量丰富，平均为 35.42 g/kg；全 N、全 P 的平均含量分别为 1.68 g/kg，1.16 g/kg；除低海拔地区外，全 K 含量随海拔的升高而降低，平均为 12.77 g/kg；碱解 N 在中海拔地区含量相对较低，平均含量较高

（120.24 g/kg）；有效 P 与有效 K 含量分布无明显趋势，平均含量分别为 27.72 mg/kg、187.40 mg/kg。不同海拔高度土壤有效 Ca、Mg 含量与土壤 pH 以及其他养分含量的相关性差异较大（表 4、表 5）。总体来看，曲靖烟区土壤有效 Ca 与有效 P 呈极显著负相关，与其他土壤养分指标呈极显著正相关（与碱解 N 含量相关性不显著）；有效 Mg 与碱解 N、有效 P 呈显著负相关，与其他土壤养分呈极显著正相关。各海拔地区土壤有

表 3 不同海拔高度土壤养分的含量

Table 3 Contents of soil nutrients at different altitudes

海拔 (m)	pH	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	有效 P (mg/kg)	有效 K (mg/kg)
<1 500	6.75 ± 0.48	39.65 ± 16.38	2.04 ± 0.62	1.58 ± 1.06	9.66 ± 4.63	125.41 ± 42.84	20.05 ± 16.43	231.26 ± 116.68
1 500~1 700	6.59 ± 0.76	31.90 ± 14.35	1.69 ± 0.66	1.16 ± 0.73	15.88 ± 6.71	115.54 ± 52.64	19.67 ± 18.77	198.02 ± 108.33
1 700~1 900	6.49 ± 0.75	36.68 ± 22.22	1.71 ± 0.69	1.14 ± 0.60	12.99 ± 6.85	114.56 ± 42.23	28.83 ± 20.98	205.78 ± 143.16
1 900~2 100	5.97 ± 0.84	33.83 ± 12.63	1.61 ± 0.52	1.11 ± 1.01	12.88 ± 7.54	118.92 ± 37.44	27.97 ± 18.91	174.89 ± 87.81
>2 100	5.84 ± 0.72	39.34 ± 13.27	1.85 ± 0.57	1.39 ± 1.94	10.76 ± 6.72	141.32 ± 40.77	28.07 ± 20.81	179.45 ± 106.43
合计	6.16 ± 0.84	35.42 ± 16.67	1.68 ± 0.60	1.16 ± 1.06	12.77 ± 7.23	120.24 ± 41.26	27.72 ± 19.92	187.40 ± 113.13

表 4 不同海拔高度土壤有效 Ca 与其他土壤养分的相关分析

Table 4 Correlation analysis between soil available Ca and other soil nutrient contents at different altitudes

海拔(m)	pH	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	有效 P (mg/kg)	有效 K (mg/kg)
<1 500	0.65**	0.50**	0.54**	0.10	-0.03	0.42*	0.59**	0.15
1 500~1 700	0.60**	0.18*	0.16	0.24**	0.06	0.01	0.14	0.18*
1 700~1 900	0.68**	0.26**	0.34**	0.15**	0.16**	0.17**	-0.14**	0.19**
1 900~2 100	0.72**	0.08**	0.13**	0.14**	0.06*	-0.06*	-0.15**	0.37**
>2 100	0.61**	0.26**	0.28**	0.10	-0.01	0.20**	-0.04	0.23**
合计	0.70**	0.18**	0.23**	0.11**	0.10**	0.03	-0.12**	0.28**

表5 不同海拔高度土壤有效 Mg 与其他土壤养分的相关分析

Table 5 Correlation analysis between soil available Mg and other soil nutrient contents at different altitudes

