

文章编号:1000-8551(2011)03-0540-08

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

李强^{1,3} 周冀衡¹ 李迪秦³ 杨荣生² 张拯研²
张一扬¹ 周子方¹ 解燕^{1,2}

(1. 湖南农业大学烟草科学与健康重点实验室, 湖南长沙 410128;

2. 云南省曲靖市烟草公司, 云南曲靖 655000; 3. 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128)

摘要:为研究曲靖烟区土壤有效中量元素的空间分布特征及其影响因素, 本文采用 GPS 技术在曲靖烟区采集 2088 个土壤样品, 利用原子吸收分光光度法测定样品有效钙、有效镁和有效硫含量, 利用地统计学和经典统计学分析了 3 种有效中量元素的空间变异特征及其影响因素, 以为曲靖烟区土壤中量元素科学有效地分区管理及烤烟合理施肥提供依据。结果表明, 曲靖烟区土壤有效钙和镁含量属于中等强度变异, 平均含量分别为 2579.2 和 323.0mg/kg; 有效硫含量属于高强度变异, 平均含量为 37.6mg/kg, 属适宜水平; 土壤有效钙、镁、硫含量具有中等程度的空间自相关性, 其空间变异受结构性和随机性因子的共同影响, 研究区内分别有 96.5% 的区域土壤有效钙和 96.0% 的区域土壤镁含量属十分丰富水平 (1200mg/kg 以上和 150mg/kg 以上), 分别有 0.70% 和 9.80% 的区域土壤有效硫含量低于下临界值 (16mg/kg) 和高于上临界值 (50mg/kg); 海拔高度、地形条件、土壤类型、土壤 pH、有机物料投入量和前茬作物均是影响烟区土壤 3 种有效中量元素含量的重要因素。不同区域应针对其中量元素现状, 对土壤的中量元素进行科学的分区管理。

关键词:烟区; 土壤中量元素; 地统计学; 空间变异; 影响因子

SPATIAL VARIABILITY AND INFLUENCING FACTORS OF SOIL AVAILABLE SECONDARY ELEMENTS IN QUJING TOBACCO AREA, CHINA

LI Qiang^{1,3} ZHOU Ji-heng¹ LI Di-qin³ YANG Rong-sheng²
ZHANG Zheng-yan² ZHANG Yi-yang¹ ZHOU Zi-fang¹ XIE Yan^{1,2}

(1. Key Lab of Tobacco Science & Health, Hunan Agriculture University, Changsha, Hunan 410128;

2. Yunnan Provincial Tobacco Company Qujing branch, Qujing, Yunnan 655000;

3. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha Hunan 410128)

Abstract: To investigate the spatial distribution of soil available secondary elements Ca, Mg and S and its influencing factors, and provide a theory basis for management of secondary elements and fertilizing reasonably on tobacco, total 2088 soil samples were collected based on GPS technique. Available Ca, Mg and S were analyzed by Atomic Absorption Spectrometry. In addition, spatial variability and influencing factors of 3 secondary elements were studied. The concentrations of soil available Ca and Mg in Qujing tobacco area were moderate variability with the averages of 2579.2

收稿日期:2010-11-14 接受日期:2011-01-05

基金项目:国家烟草专卖局项目(09YN025), 湖南省研究生创新项目(CX2010B309), 烟草工商研共建原料与品牌协同发展机制(ESTB)项目(福建中烟工业公司)(110200801036)。

作者简介:李强(1982-), 男, 江苏仪征人, 在读博士研究生, 研究方向为烟草科学与工程技术。Tel:0731-84635457; E-mail:zqiangli@126.com

通讯作者:周冀衡(1957-), 男, 江苏泗洪人, 博导, 教授, 研究方向为烟草科学与工程技术。Tel:0731-84635457; E-mail:jhzhou2005@163.com

and 323.0mg/kg, respectively. The concentrations of soil available S represented strong variability with the average of 37.6mg/kg. Soil available Ca, Mg and S were moderate spatial autocorrelations, and their spatial variability was caused by structural factors and random factors. Soil available Ca, Mg were high in most areas (96.5% and 96.0%) and soil available S was low (<16mg/kg) or too high (>50mg/kg) in some areas (0.70% and 9.80%) in Qujing tobacco area. Altitude, terrain conditions, soil types, soil pH, organic fertilizer application rate and preceding crops were influencing factors of 3 secondary elements. Scientific management should be adopted to manage secondary elements in soil according to the status of secondary elements in different areas.

