

重庆市植烟土壤交换性镁含量时空特征及其影响因素^①

韦育新¹, 徐宸³, 周鑫斌^{2*}, 罗建钦¹, 韦建玉¹, 李承荣¹, 黄崇峻¹

(1 广西中烟工业有限责任公司, 南宁 530001; 2 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 3 中国烟草总公司重庆市公司涪陵分公司, 重庆涪陵 408107)

摘要: 通过大样本采样方法, 采集了重庆市 2 513 份植烟土壤, 应用传统统计学和地理统计学方法系统研究了土壤交换性镁时空分布特征及其影响因素。结果表明: 土壤交换性镁平均含量为 0.88 cmol/kg, 缺乏比例为 49.5%, 偏高比例为 37.3%, 适宜比例仅为 13.2%。土壤交换性镁含量在空间上呈现无规律的斑块状分布; 与 10 年前相比, 大部分植烟区县土壤交换性镁含量明显下降。土壤交换性镁含量具有中等强度的空间自相关性, 其空间变异主要受到交换性钙、有机质、pH 和土壤团聚体等指标的影响。重庆市烟区在指导镁肥施用时要注意其空间差异性, 对土壤的镁素进行差异化的分区管理, 可以通过含镁改良剂(如硅钙钾镁肥)调节土壤 pH、施用有机肥调节土壤理化性状从而达到调节土壤镁素供应能力, 该研究可为重庆市烟区土壤分区精准施用镁肥提供科学依据。

关键词: 重庆烟区; 土壤交换性镁; 空间分布; 影响因素

中图分类号: S572 文献标志码: A

Spatial-temporal Characteristics of Exchangeable Magnesium Content in Tobacco-growing Soils in Chongqing and Its Influencing Factors¹

WEI Yuxin¹, XU Chen³, ZHOU Xinbin^{2*}, LUO Jianqing¹, WEI Jianyu¹, LI Chengrong¹, HUANG Chongjun¹

(1 China Tobacco Guangxi Industry Co., Ltd., Nanning 530001, China; 2 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; 3 Fuling Branch of Chongqing Tobacco Company, China National Tobacco Corporation, Fuling, Chongqing 408107, China)

Abstract: Through the large sample sampling method, 2 513 tobacco-growing soil samples in Chongqing were collected. The spatio-temporal distribution characteristics of soil exchangeable magnesium (Mg) and its influencing factors were systematically studied by applying traditional statistics and geostatistics methods. The results showed that the average content of soil exchangeable Mg was 0.88 cmol/kg, with a deficiency rate of 49.5%, a high rate of 37.3%, and a suitable rate of only 13.2%. The content of soil exchangeable Mg showed an irregular patchy distribution in space. Compared with 10 years ago, the content of soil exchangeable Mg in most tobacco-growing counties has decreased significantly. The content of soil exchangeable Mg has a moderate degree of spatial autocorrelation, and its spatial variation was mainly affected by indicators such as exchangeable calcium (Ca), organic matter, pH and soil aggregates. In guiding the application of Mg fertilizer in the tobacco-growing areas of Chongqing, attention should be paid to its spatial differences, and differentiated regional management of soil Mg should be carried out. The supply capacity of soil Mg can be regulated by using Mg-containing amendments (such as silicon-calcium-potassium-magnesium fertilizer) to adjust soil pH and applying organic fertilizer to regulate soil physical and chemical properties. This study can provide a scientific basis for the precise application of magnesium fertilizer in different regions of the tobacco-growing areas in Chongqing.

