

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.02.008

郝尚妍, 周嵘, 徐宸, 等. 重庆渝东北植烟区土壤交换性钙镁与土壤属性的关联特性研究. 土壤, 2023, 55(2): 288–294.

# 重庆渝东北植烟区土壤交换性钙镁与土壤属性的关联特性研究<sup>①</sup>

郝尚妍<sup>1</sup>, 周嵘<sup>1</sup>, 徐宸<sup>2</sup>, 陈天才<sup>3</sup>, 冉茂<sup>4</sup>, 代先强<sup>4</sup>, 周鑫斌<sup>1\*</sup>

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 中国烟草总公司重庆市石柱分公司, 重庆石柱 409100; 3 中国烟草总公司重庆市公司奉节分公司, 重庆奉节 404600; 4 中国烟草总公司重庆市烟叶分公司, 重庆 400020)

**摘要:** 为明确重庆渝东北植烟区土壤中交换性钙、镁养分状况与土壤属性的关联特性, 为烟区养分管理提供参考依据, 利用 GPS 定位技术在渝东北植烟区采集了 1 092 个代表性土壤样品, 对巫溪、巫山、奉节、万州、涪陵和丰都 6 个区县植烟土壤交换性钙和交换性镁含量分析, 同时与其他土壤属性进行关联分析。结果表明: 重庆渝东北植烟土壤交换性钙、镁含量丰富, 其平均值分别为 10.85 cmol/kg 和 1.79 cmol/kg, 但也存在缺乏现象, 且区域分布不均衡。总体来看, 土壤交换性钙缺乏 (<6 cmol/kg) 占比 28.30%, 土壤交换性镁缺乏 (<1.0 cmol/kg) 占比 42.75%。涪陵县与丰都县的土壤交换性钙、镁缺乏最严重, 占比分别为 40.00% 和 55.00%。丰都县与万州区土壤交换性钙、镁含量最适宜烤烟种植, 占比分别为 42.00% 和 36.61%。母质是影响土壤交换性钙、镁含量的重要因素, 二叠系泥灰岩发育形成的土壤交换性钙、镁含量较高, 侏罗纪紫色砂岩含量最低。植烟土壤 pH、阳离子交换量与交换性钙、镁存在显著正相关关系, 而土壤交换性酸总量与二者呈显著负相关, 交换性钙镁缺乏是引起烟田酸化的主要原因。1~2 mm 与 <0.25 mm 粒径团聚体是引起土壤交换性钙、镁分异的关键因子, 应当促进粒径 >2 mm 的土壤大团聚体的形成。本研究可为重庆渝东北地区植烟土壤交换性钙、镁养分管理提供科学依据。

**关键词:** 植烟土壤; 交换性钙; 交换性镁; 烟田酸化

**中图分类号:** S158.5 **文献标志码:** A

## Association Between Exchangeable Calcium (Ca<sup>2+</sup>) and Magnesium (Mg<sup>2+</sup>) with Other Soil Properties in Tobacco Planting Area of Northeast Chongqing

HAO Shangyan<sup>1</sup>, ZHOU Rong<sup>1</sup>, XU Chen<sup>2</sup>, CHEN Tiancai<sup>3</sup>, RAN Mao<sup>4</sup>, DAI Xianqiang<sup>4</sup>, ZHOU Xinbin<sup>1\*</sup>

(1 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2 Shizhu Branch of Chongqing Tobacco Company, China National Tobacco Corporation, Shizhu, Chongqing 409100, China; 3 Fengjie Branch of Chongqing Tobacco Company, China National Tobacco Corporation, Fengjie, Chongqing 404600, China; 4 Tobacco Leaf Branch of Chongqing Tobacco Company, China National Tobacco Corporation, Chongqing 400020, China)

**Abstract:** In order to clarify the correlation between exchangeable calcium (Ca<sup>2+</sup>) and magnesium (Mg<sup>2+</sup>) contents with other soil properties in the northeastern Chongqing tobacco-growing region, and provide reference basis for nutrient management in tobacco planting areas, 1 092 typical soil samples were collected from Wuxi, Wushan, Fengjie, Wanzhou, Fuling and Fengdu using GPS positioning technology, and Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> contents and their correlation with other soil properties were analyzed. The results show that the average contents of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> are 10.85 cmol/kg and 1.79 cmol/kg, respectively, but there are also deficiencies and uneven regional distribution, 28.30% and 42.75% of the samples are deficient in Ca<sup>2+</sup> (<6 cmol/kg) and Mg<sup>2+</sup> (<1.0 cmol/kg), respectively. Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> deficiencies are most severe in Fuling and Fengdu counties, accounting for 40.00% and 55.00%, respectively. Fengdu County and Wanzhou District have the most suitable Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> contents, with 42.00% and 36.61% respectively. The parent material is an important factor influencing Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> contents, which are high in soils derived from Permian marl but low in soils derived from Jurassic purple sandstone. Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> are significantly positively correlated with soil pH and cation exchange, whereas significantly negatively correlated with total soil exchangeable acid. Deficiencies in Ca<sup>2+</sup> and