Key words: tobacco area; soil available secondary element; geo-statistics; spatial variability; influencing factor

土壤是作物中量元素的主要来源,土壤中量元素参与作物多个生理代谢过程和多种化合物的合成,其供应状况直接影响作物的生长发育、产量和品质^[1-4]。对烤烟而言,钙、镁、硫既是重要的营养元素,也是品质元素。含钙量过高的烟叶过厚、粗糙、僵硬,使用价值低^[5];烟叶含有适量的镁有利于烟叶燃烧,可以使燃烧后的烟灰不易散落^[6];当土壤有效硫含量过高时,烤烟的产量下降,烤烟的燃烧性、香气质、香气量和吃味均受到不同程度的影响^[7,8]。因此,研究烟区中量元素的空间分布及其影响因子对烟区土壤中量元素的合理管理,以及含钙、含镁和含硫肥料在烤烟上的科学施用具有重要指导意义。

地统计学已被证明是分析土壤性质空间分布特征及其变异规律最有效的方法之一^[9]。国内外已有采用地统计法对土壤水分^[10]、养分^[11-13]和重金属^[14,15]空间变异特征的研究,研究结果表明:土壤有效微量元素的空间分布主要受土壤类型、有机质含量和土地利用方式的影响^[13]。土壤重金属含量的空间分布受地形条件、成土母质、有机肥用量及县域的社会经济条件等多种因素的影响^[15]。目前关于植烟土壤中有效中量元素空间变异及其影响因素的研究鲜见报道。

曲靖是中国最大优质烤烟产区,烟区的地形地貌复杂,生态因素分布差异明显,且具有一定的规律性;同时,烟区的土地利用方式和社会经济条件差异明显,是研究烟区土壤中有效中量元素空间变异特征及其影响因子的理想区域。本文用地统计学方法,研究云南曲靖烟区土壤有效态中量元素含量的空间分布特征,绘制土壤中量元素含量的空间分布图,并进一步对其影响因素进行了探讨,旨在为曲靖及全国其他烟区土壤中中量元素科学有效地分区管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

曲靖烟区地处滇东高原,地跨东经 102°42' ~ 104°

50',北纬 24°19' ~ 27°03',总耕地面积 729333.3hm²,适宜种植烤烟的面积 563333.3hm²。曲靖烟区属低纬高原亚热带季风气候区,有亚热带到北温带 6 种气候类型,主要为亚热带季风气候,年平均气温 14.24℃,年均降雨量总量在 800 ~ 1700mm,年日照时数 1584 ~ 2195h,无霜期达 204 ~ 282d。烟区年均烟叶产量达 1.8 × 10⁵t,是云南乃至全国最大的烤烟产区。

1.2 样品采集和分析

2008 年 4 月,采用 GPS 定位技术,对曲靖市 9 个植烟县(市、区)基本烟田进行定位取样。研究区内一共布置 2088 个取样点(图 1),取样点根据基本烟田分布情况进行布置,遵循均匀性、代表性的原则。田间取样时,用手持式 GPS 定位,记录采样点的经纬度和高程,以定位点为中心,在半径 10m 的圆形区域内多点(10 个点)混合取样,取样深度 0 ~ 20cm,用四分法取大约 1kg 土样带回实验室。土壤登记编码后经风干、研磨、过 60 目尼龙筛后装瓶备用。土壤有效钙、有效镁和有效硫采用原子吸收分光光度法测定;土壤 pH 值采用玻璃电极法测定;土壤有机质采用重铬酸钾氧化法测定^[16]。

1.3 数据处理

采用域法识别异常值,即把分布于平均值加减 3 倍标准差之外的数值定为特异值,分别用正常最大值和最小值代替特异值。利用 SPSS17.0 软件对样品数据进行描述性分析,并对数据进行 Kolmogorov - Smimov (K - S) 检验。实验半方差函数的计算、理论模型拟合及 Kriging 插值和图形绘制采用 ArcGIS 9.3 软件地统计学模块(geostatistical analyst)完成。

2 结果与分析

2.1 曲靖烟区土壤肥力指标的总体特征

曲靖烟区土壤统计特征见表 1。峰度检验和偏度检验表明 3 种有效态中量元素均不服从正态分布(服从对数正态分布或近似对数正态分布),说明其受外

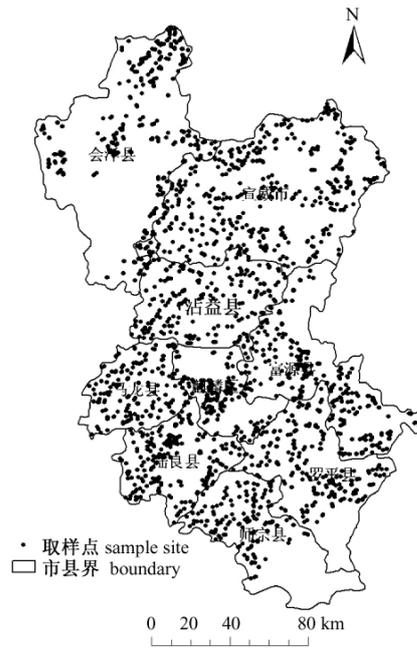


图 1 土壤样点分布图

Fig. 1 Distribution of soil samples

界因素影响较大;从土壤有效态中量元素的平均值来看,土壤有效钙含量和有效镁含量均十分丰富,分别达到 2579.2 和 323.0mg/kg,土壤有效硫含量为 37.6mg/kg 处于适宜范围;从土壤有效态中量元素的变化范围来看,各元素的最大值与最小值均相差较大,达 44.0~116.1 倍,以有效硫差距最大(116.1 倍);从变异系数来看,除有效硫变异系数在 100% 以上,属强变异程度外,有效钙和有效镁的变异系数分别为 57.0% 和 66.1%,属中等强度变异。说明在 3 种元素中,可能有效硫含量受人为主因素的影响较大。