Key words: Chongqing tobacco region; Soil exchangeable magnesium; Spatial distribution; Influencing factors

重庆是我国清甜醇润香品格烟叶的典型代表产地之一^[1], 其烟叶种植面积约为 2.7 万 hm², 主要分

布在武陵和秦巴山区。作为该山区的支柱产业, 烟叶种植对山区农民的脱贫致富有着重要的意义。镁作为

^①基金项目: 广西中烟工业有限责任公司重点项目(2023450000340060)资助。

* 通信作者(zxbissas@163.com)

作者简介: 韦育新(1976—), 男, 广西南宁人, 硕士, 高级农艺师, 主要从事植烟土壤肥力提升研究。E-mail: 13753047143@163.com

叶绿素的重要组成部分，决定了叶绿素的结构和功能，适量的镁肥可以提高烤烟叶片镁含量，增加叶片叶绿素含量和光合速率，明显改善烟叶的燃烧性、香气和余味，促进烟叶评吸质量^[2]。同时，提高烟叶镁含量能使烟叶品质指标如油分更充足，也使得烟叶燃烧性和香气指标更优，而镁过量和不足均会降低烟叶的燃烧性^[3]。

镁作为烤烟正常生长发育所必需的微量营养元素之一，参与烟株光合作用、碳水化合物代谢，如糖酵解、三羧酸循环等过程，土壤交换性镁与植物生长、产量和质量密切相关^[4]。我国南方高温多雨，土壤矿物易风化淋失，特别是山地红黄壤烟田的镁特别容易流失，供镁能力较弱，植烟土壤缺镁现象较为普遍，以往的研究主要集中在土壤镁素丰缺状况评价。如，谢榕榕等^[5]研究发现福建省烟区土壤酸化与缺镁现象较为突出，84.66% 的土壤处于镁缺乏或极缺乏状态。早在 2010 年，徐畅等^[6]调查得出，重庆市植烟区土壤普遍缺镁。潘金华等^[7]的研究表明，云南玉溪植烟区 23.5% 的土壤缺镁。2012 年，梁红^[8]调查发现，重庆植烟区土壤交换性镁偏低的占 40.3%。对于土壤镁有效性的影响因素研究表明，土壤 pH 升高，土壤交换性镁含量增加^[9]；土壤其他化学性质，如土壤有机质含量、碱解氮含量和可溶性盐浓度(EC 值)均可影响土壤交换性镁含量^[10]。王冰等^[11]研究表明，盐源县土壤交换性镁含量主要受前茬作物的影响。综上所述，土壤交换性镁含量丰缺状况可能与多种因素有关。

重庆烟区属于山区，人多地少，土壤连作年限大都超过 30 a，属于常年连作的老烟区，土壤退化问题特别是营养非均衡化现象突出。目前还没有针对重庆市植烟土壤交换性镁含量的系统分析报道，尤其是成土母质、土壤物理化学等因素如何影响土壤镁有效性的报道。因此，利用大样本数据系统调查了重庆植烟区土壤镁素状况和时空分布特点，重点研究了土壤交换性镁与土壤类型、成土母质、海拔高度、土壤团聚体等因素间关系，掌握土壤交换性镁空间分布特征和影响因素是实现烤烟镁素养分精准管理的前提，该研究可为重庆烟区科学施用镁肥及开发特色优质烟叶提供理论及实践支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

重庆市位于长江上游地区，地理位置 105°11'E ~ 110°11'E、28°10'N ~ 32°13'N，11 个区县种植烤烟，

主要分布在巫溪县、巫山县、奉节县、万州区、酉阳县、彭水县、黔江区、武隆区、丰都县、涪陵区和石柱县，属东亚季风区，雨热充足，年均日照时数 1 131 ~ 1 240 h，年平均气温 16 ~ 18 °C，年均降水量 1 000 ~ 1 500 mm，无霜期 290 ~ 312 d，为典型山地，植烟区海拔主要位于 800 ~ 1 300 m，垂直气候分布明显。重庆是我国中间香型优质烟叶的典型产区，风格特征为醇甜香型，大部分烟叶产区连作年限超 30 a，近些年烟田土壤连作障碍问题较凸显。烟区主要土壤类型为黄壤和黄棕壤，烤烟主栽品种为云烟 87。