①基金项目: 中国烟草总公司重庆市公司科技项目(B20221NY1307, B20221NY1314)资助。

\* 通讯作者(zxbissas@swu.edu.cn)

作者简介: 郝尚妍(1999—), 女, 黑龙江桦南人, 硕士研究生, 主要研究方向为土壤养分管理。E-mail: hsyhsyswu@163.com

$Mg^{2+}$  are the main cause of soil acidification in tobacco-planting fields. 1 ~ 2 mm and <0.25 mm aggregates are the key factors causing  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  differentiation, and the formation of large soil aggregates (>2 mm) should be promoted to prevent soil acidification. This study can guide the management of soil  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  nutrients in tobacco-planting fields in the northeastern part of Chongqing.

**Key words:** Tobacco-planting soil; Exchangeable calcium ( $Ca^{2+}$ ); Exchangeable magnesium ( $Mg^{2+}$ ); Soil acidification of tobacco-planting field

钙和镁是烟草生长发育过程中的重要元素,对于调节烟草的生理代谢、产量和品质有着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。钙是植物细胞壁中果胶质的重要组分,维持膜结构的稳定性和外观质量。烤烟缺钙时,会导致幼叶叶色浓绿,叶缘反转卷曲,植株生长停滞,根系粗短,有较多根尖坏死,发生黑胫病,烤后烟叶身份厚、油份少<sup>[2]</sup>。镁是叶绿素的重要组成成分,能够影响叶片的光合作用和干物质的积累。缺镁会导致老叶叶肉变黄但叶脉仍绿,根系生长速度比地上部快,根系纤细且白,根冠比较大,烤后烟叶身份薄,弹性小,糖分、淀粉含量减少,有机酸含量增加<sup>[3]</sup>。烟叶中钙和镁含量的高低取决于土壤中的交换性钙和镁含量,二者呈显著的正相关关系<sup>[4]</sup>。同时,土壤交换性钙、镁是土壤阳离子交换量(CEC)的重要组分,土壤 CEC 是衡量土壤保水保肥能力的重要指标,土壤 CEC 输出与投入的不平衡是导致土壤酸化的主要原因<sup>[5]</sup>。土壤酸害严重限制了烟草等农作物生长,甚至会诱发烟草青枯病的暴发,因此烟田土壤酸化严重影响烤烟产量与品质<sup>[6]</sup>。

土壤的形成与发育受成土母质的影响,土壤交换性钙、镁含量的空间差异主要来源于成土母质,石灰岩母质、页岩母质和砂页岩母质发育的土壤交换性钙、镁含量均较高,花岗岩母质和砂岩母质发育的土壤交换性钙、镁含量相对较低<sup>[7]</sup>。在贵州中部山区植烟区,第四纪红土发育形成的土壤交换性钙、镁含量较高,而沟谷堆积物发育形成的土壤交换性镁含量较低<sup>[8]</sup>。由不同成土母质发育而来的土壤交换性钙、镁含量也存在显著差异,湖南烟区以红壤交换性钙量(12.03 cmol/kg)最高,黄壤(1.52 cmol/kg)和黄棕壤(1.55 cmol/kg)交换镁含量较高,均与其他土壤类型间达显著差异水平<sup>[9]</sup>。也有研究表明,土壤交换性钙、镁含量受土壤 pH、有机质、全氮、全磷等养分指标影响显著<sup>[10]</sup>。

探明渝东北烟区土壤交换性钙、镁含量与相关土壤属性之间的联系对于提高烟田土壤养分管理水平,提高烟叶产质量均具有重要的影响。为此,本研究通过调查重庆渝东北烟区土壤交换性钙、镁在耕作层含量的分布规律和差异性,以及探究影响其含量的其他

环境因子,为当地烟草科学施肥提供理论和实践依据,进而达到提高植烟土壤保水保肥能力、降低土壤酸化和获得优质高产烤烟的目的。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区域概况

研究区域为重庆渝东北部烤烟种植区,主要分布在巫溪、巫山、奉节、万州、涪陵和丰都 6 个县(区),在 57 个植烟乡(镇)内共选择 246 个村委会,选择 1 092 个具有代表性植烟地块进行取样。地理坐标为 107°31'E ~ 109°55'E, 29°27'N ~ 31°39'N,海拔 654 ~ 1 634 m,属中亚热带季风湿润气候,适宜烤烟栽培。

### 1.2 植烟土壤采集与检测

依据重庆渝东北烟区的土壤类型和烟叶种植面积,考虑不同烟区生态环境和气候条件,按照现代烟草农业规划,在每个烟草种植单元(6.67 ~ 8 hm<sup>2</sup>)取一个土样原则,共采集代表性植烟土壤 1 092 个,记录采样点的编号、所属农户、经纬度、海拔、烟草前茬作物等辅助信息。采用“S”形 5 点采样法对耕作层土壤进行取样,用四分法混匀,后风干、磨细、过筛制成土样,装瓶备用。