按照曲靖烟区有效态中量元素分级标准(表 2),有效钙、有效镁和有效硫的缺乏临界值分别为 400、50 和 16mg/kg,土壤中有有效钙、有效镁和有效硫低于此临界值的土样依次占总土样数的 0.2% (5 个)、0.8% (18 个) 和 17.4% (364 个)。有效硫的上临界值为 50mg/kg,土壤中有有效硫高于此临界值的土样占总土样的 18.2% (381 个)。总的看来,曲靖烟区土壤有效钙和有效镁含量均在高及很高水平,仅有极个别样品

表 1 曲靖烟区土壤中量元素含量描述性统计

Table 1 Descriptive analysis of soil secondary elements contents in Qujing (mg/kg)

指标 index	样本数 No. of samples	最小值 minimum	最大值 maximum	平均值 mean	标准差 S. D	变异系数 C. V	偏度系数 skewness	峰度系数 kurtosis	分布类型 distribution type
有效钙 available Ca	2088	179.6	7908.4	2579.2	1470.1	57.0	1.4	2.2	LN
有效镁 available Mg	2088	30.4	1257.0	323.0	213.5	66.1	1.4	2.6	CLN
有效硫 available S	2088	2.0	228.37	37.6	38.1	101.2	3.2	11.8	CLN

注:LN 为对数正态分布,CLN 为近似对数分布。

Notes: LN denotes Lognormal, CLN denotes close to Lognormal.

表 2 曲靖烟区土壤有效态中量元素含量分级标准

Table 2 Classified standard of soil available secondary elements contents in Qujing (mg/kg)

指标 index	临界值 critical value	很低 very low	低 low	中等 middle	高 high	很高 very high
有效钙 available Ca	400	<300 (3)	300~400 (2)	400~800 (56)	800~1200 (150)	>1200 (1877)
有效镁 available Mg	50	0~25 (2)	25~50 (16)	50~100 (140)	100~150 (301)	>150 (1629)
有效硫 available S	16~50	≤10 (49)	10~16 (315)	16~30 (930)	30~50 (413)	>50 (381)

注:参考《曲靖市优质烟基地验收标准》,括号中数字为各等级样本数。

Note: Refer to <Acceptance standard of superior quality Flue-cured tobacco base of Qujing City>. Numbers in parentheses were the number of samples of each class.

低于临界值;部分土壤有效硫含量低于临界值或超出上临界值。

2.2 曲靖烟区土壤中量元素含量的空间结构分析

描述性统计只能说明区域有效态中量元素变化的全貌,不能定量刻画其结构性和随机性、相关性和独立性。而地统计学方法可以最大限度地保留空间变异信息,很好地描述变量的空间变异结构^[17]。半方差函数要求数据符合正态分布或近似正态分布,否则可能存

在比例效应,使实际变异函数值畸变,估计精度降低,甚至会掩盖其固有结构,导致一些结构特征不明显。因此用 Kolmogorov-Smirnov (K-S) 正态分布检验概率对它们进行检验^[18]。检验结果(表 1)表明 3 种中量元素含量均服从对数正态分布或近似对数正态分布。利用半方差函数的计算公式,分别用不同模型拟合,并对不同模型的拟合精度进行了交叉验证,得到模型的相关参数值。有关半方差函数模型的选择参考文献[19]的标

准进行。各中量元素的最优拟合模型、预测误差及其参数见表 3。3 种中量元素的标准化平均误差均接近于 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中量元素空间结构特性。

表 3 曲靖烟区土壤有效态中量元素含量半方差函数模型及其拟合参数

Table 3 Semivariogram models of soil secondary nutrient and corresponding parameters

指标 index	模型 model	块金值 (C_0)	基台值 ($C_0 + C$)	块金效应 $C_0 / (C_0 + C)$ (%)	长轴变程 major range (km)	短轴变程 minor range (km)	标准化平均 误差 MSE	标准化均 方根误差 RMSSE
有效钙 available Ca	gaussian	0.175	0.270	64.9	0.230	0.196	-0.0083	0.9391
有效镁 available Mg	exponential	0.260	0.370	70.4	2.517	0.387	-0.0002	0.8115
有效硫 available S	gaussian	0.371	0.520	71.3	0.808	0.310	-0.0282	1.0890