1.2 植烟土壤样品采集

植烟土壤样品采集工作于 2021 年底至 2022 年初进行，依据重庆市植烟区气候条件、成土母质、地形地貌和土壤类型等因素基础上，划定了 2 513 个典型取样单元，每个单元面积约 6.7 hm²，在每个单元内选定代表性烟田，采用“梅花形”取样法取耕层(0 ~ 20 cm)多点混合土壤样品，再用四分法取混合样 1.5 kg，带回实验室放置在阴凉处自然风干，待风干后过筛，测定土壤理化性质。在采样的同时，通过田间 GPS 定位获得每个采样点的经纬度和海拔高度信息。

2023 年初，根据重庆市 11 个植烟区县地质条件，确定调查 26 个成土母质类型的地质地貌，并在每个植烟区县确定 10 个典型点，调查农业地质背景，包括土壤类型、土壤亚类和成土母质，并采集烟田表层土壤样品，测定其土壤理化性质。

1.3 土壤理化性质检测

土壤基本理化性状参照《土壤农化分析》^[12]进行测定。pH：1 : 2.5 土水质量比浸提-pH 计电位法；有机质：重铬酸钾外加热法；全氮：克氏消化法前处理，半微量凯氏定氮法；碱解氮：NaOH 浸提-碱解扩散法；有效磷：碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法；速效钾：NH₄Ac 浸提-火焰光度法；团聚体粒径分布：湿筛法；交换性钙：NH₄Cl-NH₄Ac 法；交换性镁：乙酸铵浸提-原子吸收分光光度法；有效铜、锌、铁、锰、钼、硼：DTPA 浸提-原子吸收分光光度法；有效氯：硝酸银滴定法；有效硫：磷酸盐浸提-硫酸钡比浊法；阳离子交换量：乙酰胺(pH 7.0)交换法。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2010、SPSS Statistics 25.0 和 Origin 2022 进行统计分析和图形制作，运用 ArcGIS 9.3 软件进行空间制图和空间自相关性分析。

2 结果

2.1 重庆植烟区土壤交换性镁含量统计特征

由表 1 可知,重庆植烟区土壤交换性镁缺乏比例达到 49.5%,偏高比例为 37.3%,适宜比例为 13.2%,含量缺乏和过量并存。在 11 个植烟区县中,万州平均值显著高于其他区县,达到 1.56 cmol/kg,比含量最低的武隆区高 97.47%;彭水县缺乏的比例最高,达到 63.5%;巫山县含量偏高的比例最大,达到 50%;万州含量适宜比例最高,达到 36.5%。

表 1 重庆植烟区土壤交换性镁含量分布频率
Table 1 Distribution frequency of exchangeable Mg content in tobacco-growing soils of Chongqing

植烟区	样本数	平均含量 (cmol/kg)	交换性镁含量(cmol/kg)分布频率(%)				
			极低 <0.5	较低 0.5~1.0	适宜 1.0~1.6	较高 1.6~3.2	极高 ≥3.2
涪陵	15	0.92	6.7	40.0	33.3	20.0	0.0
丰都	100	0.92	5.0	50.0	24.0	3.0	18.0
石柱	130	0.85	16.2	33.8	13.1	3.8	33.1
万州	112	1.56	6.3	18.8	36.5	28.6	9.8
巫山	364	0.81	7.4	37.1	5.5	50.0	0.0
黔江	210	0.80	16.7	45.7	10.5	27.1	0.0
酉阳	371	0.94	6.7	36.7	14.3	42.3	0.0
武隆	230	0.79	13.9	33.9	14.8	37.4	0.0
巫溪	202	0.84	12.4	36.1	13.9	37.6	0.0
彭水	480	0.80	10.6	52.9	9.8	26.7	0.0
奉节	299	0.87	7.0	33.8	13.7	45.5	0.0
重庆市	2 513	0.88	9.9	39.6	13.2	34.4	2.9

表 2 重庆植烟区土壤交换性镁半方差函数模型及其拟合参数
Table 2 Semi-variogram models and fitting parameters for exchangeable Mg in tobacco-growing soils of Chongqing