土壤理化指标检测方法:土壤 pH 采用玻璃电极法测定<sup>[11]</sup>;有机质采用重铬酸钾氧化法测定<sup>[11]</sup>;碱解氮采用碱解扩散法测定<sup>[11]</sup>;有效磷采用钼锑抗比色法测定<sup>[11]</sup>;速效钾采用硝酸溶液浸取-火焰光度法测定<sup>[11]</sup>;阳离子交换量采用乙酸铵交换法测定<sup>[12]</sup>;交换性酸总量采用氯化钾交换法测定<sup>[12]</sup>;土壤水稳性大团聚体组成采用湿筛法测定<sup>[12]</sup>;交换性钙、镁采用火焰原子吸收光度法测定<sup>[12]</sup>。

### 1.3 统计分析

参照《全国第二次土壤普查土壤养分划分指标》<sup>[13]</sup>,根据渝东北植烟区烤烟生产实际和中国植烟土壤养分丰缺指标<sup>[14]</sup>,制定出渝东北地区植烟土壤交换性钙和镁的养分划分标准,划分为:极缺乏、缺乏、适中、丰富和极丰富 5 个等级(表 1)。利用 SPSS 25.0 对土壤数据进行 Pearson 相关分析与回归分析,运用 OriginPro 2021 进行图像绘制。利用 Canoco 4.5 进行冗余分析。

表 1 植烟土壤交换性钙和镁分级标准(cmol/kg)  
Table 1 Grade criteria of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> of tobacco-planting soils

指标	养分分级				
	极缺乏	缺乏	适中	丰富	极丰富
交换性钙	<3	3~6	6~10	10~18	≥18
交换性镁	<0.5	0.5~1.0	1.0~1.6	1.6~3.2	≥3.2

## 2 结果与分析

### 2.1 渝东北烟区土壤交换性钙、镁含量的描述性统计特征

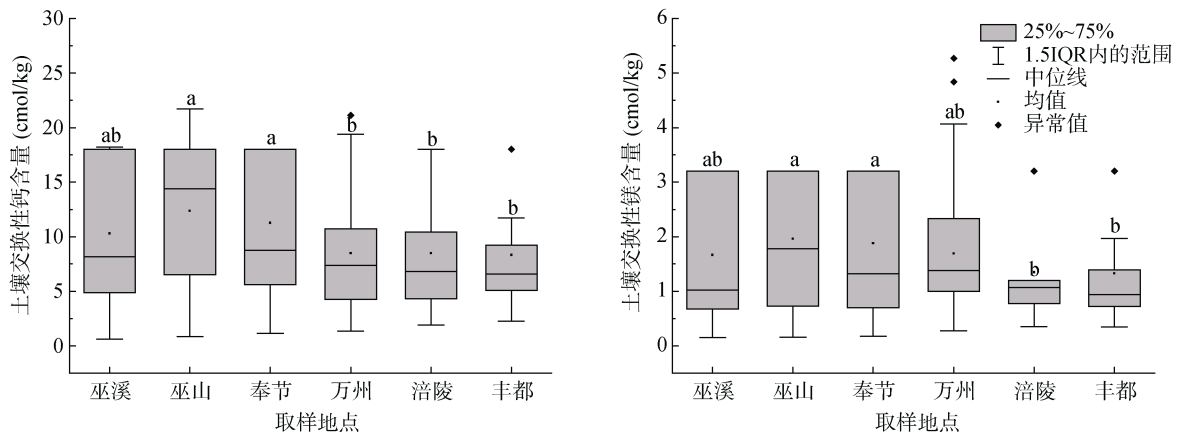
渝东北地区植烟土壤交换性钙、镁含量平均值分别为 10.85 cmol/kg 和 1.79 cmol/kg。由图 1 可知,不同的烤烟产区土壤可交换性钙、镁含量存在差异,但总体来看,土壤交换性钙、镁含量均处于适中及以上水平。渝东北不同烤烟产区植烟土壤交换性钙平均含量依次为:巫山>奉节>巫溪>万州>涪陵>丰都;土壤交换性镁平均含量依次为:巫山>奉节>万州>巫溪>涪陵>丰都。重庆渝东北植烟土壤交换性钙、镁含量

丰富,但也存在缺乏现象,且区域分布不均衡。总体来看,土壤交换性钙缺乏(<6 cmol/kg)占比 28.30%,土壤交换性镁缺乏(<1.0 cmol/kg)比例较高,为 42.75% (图 2)。植烟土壤交换性钙、镁含量最缺乏区域分别为涪陵县与丰都县。丰都县与万州区的土壤交换性钙、镁含量最适宜烤烟种植,占比分别为 42.00% 和 36.61%。