表 3 中 C_0 为块金方差 (块金值),是由试验误差和小于试验取样尺度上施肥、耕作等随机因素引起的变异。较大的块金值表明较小取样尺度上的一些过程不容忽视; C 为结构方差 (偏基台值),是由土壤母质、地形、气候等非人为为区域因素 (空间自相关部分) 引起的变异; ($C_0 + C$) 为基台值 (半方差函数随间距递增到一定程度后出现的平稳值),表示系统内总的变异;块金值与基台值之比 $C_0 / (C_0 + C)$ 为块金效应,可以表示系统变量的空间相关程度,当比值 $< 25\%$,说明系统具有强烈的空间相关性,且空间变异主要受结构性因子影响;如果比例在 $25\% \sim 75\%$,表明系统具有中等的空间相关性; $> 75\%$ 说明系统空间相关性很弱,且空间变异主要受随机性因子影响^[9]。本研究区域内,3 种中量元素的块金效应均在 $64.9\% \sim 71.3\%$,表明土壤中量元素含量具有中等的空间相关性,反映了曲靖烟区土壤中量元素的空间变异不仅受结构性因素 (气候、土壤母质和地形地貌等) 的影响,也受随机性因素 (耕作制度、施肥和管理水平等) 的影响。

变程表示随机变量在空间上的自相关性尺度^[9,20],也称为空间最大相关距离,反映了变量空间自相关范围的大小。在变程之内,变量间存在空间相关性,反之则不存在。研究区域内,曲靖烟区耕作层土壤中 3 种中量元素的变程大小顺序为有效镁 $>$ 有效硫 $>$ 有效钙,其中有效镁变程最大,达 2.517km ,说明土壤有效镁在研究区域较大的范围内均有相关性,反映了结构因素对土壤有效镁的影响较大 (表 3)。

2.3 曲靖烟区土壤有效态中量元素空间分布特征

根据得到的半方差函数模型,利用普通克里格插值法得到 3 种有效态中量元素含量的空间分布图 (图 2)。

2.3.1 有效钙的分布特征 由图 2-A 可以看出,研究区域土壤有效钙含量存在一定的空间变异。由于其变程较小,仅为 0.230km (见表 3),因而空间相关范围

较小。空间分布图显示,整个研究区域有效钙均在 $800\text{mg}/\text{kg}$ 以上,其中有效钙高值区 ($800 \sim 1200\text{mg}/\text{kg}$) 主要分布在马龙县南部和陆良县西北部,其他区域土壤有效钙含量均在 $1200\text{mg}/\text{kg}$ 以上,极高值区 ($> 1200\text{mg}/\text{kg}$) 覆盖了其他 7 个县 (市、区) 的全部区域、陆良县的大部分区域和马龙县的部分区域。总体来看,有效钙含量 $> 1200\text{mg}/\text{kg}$ 的区域占研究区面积的 96.5% ,反映出曲靖烟区的土壤有效钙含量整体上处于很高水平。

2.3.2 有效镁的分布特征 土壤有效镁含量呈现南北高中间低的趋势 (图 2-B),其变程较大,为 2.517km ,因此空间相关范围较大。极高值区 ($150\text{mg}/\text{kg}$ 以上) 覆盖了研究区的大部分区域,占整个研究区的 96.0% ;高值区 ($100 \sim 150\text{mg}/\text{kg}$) 主要零星分布在宣威市、沾益县、马龙县和陆良县,占整个研究区的 3.78% ;中等区 ($50 \sim 100\text{mg}/\text{kg}$) 仅在马龙县有零星分布,只占整个研究区的 0.23% 。曲靖烟区的土壤有效镁含量同样处于很高水平。

2.3.3 有效硫的分布特征 土壤有效硫含量在整个研究区域空间变异明显 (图 2-C),由于其变程相对较小,为 0.808km ,因此空间相关空间范围也比较小。有效硫极高值区 ($> 50\text{mg}/\text{kg}$,上临界值) 主要分布在宣威市南部、马龙县中东部、麒麟区中西部和陆良县西北部,面积占 9.80% ;有效硫高值区 ($30 \sim 50\text{mg}/\text{kg}$) 主要分布在东北 \rightarrow 西南一带的 4 县 1 市,高值区边界走势与行政边界接近,其面积占 42.04% ;中等区 ($16 \sim 30\text{mg}/\text{kg}$) 主要分布在会泽县、富源县、罗平县和师宗县的东南部,其面积占整个研究区的 47.47% ;低值区 ($10 \sim 16\text{mg}/\text{kg}$) 主要分布在罗平县西南部,其面积仅占 0.70% 。除部分区域有效硫偏高和零星区域偏低外,研究区有效硫含量处于 $16 \sim 50\text{mg}/\text{kg}$ 适宜范围的区域占整个研究区域面积的 89.5% ,表明曲靖烟区土壤有效硫含量十分适宜烤烟生长。