模型	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金效应 $C_0/(C_0+C)(\%)$	长轴变程 (km)	短轴变程 (km)	标准化平均误差 MSE	标准化均方根误差 RMSSE
指数模型	0.258	0.368	70.1	1.802	0.178	-0.000 3	0.801 25

土壤交换性镁含量的空间分布特征见图 1,在空间上的分布主要呈现连片和斑块状镶嵌并存的现象。镁含量较低区域占很大比例,在渝东南和渝东北烟区均有较低区域存在;极低区域出现在渝东北烟区;而镁含量较高区域只出现在万州一带。由图 2 可见,从 2002 年到 2021 年,大部分植烟区县土壤交换性镁含量呈现先升高后降低的趋势,仅奉节烟区呈持续增加趋势。

2.3 成土母质和土壤类型对土壤交换性镁的影响

由图 3A 可知,不同土壤类型的土壤交换性镁含量之间差异不显著,在 5 大土类中,新积土的交换性镁含量较高,为 1.04 cmol/kg,处于适宜水平;紫色土、黄壤、石灰(岩)土和潮土的交换性镁含量分别为

2.2 重庆植烟区土壤交换性镁地统计学特征

表 2 列出了土壤交换性镁半方差函数模型及其拟合参数,经过不同模型的拟合和精度验证,得到最优拟合模型为指数模型。从表 2 可以看出,交换性镁的标准化平均误差接近于 0,标准化均方根误差接近于 1,说明所选择的理论模型能够相对准确地反映土壤中量元素空间结构特性。块金效应为 70.1%,说明土壤交换性镁的空间自相关程度中等,其变异受到多种因素的影响。

0.89、0.86、0.86 和 0.83 cmol/kg,处于较低水平。由图 3B 可知,在 7 个土壤亚类中,冲积土的土壤交换性镁含量为 1.04 cmol/kg,处于适宜水平;其余亚类均为较低及以下水平,尤其是灰潮土,交换性镁含量仅为 0.83 cmol/kg。由图 3C 可知,在 5 类主要母岩母质中,由砂岩发育形成的土壤交换性镁含量最高,为 1.42 cmol/kg,处于适宜水平;由紫色岩发育而来的土壤交换性镁含量为 0.57 cmol/kg,处于较低水平。

2.4 海拔高度对土壤交换性镁的影响

植烟土壤取样点的海拔范围为 100 ~ 1 700 m,海拔跨度较大。由图 4 可知,随着海拔的增高,土壤交换镁含量有降低趋势,海拔高于 1 100 m 的植烟土壤交换性镁含量有明显的降低趋势,在海拔