### 2.2 渝东北地区植烟土壤交换性钙、镁含量及其比值的影响因素

#### 2.2.1 土壤交换性钙、镁与土壤属性的相关性

相关性分析结果表明(表 2),土壤交换性钙与阳离子交换量和交换性镁呈极显著正相关,与 pH 呈显著正相关,与碱解氮、有效磷和交换性酸总量呈极显著负相关;土壤交换性镁与 pH、阳离子交换量和交换性钙呈极显著正相关,与有机质、碱解氮和交换性酸总量呈极显著负相关,与有效磷呈显著负相关。土壤钙镁比与 pH、有机质、碱解氮和交换性酸总量呈极显著正相关,与有效磷呈显著负相关。



(图中小写字母不同表示不同烤烟产区土壤间差异达  $P < 0.05$  显著水平,下同)

图 1 重庆渝东北不同烤烟产区土壤交换性钙、镁含量

Fig. 1 Soil Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> contents in different tobacco-planting areas in northeast Chongqing

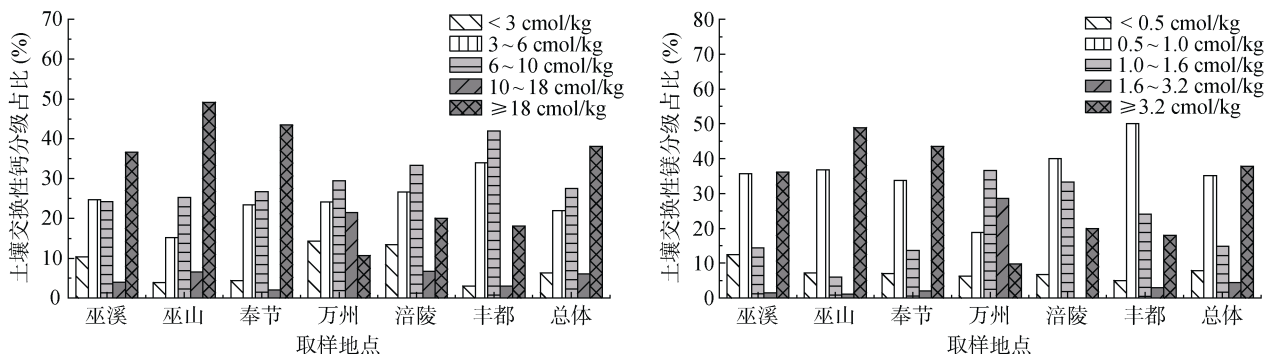


图 2 重庆渝东北不同烤烟产区土壤交换性钙、镁含量分级占比

Fig. 2 Graded percentages of soil Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> contents in different tobacco-planting areas in northeast Chongqing

表 2 土壤交换性钙、镁与其他土壤属性的相关性  
Table 2 Correlation between  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  with other soil factors

	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾	交换性酸总量	阳离子交换量	交换性钙	交换性镁
交换性钙	0.574*	-0.016	-0.111**	-0.118**	0.072	-0.271**	0.448**	1	0.563**
交换性镁	0.171**	-0.257**	-0.246**	-0.079*	0.061	-0.245**	0.248**	0.563**	1
钙镁比	0.428**	0.290**	0.176**	-0.084*	-0.036	0.0194**	-0.034	0.434**	-0.381**

注：\*、\*\*分别表示相关性达  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$  显著水平，下同。

**2.2.2 不同土壤养分指标与土壤交换性钙和镁的曲线方程** 以土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷、交换性酸总量和阳离子交换量作为自变量，土壤交换性钙、镁含量分别作为因变量，绘制各种属性指标的拟合曲线图，并建立相对应的拟合方程。如图 3 所示，随着 pH 与阳离子交换量的增加，土壤交换性钙、镁含量呈现增加趋势；随着有机质、有效磷、碱解氮与交换性酸的增加，土壤交换性钙、镁含量随之降低。在拟合曲线方程中，除有机质与交换性钙，有效磷与交换性镁方程外，其他曲线方程均具有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。拟合曲线图定量地反映了不同土壤养分指标对土壤交换性钙、镁的影响，对实际生产中调节交换性钙、镁平衡具有指导意义。

### 2.3 不同成土母质与土壤类型对土壤交换性钙和镁的影响

渝东北地区不同成土母质植烟土壤耕层交换性钙、镁含量分析结果见图 4，不同成土母质发育而来的土壤交换性钙、镁含量存在一定的差异。由图 4 可知，与其他成土母质相比，二叠系泥灰岩发育形成的土壤交换性钙、镁含量较高，分别为 14.96 cmol/kg 和 2.43 cmol/kg。不同土壤类型及亚类的土壤交换性钙、镁也存在一定差异，其中潮土的交换性钙、镁含量最高，分别为 12.46 cmol/kg 和 2.05 cmol/kg。土壤亚类为黄色石灰土的土壤交换性钙、镁含量最高，含量分别为 14.64 cmol/kg 和 2.45 cmol/kg，其交换性钙、镁含量分别与中性紫色土、黑色石灰土存在显著性差异。