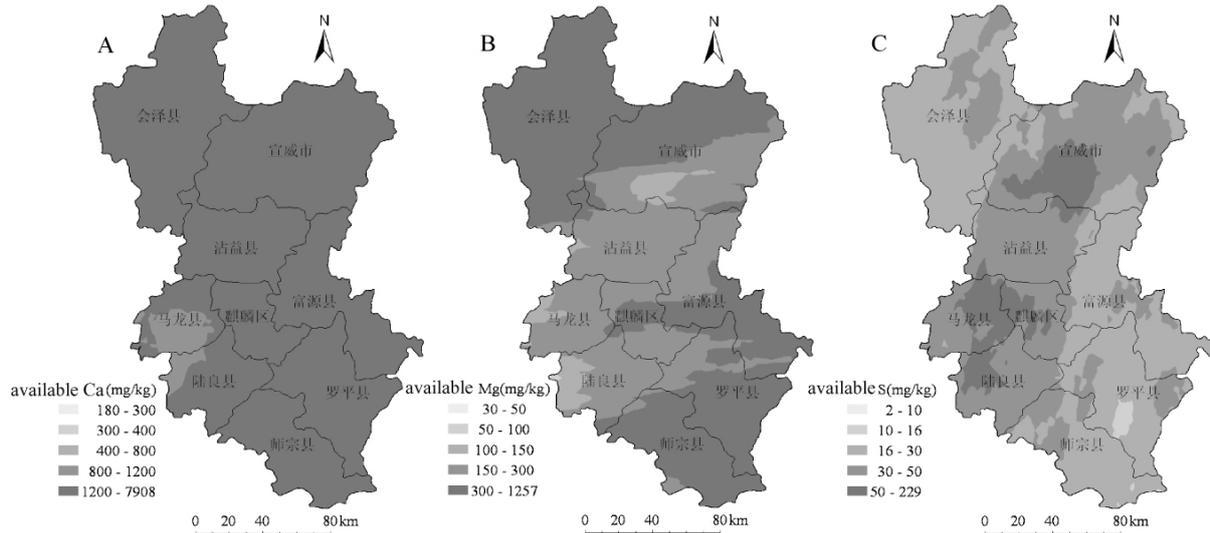


图2 曲靖烟区土壤有效微量元素含量的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of soil available secondary elements contents in Qujing (mg/kg)

2.4 土壤有效态中量元素空间分布的影响因子

空间结构分析表明,曲靖植烟土壤有效态中量元素含量的空间变异受结构性因素和随机性因素的共同影响。调查表明,研究区域内的海拔高度、地形条件、土壤类型、土壤 pH、有机物料投入量、前茬作物差异明显。因此本研究选择海拔高度、地形条件、土壤类型和土壤 pH 作为结构性因素,选择有机物料投入量和前茬作物作为随机性因素,探讨其对植烟土壤有效钙、有效镁和有效硫含量空间变异的影响。

2.4.1 海拔高度 海拔高度影响着区域的光温分布、降水条件及灌溉条件,导致土壤中量元素含量因海拔高度变化而产生差异^[21]。3 种有效态中量元素含量与海拔高度的相关分析显示,有效镁含量与海拔高度呈极显著负相关关系($r = -0.246, P = 0.000$),有效钙含量与海拔高度相关性较弱($r = -0.033, P = 0.057$),有效硫含量与海拔高度呈极显著正相关关系($r = 0.155, P = 0.000$)。进一步对土样按海拔高度 200m 的组距进行分组(表 4),运用多重比较法比较 3 种中量元素的组间差异,结果表明 3 种中量元素含量组间差异达到了显著或极显著水平,有效钙和有效镁含量均以海拔 1600m~1800m 最高,极显著高于其他分组,其他分组之间亦达到了显著或极显著水平的差异;土壤有效硫则随海拔升高大幅升高,分组之间的差异达到极显著水平。

2.4.2 地形条件 不同的地形条件影响着水分在自然界的重新分配及人类活动的频度,导致养分含量因地形条件变化而产生差异。不同地形土壤有效态中量

元素分析结果见表 5。表 5 显示土壤有效钙含量变化趋势为平坝 > 山地 > 河槽 > 丘陵,其中丘陵地形有效钙含量显著低于平坝和山地,其他地形有效钙含量差异不显著;有效镁含量表现为山地 > 河槽 > 平坝 > 丘陵,其中山地和河槽间的差异不显著,但均显著或极显著高于丘陵和平坝,平坝亦极显著高于丘陵;有效硫含量表现为丘陵 > 平坝 > 河槽 > 山地,丘陵显著高于平坝,极显著高于山地和河槽,其他地形间有效硫含量差异未达显著水平。以上分析表明,地形是影响烟田土壤有效态中量元素的重要因子,有效钙和有效镁含量均以丘陵地形最低,其他地形间差异相对较小;有效硫含量除丘陵地形较高外,其他地形之间差异较小。

表 4 海拔高度对植烟土壤有效态中量元素的影响

Table 4 Soil available secondary elements contents affected by different elevation mg/kg

海拔范围 altitude ranges (m)	样本数 No. of samples	有效钙 available Ca	有效镁 available Mg	有效硫 available S
≥2000	761	2322.3C	266.1D	43.5A
1800~2000	974	2679.0B	329.8C	37.9B
1600~1800	237	3011.6A	433.0A	24.7C
1400~1600	112	2548.6BC	423.7B	23.1D

注:表中数据后不同小写字母和大写字母分别表示 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ (SSR 测验) 水平差异,下表同。

Note: In above table, different small and capital letters following data represent significant level at 0.05 and 0.01, respectively, SSR determination. The same as follows tables.