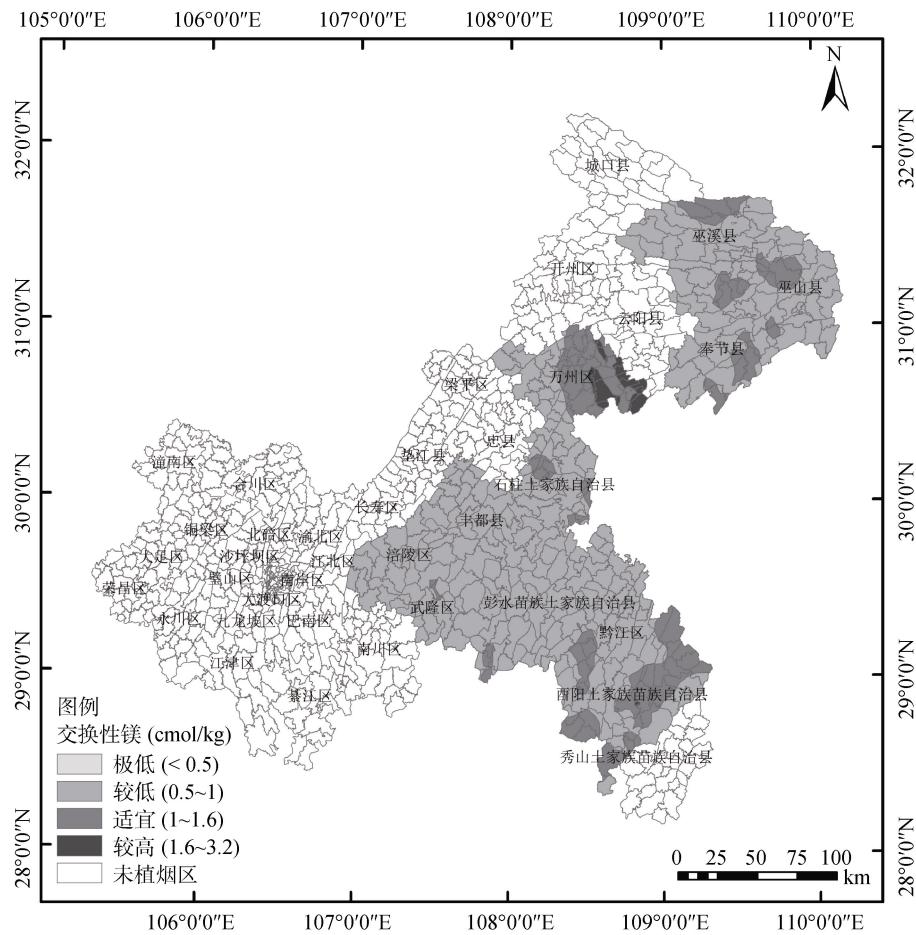


图 1 重庆植烟区土壤交换性镁含量分布图

Fig. 1 Distribution of exchangeable Mg content in tobacco-growing soils of Chongqing

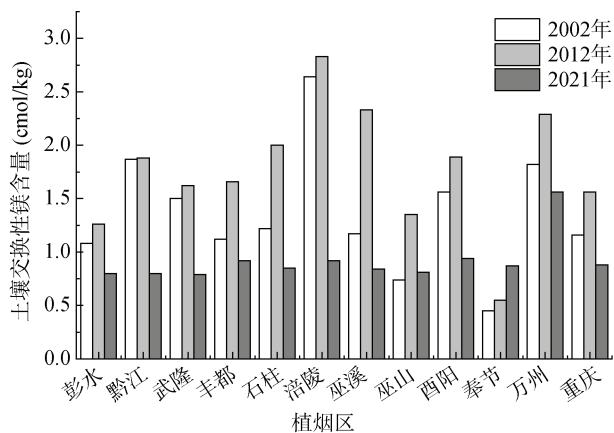


图 2 重庆植烟区土壤交换性镁含量近 20 年变化

Fig. 2 Changes in exchangeable Mg in tobacco-growing soils of Chongqing in the past 20 years

>1 500 m 时植烟土壤交换性镁含量为 0.70 cmol/kg。5 个海拔组的土壤交换性镁平均含量均处于缺乏状态, 表明海拔是影响植烟土壤交换性镁含量的一个重要因素。

采用逐步回归分析方法定量评估各土壤理化性

质对交换性镁含量空间变异的解释能力。从表 3 看出, 交换性钙对交换性镁空间变异的影响最显著, 能够独立解释其变异的 19.9%; 交换性钙、有机质、阳离子交换量、有效钼、大团聚体、pH、速效钾和碱解氮, 对交换性镁的累积解释能力达 29.3%。

土壤交换性镁与其他理化性质指标的拟合曲线如图5。从图5可以看出,交换性镁与交换性钙和pH呈显著的S型曲线关系,且拟合度相对较好;与有机质、大团聚体含量和碱解氮呈显著的三次函数关系;与阳离子交换量和速效钾分别呈二次函数和指数函数关系;所有曲线方程均具有统计学意义($P<0.05$)。