### 2.4 不同粒径土壤团聚体分布与土壤交换性钙镁的冗余分析

以重庆渝东北地区植烟土壤交换性钙、镁含量作为响应变量，以土壤团聚体组成分级作为解释变量进行冗余分析。由图 5 可知，Axis 1 解释了土壤团聚体组成对土壤交换性钙、镁含量影响程度的 95.10%，Axis 2 解释了影响程度的 4.90%。其中 1~2 mm 和 <0.25 mm 粒径团聚体分别解释了土壤交换性钙、镁含量 57.9% 和 22.3% 的变异度，是土壤交换性钙、镁分异的关键因子 ( $P < 0.05$ )，与土壤交换性钙、镁含

量呈显著负相关。其他粒径的团聚体与土壤交换性钙、镁含量相关性不显著。

## 3 讨论

### 3.1 成土母质对土壤交换性钙、镁含量的影响

土壤交换性钙、镁含量主要受成土母质的影响<sup>[15]</sup>。与其他成土母质比较，二叠系泥灰岩发育形成的土壤交换性钙、镁含量较高，三叠系石灰岩次之，侏罗纪紫色砂岩含量最低。前人研究表明，石灰岩发育形成的土壤呈弱碱性，钙含量丰富，因此土壤中交换性钙含量较高，而砂岩母质发育形成的土壤呈弱酸性，且自身的养分含量低，因此其土壤交换性钙、镁含量相对较低<sup>[7, 15]</sup>。此外，土壤中的黏粒和砂粒含量也会对交换性钙、镁含量产生一定影响。由泥灰岩和石灰岩发育而来的土壤黏粒较多，而砂岩发育而来的土壤砂粒含量较多<sup>[15]</sup>，土壤中的有机质易与黏粒形成具有较大的表面积和较高表面活性的复合体，从而有效增强土壤黏粒对钙、镁的吸附，因此黏粒较多的土壤交换性钙、镁含量相对较高<sup>[16]</sup>。土壤中砂粒含量高会导致土壤有机质矿化分解速率较快，导致有机质含量降低<sup>[17]</sup>，在土壤有机质残体中，土壤中的有机质存在着氨基酸和羧酸带有大量负电荷，能够与带正电荷的交换性钙、镁离子发生静电吸附作用，并形成稳定的络合物，从而增强其对交换性钙、镁的吸附能力，因此砂粒较多的土壤交换性钙、镁含量相对较低<sup>[18]</sup>。

### 3.2 不同粒径土壤团聚体对交换性钙、镁含量的影响

母质类型显著影响土壤团聚体粒径分布<sup>[19]</sup>，各粒径团聚体的占比能够反映土壤结构与养分状况。在团聚体粒径分析中，发现 <0.25 mm 和 1~2 mm 粒径团聚体是引起交换性钙、镁差异的关键因子(图 4)，土壤中交换性钙、镁含量与二者呈负相关关系。这是因为土壤团聚体粒径越小，比表面积越大，与土壤中有机碳形成一种紧密结合的有机无机胶体，增强了对钙、镁的吸附，使养分不易被释放，造成交换性钙、镁含量降低<sup>[20]</sup>。郭全恩等<sup>[21]</sup>的研究表明，土壤中镁