海拔 (m)	pH	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	全 P (g/kg)	全 K (g/kg)	碱解 N (mg/kg)	有效 P (mg/kg)	有效 K (mg/kg)
<1 500	0.43*	0.49**	0.56**	0.38*	-0.26	0.59**	0.26	0.44*
1 500~1 700	0.37**	0.02	-0.02	0.29**	0.03	-0.09	0.14	0.16
1 700~1 900	0.267**	0.14**	0.15**	0.21**	0.30**	0.05	-0.06	0.20**
1 900~2 100	0.32**	-0.04	-0.02	0.12**	0.14**	-0.09**	-0.05	0.29**
>2 100	0.367**	-0.06	-0.01	0.16**	0.28**	-0.04	0.09	0.27**
合计	0.356**	0.05**	0.07**	0.14**	0.20**	-0.04*	-0.04*	0.26**

效 Ca 与 pH、有机质、全 N、全 P 和有效 K 呈正相关 (pH、有机质均达到极显著水平), 高海拔地区土壤有效 Ca 与有效 P 呈负相关, 有效 Mg 与 pH、全 P、有效 K 呈显著正相关, 高海拔地区有效 Mg 与有机质、全 N、碱解 N 呈负相关。这可能是由于不同海拔高度土壤的类型以及其成土母质存在差异, 由此形成了各海拔高度土壤不同的理化性质, 对其有效 Ca、Mg 产生了影响。

### 2.3 土壤有效钙镁的空间分布特征

地统计学是以变差函数 (用以描述研究对象空间相关性) 为基本工具, 以区域化变量理论为基础, 研

究那些在空间分布上既具有随机性又具有结构性的自然现象的科学, 而传统统计学理论是将研究变量假设为纯随机变量, 然而许多研究对象的性质在空间上并不完全独立, 在一定范围内存在空间相关性<sup>[16]</sup>。在考虑各向异性情况下, 分别对不同模型 (Exponential、Gauss 和 Spherical) 和趋势效应阶数 (None、First、Second、Third) 进行选择, 结合普通 Kriging 插值方法对所造成的插值误差进行了比较 (判断半方差函数模型及其参数是否合适按文献[17-19]标准进行), 得出了曲靖烟区土壤有效 Ca、Mg 含量空间插值图的最优模型、趋势效应阶数 (表 6)。

表6 土壤有效 Ca、Mg 含量的 Kriging 插值分析参数与模型

Table 6 Analytical parameters and models of soil available Ca and Mg contents

项目	偏度	峰度	模型类型	趋势效应	预测误差				
					Mean	RMS	ASE	MS	RMSS
有效 Ca	0.16	0.63	Gaussian	Second	1.17	1.24	1.49	-0.01	0.98
有效 Mg	0.17	0.80	Exponential	First	0.37	1.61	1.87	0.02	0.84
Ca/Mg 比值	0.23	0.41	Spherical	None	-0.13	8.21	7.91	-0.01	0.99

从表 6 可知, 土壤有效 Ca、Mg 含量和 Ca/Mg 比值数据经对数转换后均服从正态分布 (偏度与峰度值), 满足地统计学分析的要求。有效 Ca 适合 Gauss 模型, 有效 Mg 适合 Exponential 模型, Ca/Mg 比值适合 Spherical 模型, 预测误差较为理想。结合普通 Kriging 插值并考虑各向异性和趋势参数, 根据合适的模型类型, 获得了曲靖烟区土壤有效 Ca、Mg 含量和 Ca/Mg 比值的空间分布图, 如图 2 所示。

从图 2 可知, 曲靖烟区土壤有效 Ca 含量大部分地区含量适宜, 其中宣威、师宗、罗平部分地区含量较高, 马龙、陆良部分地区有效 Ca 含量过低; 有效 Mg 含量的空间分布则是南北高, 中间低, 其中罗平、师宗、会泽等地有效 Mg 含量过高, 马龙、陆良、宣威部分地区有效 Mg 含量较低; 曲靖植烟土壤 Ca/Mg 比值在会泽全境、罗平和师宗南部较小, 宣威大部较大,

其他地区适宜。

### 3 讨论与结论

曲靖属于高原山地与盆地相间的地貌, 海拔梯度较大, 地形地貌复杂多样, 由于地势高低和微地形影响, 气候类型多样, 而土壤养分有效态元素易受雨水冲洗, 地势较高的地方含量降低, 低洼处易沉积, 含量增加。对曲靖地区不同海拔高度植烟土壤有效 Ca、Mg 的研究表明:

(1) 中海拔地区土壤有效 Ca 含量最高, 与其他地区的差异达到显著水平; 低海拔地区与较低海拔地区土壤有效 Ca 含量适宜, 高海拔地区与较高海拔地区土壤有效 Ca 含量处于低水平范围内, 较高海拔地区含量最低。随着海拔高度的增加, 土壤有效 Mg 含量递减。低海拔地区与较低海拔地区土壤有效 Mg 含量过高;

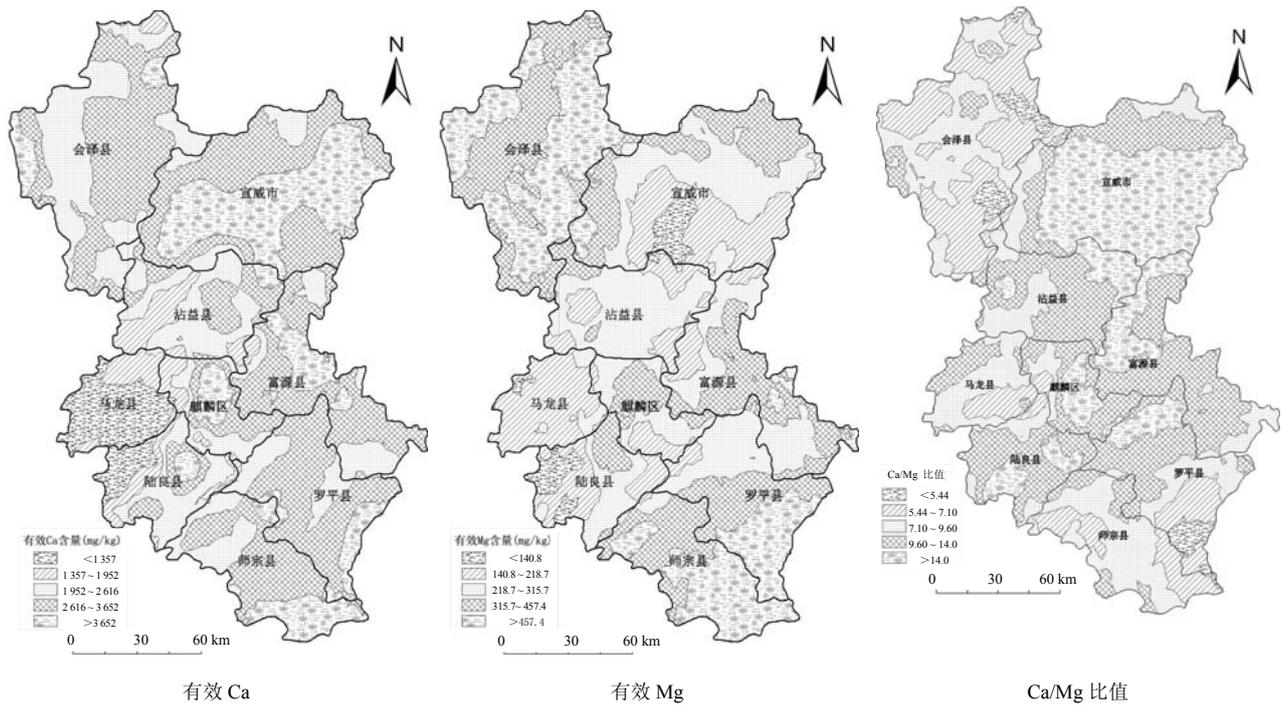


图 2 有效 Ca、Mg 和 Ca/Mg 比值的空间分布

Fig. 2 Distributions of available Ca, Mg contents and ratio of Ca/Mg

中海拔地区土壤有效 Mg 含量适宜, 显著低于较低和低海拔地区, 显著高于较高和高海拔地区。较低和低海拔地区土壤 Ca/Mg 比值显著低于其他地区, 中海拔地区 Ca/Mg 比值最大。土壤有效 Ca、Mg 与海拔高度呈极显著负相关。不同海拔梯度中, 除较高和较低海拔地区外, 有效 Ca、Mg 与海拔高度呈负相关。影响土壤有效 Ca、Mg 含量的因素较多, 不同母质发育的土壤以及同一母质在不同分化阶段养分含量分布差异较大。曲靖地区海拔梯度大, 土壤类别较多, 不同海拔地区气象条件和地势地貌不同, 加上较强的太阳辐射, 这些都严重影响了土壤在发育过程中有效态 Ca、Mg 的形成。