2.5 不同粒径土壤团聚体对土壤交换性镁、有机质和 pH 的冗余分析

以土壤交换性镁、土壤 pH 和土壤有机质作为响应因子,以土壤团聚体粒径分级作为解释因子进行冗余分析(图 6)。冗余分析显示土壤 pH、有机质和团聚体解释了土壤交换性镁 95.04% 的变异,其中第一轴和第二轴的解释百分比分别为 66.73% 和 28.31%。从图 6 中可以看出, <0.25 、 $0.25 \sim 0.5$ 和 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$

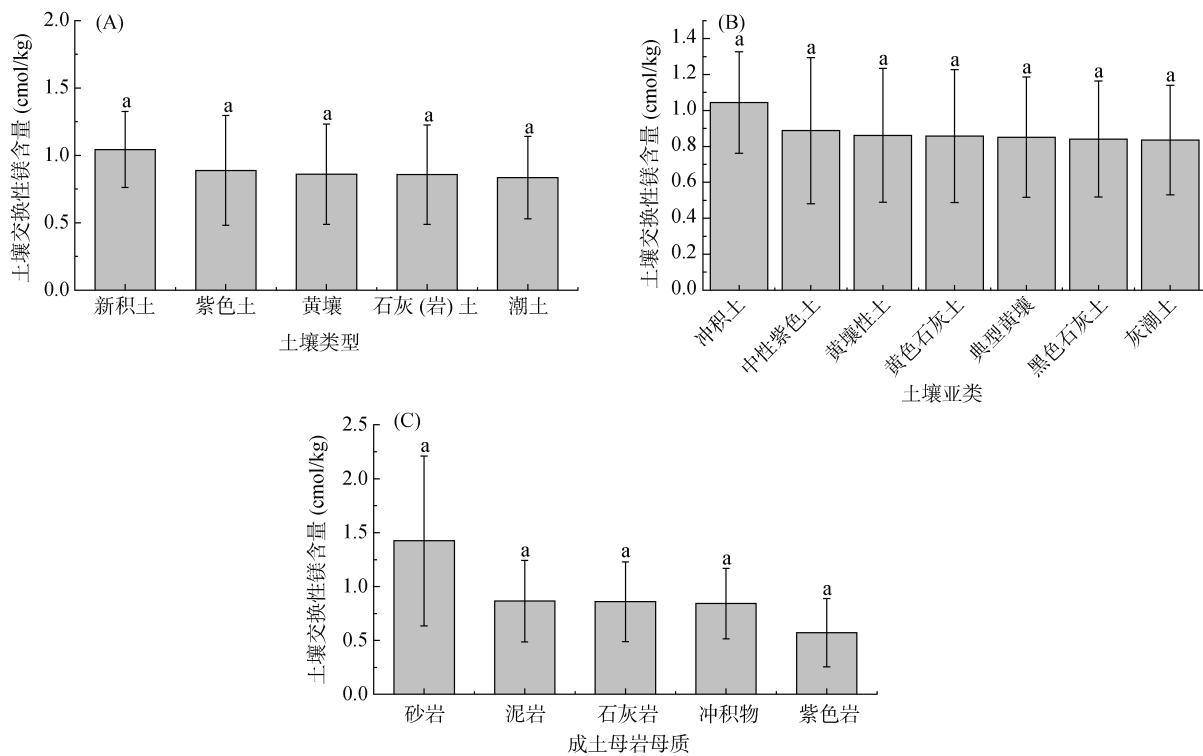
(图中小写字母相同表示差异不显著($P>0.05$),下同)

图 3 不同土壤类型(A)、土壤亚类(B)、成土母岩母质(C)对土壤交换性镁含量的影响
 Fig. 3 Soil exchangeable Mg contents under different soil groups (A), subgroups (B) and parent materials (C)