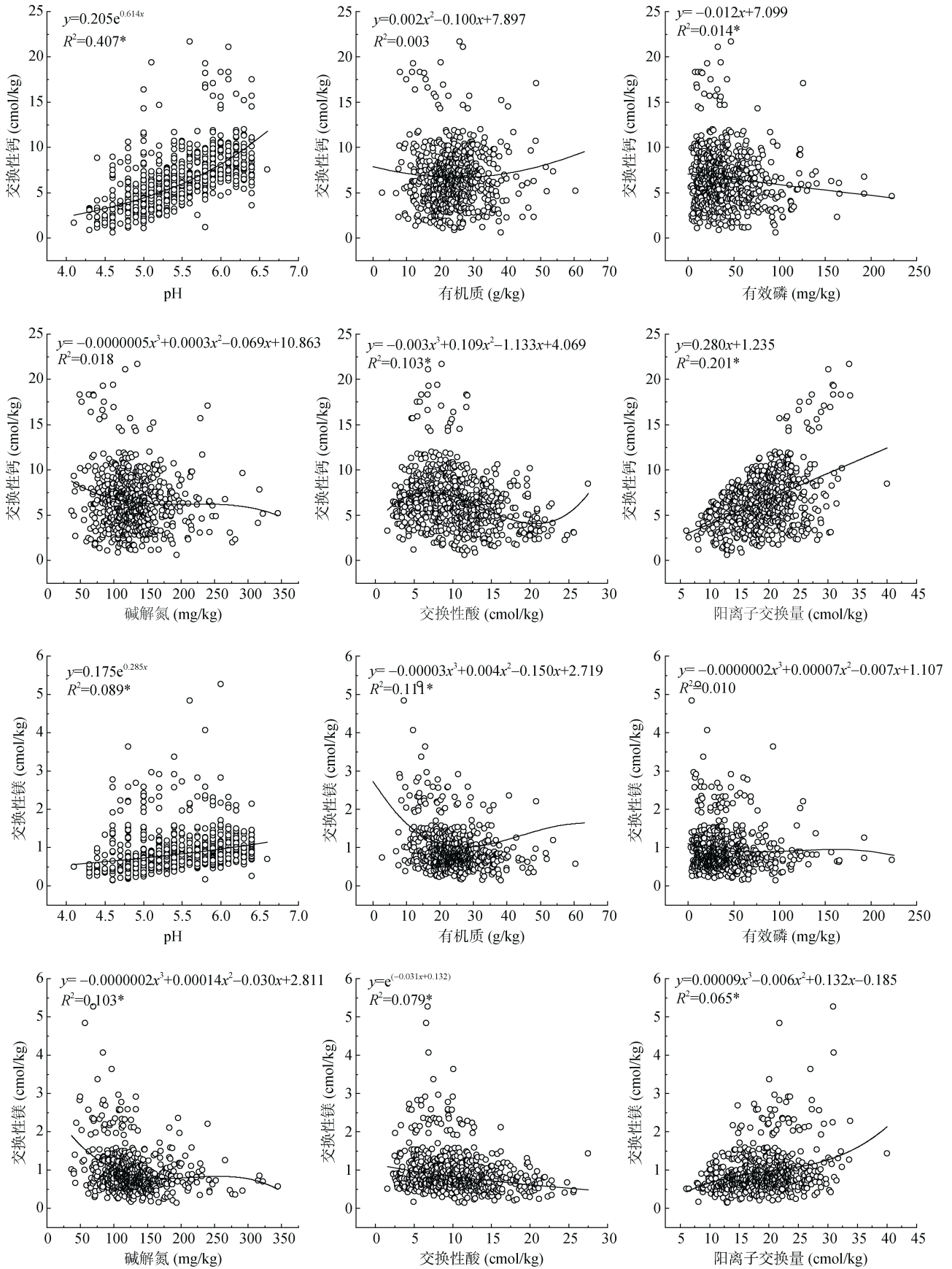


图 3 植烟土壤养分分级水平对土壤交换性钙、镁含量的影响

Fig. 3 Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> contents in tobacco-planting fields under different soil nutrient grade levels



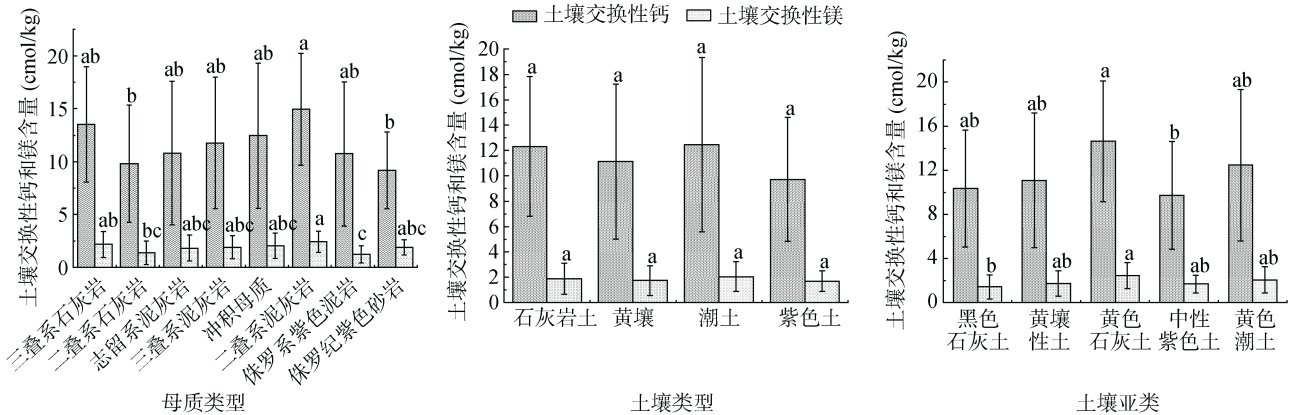


图 4 不同土壤母质、类型、亚类对土壤交换性钙镁的影响  
 Fig. 4  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  contents under different soil parent materials, types and subclasses