2.4.3 土壤类型 不同类型土壤有效态中量元素分析结果见表 6,土壤有效钙含量变化趋势为新积土 >

紫色土 > 冲积土 > 水稻土 > 红壤 > 黄壤, 不同土壤类型之间差异达显著或极显著水平, 有效钙含量最高的新积土比最低的黄壤高 1089.4 mg/kg; 土壤有效镁含量变化趋势为紫色土 > 新积土 > 黄壤 > 冲积土 > 水稻土 > 红壤, 有效镁含量最高的紫色土比最低的红壤高 184.0 mg/kg; 土壤有效硫含量变化趋势为水稻土 > 红壤 > 冲积土 > 紫色土 > 新积土 > 黄壤, 有效硫含量最高的水稻土比最低的黄壤高 18.8 mg/kg。

表 5 地形条件对植烟土壤有效态中量元素的影响

Table 5 Soil available secondary elements contents affected by different terrain conditions (mg/kg)

地形 terrain	样本数 No. of samples	有效钙 available Ca	有效镁 available Mg	有效硫 available S
山地 mountain	1323	2609.4Aa	346.1Aa	34.7Bb
丘陵 hilly	220	2350.7Ab	221.3Cc	48.8Aa
平坝 basin	378	2613.4Aa	296.1Bb	41.8ABb
河槽 river aqueduct	113	2450.9Aab	342.1ABa	35.5Bb

表 6 土壤类型对植烟土壤有效态中量元素的影响

Table 6 Soil available secondary elements contents affected by different soil types (mg/kg)

土壤类型 soil types	样本数 No. of samples	有效钙 available Ca	有效镁 available Mg	有效硫 available S
紫色土 purple soil	347	2933.7Aa	448.7Aa	30.1ABb
新积土 new alluvial soils	209	3276.4Aa	396.3Aab	28.8Bb
水稻土 paddy soil	331	2426.9Bb	307.7Bc	43.7Aa
红壤 red soil	1033	2400.9Bb	264.7Cd	41.3Aa
黄壤 yellow soil	123	2187.0Bb	382.8Ab	24.9Bb
冲积土 alluvial soil	32	2671.7ABab	337.5ABbc	34.0ABab

2.4.4 土壤 pH 研究区域土壤 pH 与 3 种有效态中量元素含量的相关分析表明, 有效钙及有效镁含量与 pH 呈极显著正相关关系 (r 分别为 0.684 和 0.262, P 均为 0.000), 有效硫与 pH 呈极显著负相关关系 ($r = 0.071$, $P = 0.001$)。进一步对土样按 pH 高低以 1.0 的组距进行分组 (表 7), 运用多重比较法比较了 3 种中量元素在组间的差异, 结果显示 3 种中量元素含量在组间的差异达到了显著或极显著水平, 其中有效钙和有效镁含量随着 pH 升高呈大幅升高趋势, 有效硫

含量则以 pH 为 4~5 时最高, 以 pH 为 6~7 时最低, 说明有效硫含量可能还受诸如施肥习惯等其他因素的影响。

表 7 土壤 pH 对植烟土壤有效态中量元素的影响

Table 7 Soil available secondary elements contents affected by different pH (mg/kg)

pH 范围 pH values	样本数 sample number	有效钙 available Ca	有效镁 available Mg	有效硫 available S
≥ 7	491	4093.1A	388.4A	40.4Bb
6~7	752	2602.0B	343.1B	31.7Cc
5~6	692	1799.7C	287.5C	37.5Bb
4~5	149	1101.1D	175.5D	59.6Aa

2.4.5 有机物料投入量 研究区域土壤有机质含量与 3 种有效态中量元素含量的相关分析表明, 有效钙含量与有机质含量呈极显著正相关关系 ($r = 0.182$, $P = 0.000$), 有效镁含量与有机质含量呈显著负相关关系 ($r = -0.046$, $P = 0.034$), 有效硫含量与有机质含量相关性不显著 ($r = 0.009$, $P = 0.670$)。进一步对土样按有机质高低以 20.0 的组距进行分组 (表 8), 运用多重比较法比较了 3 种中量元素在组间的差异, 结果显示 3 种中量元素含量差异在组间的差异达到了显著或极显著水平, 其中有效钙随着有机质增加呈大幅升高趋势; 有效镁含量则以有机质含量 < 20 g/kg 时最高, 极显著高于其他分组, 其他分组间有效镁含量无显著差异; 有效硫含量则以有机质 ≥ 60 g/kg 和 20 g/kg ~ 40 g/kg 时最高, 与其他分组相比差异达显著水平。

表 8 土壤有机质对植烟土壤有效态中量元素的影响

Table 8 Soil available secondary elements contents affected by different organic content (mg/kg)

有机质范围 organic ranges (g/kg)	样本数 No. of samples	有效钙 available Ca	有效镁 available Mg	有效硫 available S
≥ 60	130	3454.2Aa	328.5Bb	42.4Aa
40~60	628	2794.7Bb	320.3Bb	34.4Ab
20~40	264	2582.3Bcc	306.0Bb	40.0Aa
< 20	1062	2344.7Cd	397.9Aa	33.7Ab