(2) 土壤有效Ca与有效P呈极显著负相关, 与其他土壤养分指标呈极显著正相关 (与碱解氮相关性不显著); 有效Mg与碱解N、有效P呈显著负相关, 与其他土壤养分呈极显著正相关。曲靖烟区土壤pH值大部分偏酸性, 平均为 6.16, 而土壤元素溶解随pH 变化影响较大, 使得部分有效Ca、Mg含量较高。土壤养分元素能被有机质分解释放和吸附固定, 曲靖土壤有机质平均含量 35.44 mg/kg, 可能吸附固定部分Ca、Mg使其有效性降低。在施肥平衡土壤Ca、Mg关系时, 应当适当考虑其他肥料对Ca、Mg的负面效应<sup>[20]</sup>。

(3) 土壤有效Ca含量从东往西逐渐下降, 马龙、陆良部分地区有效Ca含量过低; 有效Mg则是南北高, 中间低, 罗平、师宗、会泽等有效Mg含量过高, 马龙、陆良、宣威部分地区有效Mg含量较低; Ca/Mg比值在东部地区较大, 而南北部地区和西部地区较小。Ca、Mg是土壤中主要的盐基离子, 尽管其在土壤中的含量主要受成土母质及土壤形成过程中Ca和Mg优先吸附作用的影响<sup>[21]</sup>, 但施肥和灌溉等农田管理措施对Ca、Mg的组成也会产生较大影响<sup>[22-23]</sup>。曲靖烟区土壤有效Ca、Mg失调, 应加强研究土壤Ca、Mg的控制因素, 可通过有效施肥来调节其他元素含量, 使土壤中Ca、Mg达到适宜状态, 从而更有利于优质烟叶的生产。

#### 参考文献:

- [1] 穆彪, 杨健松, 李明海. 黔北大娄山区海拔高度与烤烟烟叶香味味的关系研究. 中国生态农业学报, 2003, 11(4): 148-151
- [2] 简永兴, 杨磊, 谢龙杰. 湘西北海拔高度对烤烟常规化学成份含量的影响. 生命科学研究, 2005, 9(1): 63-67
- [3] 王世英, 卢红, 杨骥. 不同种植海拔高度对曲靖地区烤烟主要化学成分的影响. 西南农业学报, 2007, 20(1): 45-48
- [4] 庄舜尧, 刘国群, 徐梦洁, 王明光. 不同海拔高度下森林土壤中氮的矿化. 土壤学报, 2008, 45(6): 1194-1198
- [5] 柏松, 黄成敏, 唐亚. 岷江上游干旱河谷海拔梯度上的土壤发