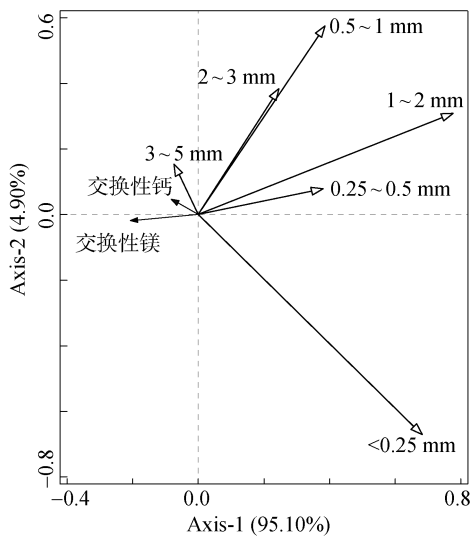


图 5 不同粒径土壤团聚体与土壤交换性钙、镁含量的冗余分析  
 Fig. 5 Redundancy analysis of soil aggregates of different sizes with  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  contents

离子主要分布在粒径 2 ~ 5 mm 或 >5 mm 的土壤大颗粒中。曾路生等<sup>[22]</sup>的研究表明，土壤中交换性钙、镁在 >0.25 mm 的大团聚体中的平均含量高于在 <0.25 mm 的微团聚体中的含量，>0.25 mm 的大团聚体决定了土壤中盐基离子贡献率的 88% ~ 90%，2 ~ 5 mm 团聚体中盐基离子储量最大。结合本文研究结果，在生产实践中应当改良土壤结构，提高 >2 mm 土壤大团聚体数量，才能使土壤中养分较稳定，不易分解，存留时间长<sup>[23]</sup>。

### 3.3 土壤理化性质对土壤交换性钙、镁含量的影响

本研究表明，土壤交换性钙、镁含量与 pH 和阳离子交换量呈显著正相关，这与曲靖<sup>[10]</sup>、贵州<sup>[8]</sup>、山东<sup>[7]</sup>等植烟土壤的研究一致。土壤交换性钙、镁主要吸附于土壤胶体表面，在酸性土壤环境中可被土壤中

大量  $H^+$  交换而进入溶液中，供植物利用或者流失；在碱性环境中则可较好地吸附于土壤胶体表面<sup>[24]</sup>，所以土壤交换性钙、镁在酸性土壤环境中含量较低，在碱性土壤环境中含量较高。根据回归曲线图可知(图 3)，交换性钙、镁分别与阳离子交换量呈一次与三次函数关系，均随阳离子交换量的增加而升高，与交换性酸总量呈三次和指数函数关系，均随交换性酸总量的增加而降低，这与铜仁市植烟土壤交换性钙、镁特征研究结果相同<sup>[25]</sup>。土壤交换性钙、镁含量降低的主要原因如下：重庆渝东北烟区多雨，土壤中的钙、镁易随雨水淋失；烤烟为重庆地区主要经济作物，常年连作导致烤烟持续吸收土壤中的钙、镁离子，成熟期收获，导致大量的盐基离子被带走，土壤中盐基离子未得到及时补充，出现一种交换性钙、镁输出大于投入的现象。土壤胶体带有负电荷，由于盐基离子的大量缺失，土壤胶体表面的盐基阳离子被致酸离子所替代，从而使交换性酸含量增加，土壤趋于酸化<sup>[26-27]</sup>。土壤 CEC 反映土壤吸持和供给可交换养分的能力，是衡量土壤肥力的重要指标<sup>[28]</sup>。由本研究可知，增加土壤中的交换性钙、镁含量一方面能显著升高土壤盐基离子含量，提高土壤的保水保肥能力，另一方面能够有效地治理土壤酸化问题。土壤交换性钙、镁含量受不同土壤属性的影响，因此可调节土壤 pH，适度控制有机质、碱解氮、有效磷含量，从而使交换性钙、镁与其他土壤属性指标处于适宜状态。

## 4 结论

1)重庆渝东北植烟土壤交换性钙、镁总体含量丰富，但仍有 28.30% 和 42.75% 的地区的土壤交换性钙、镁缺乏；在不同烤烟产区之间土壤交换性钙、镁含量存在显著差异，其中巫山县土壤交换性钙、镁平

均含量最高,丰都县最低;涪陵县与丰都县土壤交换性钙、镁缺乏最严重;丰都县土壤交换性钙含量最适宜烤烟种植,万州区土壤交换性镁含量最适宜。

2)母质是影响土壤交换性钙、镁含量的重要因素,与其他成土母质相比,二叠系泥灰岩发育形成的土壤交换性钙、镁含量较高,侏罗纪紫色砂岩含量最低。

3)1~2 mm 与<0.25 mm 粒径团聚体是引起土壤交换性钙、镁分异的关键因子,与土壤交换性钙、镁含量呈显著负相关,因此,应当促进粒径>2 mm 的土壤大团聚体的形成。