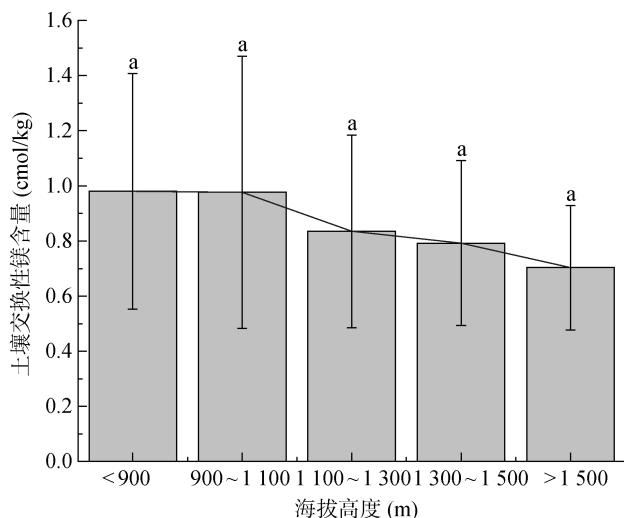


图 4 海拔高度对土壤交换性镁含量的影响
 Fig. 4 Effect of altitude on soil exchangeable Mg content

粒径团聚体对土壤交换性镁的影响较大($P<0.01$)。
 $>5\text{ mm}$ 粒径团聚体与土壤交换性镁表现为极显著正相关关系($P<0.01$)。

3 讨论

3.1 土壤交换性镁时空变异特征

重庆植烟区土壤缺镁较为严重, 缺镁比例达到

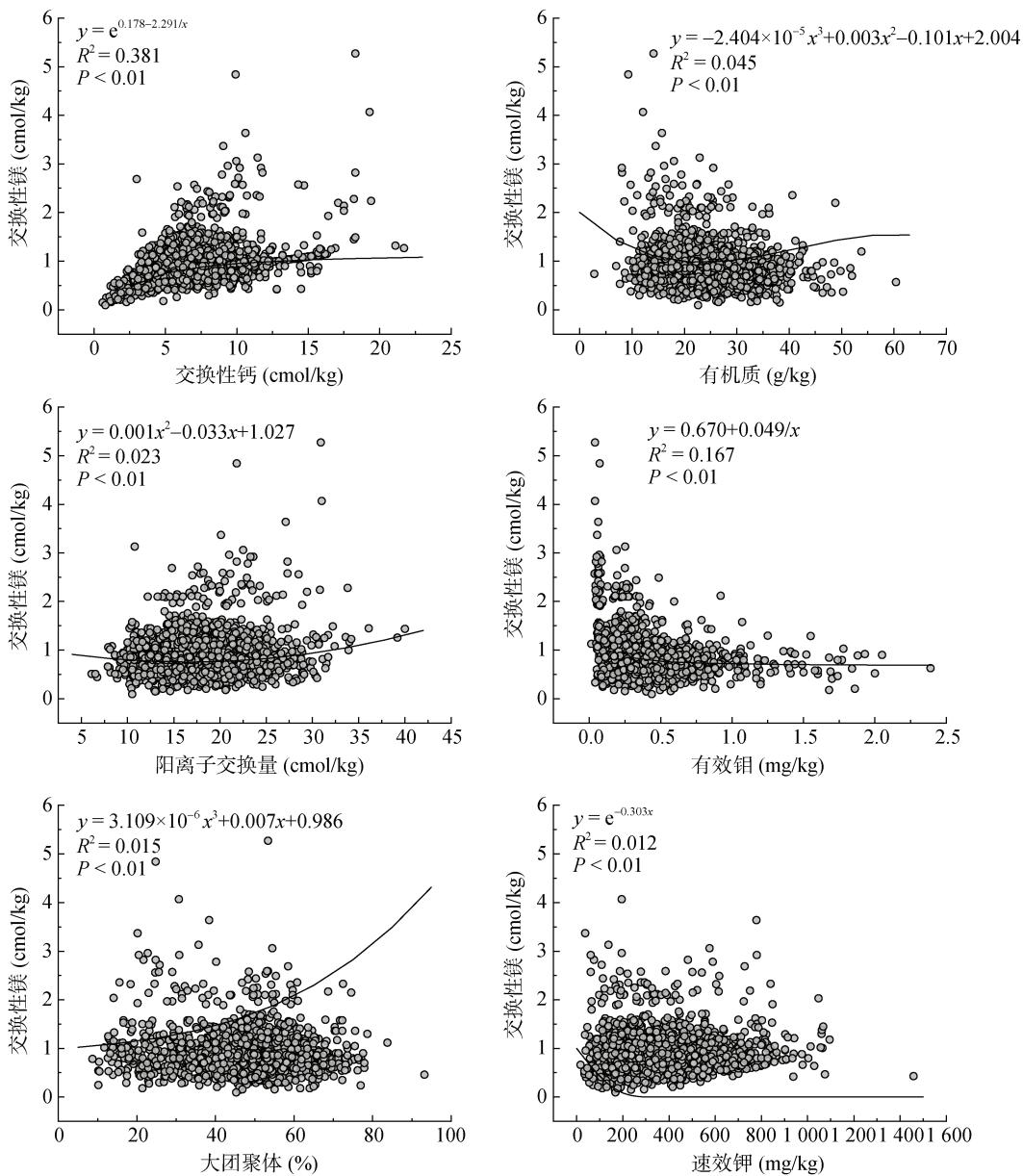
49.5%, 但也存在 37.3% 的烟区镁含量偏高(表 1), 在空间分布上呈现斑块状分布(图 1)。近 10 a 来年, 重庆植烟区土壤交换性镁含量显著下降, 这需要引起高度重视。适量镁肥($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 244.9 kg/ hm^2)施用在增加烤烟产量的同时, 也提升了烟叶品质^[6]。因此, 对于缺镁区域, 实行分区分类施用镁肥^[13], 这对重庆的优质烟叶可持续生产具有非常重要的指导意义。