2.4.6 前茬作物 土壤有效钙含量变化趋势为豌豆 > 玉米 > 油菜 > 绿肥 > 大麦 (表 9), 不同前茬作物之间差异达显著或极显著水平, 有效钙含量最高的豌豆茬土壤, 比最低的大麦茬土壤高 1218.5 mg/kg; 土壤有效镁含量变化趋势为玉米 > 豌豆 > 油菜 > 绿肥 > 大麦, 与有效镁含量的变化趋势基本相同, 有效钙含量最高的玉米茬土壤比最低的大麦茬土壤高 145.5 mg/kg; 土壤有效硫含量变化趋势为豌豆 > 绿肥 > 大麦 > 玉米

> 油菜,有效硫含量最高的豌豆茬土壤比最低的大麦茬土壤高 11.4mg/kg。

表 9 前作对植烟土壤有效态中量元素的影响

Table 9 Soil available secondary elements contents as affected by different organic content (mg/kg)

前茬作物 preceding crops	样本数 No. of samples	有效钙 available Ca	有效镁 available Mg	有效硫 available S
玉米 maize	62	2879.6Bb	440.3Aa	26.3Bb
油菜 rape	243	2511.4BCbc	374.6ABb	25.4Bc
大麦 barley	392	2287.7Cc	294.8Bc	31.9ABb
豌豆 pea	196	3506.2Aa	383.9ABab	36.8Aa
绿肥 green manure	105	2293.8Cc	313.6Bc	34.5ABab

3 讨论

描述性统计分析结果表明,曲靖植烟土壤有效中量元素服从对数正态或近似对数分布,其中有效钙和有效镁属于中等强度变异,有效硫属于强变异,这反映了各地由于自然或人为因素的差异造成植烟土壤有效中量元素存在较大差异;曲靖烟区土壤有效钙、有效镁和有效硫均较为丰富,与湖南、河南等烟区类似,基本不存在缺钙和缺镁现象,但有效硫均同时存在缺乏和过高的现象^[22-24]。空间结构分析表明,曲靖植烟土壤有效中量元素含量的块金效应均在 64.9%~71.3%,反映土壤有效中量元素含量同时受结构性因素和随机性因素的影响,这与土壤微量元素及重金属元素的相关研究结果一致^[22-26]。3 种中量元素以有效镁变程最大(2.517km),说明土壤有效镁在研究区域较大的范围内均有相关性,反映出较之有效钙和有效硫,有效镁含量受气候、土壤母质和地形地貌等结构因素的影响更大。曲靖植烟土壤有效中量元素含量的影响因素分析结果表明,曲靖植烟土壤中量元素不仅受海拔高度、地形条件、土壤类型和土壤 pH 等结构性因素的影响,也受有机物料投入量和前茬作物等随机因素的影响。当然,3 种元素都在很大程度上受施肥种类和数量的影响,本文未作相关研究,并将在以后作进一步研究。

须要指出的是,本研究取样点的布置主要根据区域内烤烟种植情况确定,该布置方法虽然考虑到区域内基本烟田的空间分布和烤烟生产布局,但对地统计分析样点分布均匀的要求则考虑较少,不能最好的满足地统计分析的要求,在后续的研究中须同时考虑区域基本烟田分布和地统计学分析的要求;此外采样密

度对土壤有效中量元素含量空间变异研究的客观性和准确性有重要影响,与以往的相关研究相比,本研究的取样密度较大^[12,13,19,20],样点间的空间信息相对完整,因此确保了克里格插值较高的精确度,但对此采样密度的合理性和必要性并未加以检验,理论上参与评价的样本数目越多,评价准确性越高,但受土壤样品采集和分析费用的影响,取样密度不可能也不需要无限制地大,因此合理取样密度的确定对于准确评价区域土壤养分指标空间变异和节省人力物力十分重要,将在以后的研究中综合考虑。

4 结 论

曲靖烟区土壤有效钙含量和有效镁含量十分丰富,仅有少量土壤样本有效钙含量(0.2%)和有效镁含量(0.8%)低于临界值,土壤有效硫含量均值处适宜水平,仅分别有 18.2%和 17.4%的土壤样本有效硫含量高于上临界值 50mg/kg 和低于下临界值 16mg/kg。3 种中量元素的空间变异明显,土壤有效钙含量极高值区 > 1200mg/kg 覆盖了研究区 96.5% 的面积;土壤有效镁含量呈现南北高中间低的趋势,极高值区(150mg/kg 以上)覆盖了研究区 96.0% 的面积;除少量区域土壤有效硫偏高(面积占 9.80%)和零星区域(面积占 0.70%)偏低外,研究区域 89.5% 的面积土壤有效硫含量处于适宜范围 16~50mg/kg。对曲靖烟区有效态中量元素含量的影响因素的研究表明,海拔高度、地形条件、土壤类型、土壤 pH 等结构性因素,以及有机物料投入量和前茬作物等随机性因素均是曲靖烟区土壤有效态中量元素的重要影响因子。

参考文献:

- [1] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 201-210
- [2] 程林梅. 钙处理对土壤干旱下棉花幼苗生理生化指标的影响[J]. 植物学通报, 1998, 15(6): 70-72
- [3] 孟赐福, 吕晓男, 曹志洪, 胡正义. 水稻和油菜施硫的增产效应及土壤有效硫临界指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2): 218-220
- [4] 徐胜光, 廖新荣, 蓝佩玲, 李淑仪, 郑惠典, 张育灿, 林日强. 两种不同土壤上镁和微肥对豇豆营养品质和产量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2005, 28(2): 59-63
- [5] 胡国松, 郑伟, 王震东, 李智勇. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学技术出版社, 2000, 153-177
- [6] 左天觉. 烟草的生产、生理和生物化学[M]. 上海: 上海远东出版社, 1993. 209-213
- [7] 刘勤, 曹志洪. 烟草硫素营养与烟叶品质研究进展[J]. 土壤, 1998, 30(6): 320-323

- [8] 邓小华,周冀衡,赵松义,杨虹琦,李晓忠,张一扬,陈新联,朱列书. 湖南烤烟硫含量的区域特征及其对烟叶评吸质量的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2853-2859
- [9] 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
- [10] Shakil A R. Geostatistical analysis of soil moisture measurements and remotely sensed data at different spatial scales[J]. *Environmental Geology*, 2004, 45: 339-349
- [11] 张宏伟,魏忠义,王秋兵. 沈阳城市土壤全钾和碱解氮的空间变异性[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1517-1521. (in Chinese)
- [12] 王淑英,于同泉,王建立,杨柳,杨凯,路苹. 北京市平谷区土壤有效微量元素含量的空间变异特性初步研究[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 129-137.
- [13] 史文娇,汪景宽,魏丹,李双异,迟凤琴. 黑龙江省南部黑土区土壤微量元素空间变异及影响因子—以双城市为例[J]. 土壤学报, 2009, 46(2): 342-347
- [14] 郑海龙,陈杰,邓文靖,檀满枝,张学雷. 城市边缘带土壤重金属空间变异及其污染评价[J]. 土壤学报, 2006, 43(1): 39-45
- [15] 庞夙,李廷轩,王永东,余海英,郭其灵,陈东明. 县域农田土壤铜、锌、铬含量空间变异特征及其影响因子分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 737-743
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [17] 钟晓兰,周生路,李江涛,赵其国,廖启林. 长江三角洲地区土壤盐酸可提取态重金属含量的空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 71-78
- [18] Baxter S J, Oliver M A, Gaunt J. A geostatistical analysis of the spatial variation of soil mineral nitrogen and potentially available nitrogen within an arable field[J]. *Precision Agriculture*, 2003, 4: 213-226
- [19] 路鹏,彭佩钦,宋变兰,唐国勇,邹焱. 洞庭湖平原区土壤全磷含量地统计学和GIS分析[J]. 中国农业科学, 2005, 38(6): 1204-1212.
- [20] 苑小勇,黄元仿,高如泰,柴旭荣,贺勇. 北京市平谷区农用地土壤有机质空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 70-76.
- [21] 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[J]. 土壤, 2008, 40(6): 980-985.
- [22] 许自成,王林,肖汉乾,李挥文. 湖南烟区烤烟硫含量与土壤有效硫含量的分布特点[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2507-2511
- [23] 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[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 21-29
- [24] 黄元炯,张翔,范艺宽,宝德俊,马国华. 河南烟区土壤硫、镁及微量元素的含量与分布[J]. 烟草科技, 2005, 3: 33-36
- [25] 孟赐福,傅庆林,水建国,吴益伟. 浙江中部红壤施用石灰对土壤交换性钙、镁及土壤酸度的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(2): 129-136
- [26] 吴英,孙彬,迟凤琴. 黑龙江省主要类型土壤耕层有效硫状况及硫肥有效性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(4): 477-480

(责任编辑 邱爱枝)

食品包装安全学

著译者 王利兵 等 编著

ISBN 978-7-03-029986-4/TS·196

定价 ¥198.00

开本 16开

装帧 圆脊精装

营销分类 食品工业

出版时间 2011年4月

内容简介:本书分为四篇,共38章。第一篇1~4章,包括食品包装的概念,食品包装的分类,现代食品包装技术和食品包装安全。第二篇5~22章,包括食品包装物理、机械和卫生安全等性能要求,食品包装卫生安全检测所需的仪器分析技术及前处理技术,食品包装有害物质分析的技术,主要几类食品包装材料物理性能检测技术。第三篇23~26章,包括食品包装材料化学物迁移和质量传递基本理论,及与食品包装化学物迁移相关的扩散方程,重点分析了塑料包装材料扩散模型及迁移规律。第四篇27~38章,包括安全性毒理学评估、毒理学试验方法、暴露评估、欧盟和美国的安全性评价方法,并提供了几类食品包装材料中常见有害物质的安全性评价实例。本书的技术和方法参考了国内外食品及包装安全检测标准,以及发表于本领域权威学术期刊的最新研究成果,反映了新时期国际食品包装安全研究领域所关注的内容。