4)植烟土壤 pH、阳离子交换量与交换性钙、镁存在显著正相关关系,而土壤交换性酸总量与二者呈显著负相关,交换性钙、镁缺乏是引起烟田酸化的主要原因。因此,施用含钙、镁的物质,如牡蛎钾粉、硅钙钾镁肥,补充土壤交换性阳离子,对于改善烟田 pH 均有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 韦忠,沈方科,王蕾,等.施用钙镁对烤烟钾吸收、循环和含量的影响[J].中国烟草科学,2011,32(4):66-70.
- [2] 冯新维,黄莺,吴贵丽,等.不同钙浓度对烤烟生长及镁吸收的影响[J].作物杂志,2021(3):190-194.
- [3] 李玥,赖勇林,王军,等.不同养分缺乏对烤烟根系形态及营养生长的影响[J].中国烟草科学,2015,36(2):60-65.
- [4] 刘坤,周冀衡,李强,等.植烟土壤交换性钙镁含量及对烟叶钙镁含量的影响[J].西南农业学报,2017,30(9):2065-2070.
- [5] Zhang Y T, He X H, Liang H, et al. Long-term tobacco plantation induces soil acidification and soil base cation loss[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(6): 5442-5450.
- [6] 汪汉成,余婧,蔡刘体,等.温度、湿度、接菌量及 pH 对烟草青枯病菌致病力的影响[J].中国烟草科学,2017,38(5):8-12.
- [7] 李斌,梁洪波,王浩浩,等.山东烟田土壤交换性钙镁特征研究[J].中国烟草学报,2013,19(2):61-66.
- [8] 宋文静,孟霖,王程栋,等.贵州中部山区植烟土壤交换性钙镁含量分布特征[J].江苏农业科学,2015,43(3):334-337.
- [9] 许自成,黎妍妍,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.
- [10] 余小芬,李军营,韩小女,等.云南曲靖植烟土壤交换性钙、镁与关联土壤属性的特征研究[J].土壤,2019,51(6):1240-1245.
- [11] 杨剑虹,王成林,代亨林.土壤农化分析与环境监测[M].北京:中国大地出版社,2008.
- [12] 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.
- [13] 全国土壤普查办公室.中国土壤[M].北京:中国农业出版社,1998.
- [14] 韦建玉,黄崇峻,金亚波,等.重庆市主要烟区土壤肥力状况综合评价[J].西南大学学报(自然科学版),2019,41(11):30-36.
- [15] 李军,梁洪波,宛祥,等.烟田土壤养分状况及其与成土母质的关系研究[J].中国烟草科学,2013,34(3):21-25.
- [16] 龚雪蛟,秦琳,刘飞,等.有机类肥料对土壤养分含量的影响[J].应用生态学报,2020,31(4):1403-1416.
- [17] 朱洁,刘洪斌,徐宸.重庆烟区环境因子对土壤有机质含量的影响[J].烟草科技,2018,51(6):19-24,33.
- [18] 童灵,张雪,张思文,等.有机质和粒径对中国 4 类典型土壤镁吸附量的影响[J].中国农业大学学报,2021,26(6):150-158.
- [19] 徐加盼,李继洪,魏玉杰,等.不同母质类型发育土壤颗粒组成分形特征[J].土壤学报,2020,57(5):1197-1205.
- [20] 徐艳丽,段焰,刘芮,等.西南典型烟区水稳性团聚体组成对土壤理化特征的影响[J].中国烟草科学,2020,41(6):51-57.
- [21] 郭全恩,曹诗瑜,展宗冰,等.甘肃两种典型盐成土不同粒径土壤颗粒中盐分离子的分布特征[J].干旱地区农业研究,2021,39(5):216-221.
- [22] 曾路生,高岩,李俊良,等.寿光大棚土壤团聚体中交换性盐基离子组成与土壤团聚性关系[J].水土保持学报,2011,25(5):224-228,233.
- [23] Wright A L, Hons F M. Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequences[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(2): 507-513.
- [24] 李强,闫晨兵,田明慧,等.湘西植烟土壤 pH 时空变异及其主要驱动因素[J].植物营养与肥料学报,2019,25(10):1743-1751.
- [25] 刘杰,谭智勇,周兴华,等.铜仁市植烟土壤交换性钙镁空间分布特征及其影响因素分析[J].核农学报,2022,36(4):812-819.
- [26] 查宇璇,冉茂,周鑫斌.烟田土壤酸化原因及调控技术研究进展[J].土壤,2022,54(2):211-218.
- [27] 时仁勇,王昌军,闫静,等.武陵秦巴山区不同母质植烟土壤抗酸化性能研究[J/OL].土壤学报,2022:1-12.(2022-01-28).<https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.p.20220126.1724.004.html>.
- [28] Qaryouti M, Bani-Hani N, Abu-Sharar T M, et al. Effect of using raw waste water from food industry on soil fertility, cucumber and tomato growth, yield and fruit quality[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 193: 99-104.