- 生特征. 土壤, 2008, 40(6): 980-985
- [6] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学. 上海: 上海远东出版社, 1993
- [7] 邵岩. 镁在烟草生产中的作用. 云南农业大学学报, 1992, 7(2): 105-108
- [8] 汪洪, 褚天铎. 植物镁素的研究进展. 植物学通报, 1999, 16(3): 245-250
- [9] 李永忠, 蒋志宏, 杨志新. 供 Mg 水平对烤烟主要经济性性状的影响. 西南农业大学学报, 2002, 24(3): 200-203
- [10] 许自成, 黎妍妍, 肖汉乾, 李挥文, 刘春奎. 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, 2007, 27(11): 4 425-4 433
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 152-177
- [12] Kevin J, Jay M, Ver H, Konstantin K, and Neil L. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI, 2001
- [13] 秦松, 闫献芳, 冯永刚, 戚源明. 贵州植烟土壤交换性钙镁特征研究. 土壤通报, 2005, 36(1): 143-144
- [14] 罗建新, 石丽红, 龙世平. 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), 2005, 31(4): 376-380
- [15] 姜勇, 张玉革, 梁文举. 沈阳市郊区蔬菜保护地土壤交换性钙镁含量及钙镁比值的变化. 农村生态环境, 2004, 20(3): 24-27
- [16] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. *Advance in Soil Science*, 1985, 3: 1-70
- [17] Richard ER, David JM. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 1992, 62(2): 277-314
- [18] Michael EH, Andrew ML. Gestatistical model for forecasting spatial dynamics of defoliation caused by the Gypsy Moth. *Environmental Entomology*, 1993, 2(5): 1 066-1 075
- [19] 祝锦霞, 许红卫, 王珂, 陈祝炉. 基于 GIS 和地统计学的低丘红壤地区三种土壤性质空间变异性研究. 土壤, 2008, 40(6): 960-965
- [20] 李文卿, 陈顺辉, 谢昌发, 黄一兰, 梁颂捷, 林祖斌, 林毅. 烟田土壤养分迁移规律研究 II. 中微量元素的迁移规律. 中国烟草学报, 2004, 10(1): 17-21
- [21] 姜勇, 张玉革, 梁文举, 乔德波. 耕地土壤交换性钙镁比值的研究. 土壤通报, 2003, 34(5): 414-417
- [22] 姜勇, 张玉革, 梁文举. 沈阳市郊区蔬菜保护地土壤交换性钙镁含量及钙镁比值的变化. 农村生态环境, 2004, 20(3): 24-27
- [23] 林葆, 周卫, 李书田, 荣向农, 林继雄, 谢志霄, 赵彦卿, 艾卫, 温庆活. 长期施肥对潮土硫、钙和镁组分与平衡的影响. 土壤通报, 2001, 32(3): 126-128

## Distributions of Available Ca and Mg Contents in Tobacco Soil at Different Altitudes

——A Case Study of Tobacco-growing Area of Qujing in Yunnan

LI Wei<sup>1,2</sup>, XIE Yan<sup>1,3</sup>, ZHOU Ji-heng<sup>1,2</sup>, ZHANG Yi-yang<sup>1,2</sup>, YANG Rong-sheng<sup>3</sup>

YANG Shu-yuan<sup>4</sup>, TANG Lang-tao<sup>1,2</sup>, YANG Hong-qi<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Tobacco Science and Health, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2 Yunnan Reascend Tobacco Technology (Group) Co., Ltd., Kunming 650106, China;

3 Yunnan Qujing Tobacco Corporation, Qujing, Yunnan 655000, China; 4 Fujian Tobacco Industrial Corporation, Fuzhou 350003, China)

**Abstract:** In order to clarify the changes and distributions of available Ca and Mg contents in tobacco soil at different altitudes, in total 2 552 soil samples between 1300 m and 2300 m altitude in tobacco-growing region of Qujing were collected and analyzed by statistical analysis and geostatistics. The results showed that the mean contents of soil available Ca and Mg in tobacco-growing soil Qujing were 2 640.86 mg/kg and 314.26 mg/kg, respectively. The content of soil available Ca was highest in the middle altitude region, suitable at the low and lower altitude regions, but lower at the high and higher altitude areas. The content of soil available Mg declined with the increase of altitude. The content of soil available Mg was higher in the low and lower altitude regions but suitable in other regions. The contents of soil available Ca and Mg were correlated negatively with altitude. The ratio of Ca/Mg in the middle altitude region was highest, but significantly lower in the low and lower altitude regions than other regions. The available Ca was correlated negatively with available P, positively with other soil nutrients. The available Mg was correlated negatively with alkali-hydro nitrogen and available P, positively with other soil nutrients. The content of soil available Ca gradually declined from east to west in Qujing. Available Mg was higher in south and north regions but lower in middle region, the ratio of Ca/Mg was higher in east region but lower in south, north and west regions.

**Key words:** Altitude, Tobacco soil, Available Ca, Available Mg, Geostatistics, Tobacco-growing area of Qujing