3.2 土壤其他理化属性对交换性镁含量的影响

土壤镁的有效性受到多种因素的影响, 如成土母质、土壤类型、海拔高度、降水淋洗、地形地貌和土壤化学因素等^[14-15]。pH 是影响土壤镁素有效性的一个重要因素, 研究已证实, 植烟土壤 pH 与交换性镁存在显著正相关关系^[9, 15, 26], pH 低的土壤中 H^+ 和 Al^{3+} 与交换性 Mg^{2+} 竞争吸附位点, 在酸性条件下, H^+ 易进入层间与 Mg^{2+} 发生交换使之释放, Mg^{2+} 更易淋失, 土壤交换性镁含量降低, 镁素在酸性土壤中具有较强的迁移能力并极易淋失, 尤其是质地较轻的黄壤和紫色土^[20]。重庆市烟田以黄壤为主, 植烟区土壤酸化情况较为严重, 35.1% 的植烟土壤呈偏酸性^[28]。查宇璇等人^[16]研究证实, 每年植烟土壤钾、钙、镁等盐基阳离子的输出量远大于输入量, 是引起

表 3 土壤交换性镁与其他理化属性的逐步回归分析
Table 3 Stepwise regression analysis for various soil factors related to exchangeable Mg

回归模型	变量	r	R^2	调整后 R^2
模型 1	交换性钙	0.447	0.200	0.199
模型 2	交换性钙, 有机质	0.479	0.229	0.229
模型 3	交换性钙, 有机质, 阳离子交换量	0.515	0.265	0.264
模型 4	交换性钙, 有机质, 阳离子交换量, 有效钼	0.524	0.274	0.273
模型 5	交换性钙, 有机质, 阳离子交换量, 有效钼, 大团聚体	0.531	0.282	0.28
模型 6	交换性钙, 有机质, 阳离子交换量, 有效钼, 大团聚体, pH	0.537	0.288	0.286
模型 7	交换性钙, 有机质, 阳离子交换量, 有效钼, 大团聚体, pH, 速效钾	0.542	0.293	0.291
模型 8	交换性钙, 有机质, 阳离子交换量, 有效钼, 大团聚体, pH, 速效钾, 碱解氮	0.543	0.295	0.293



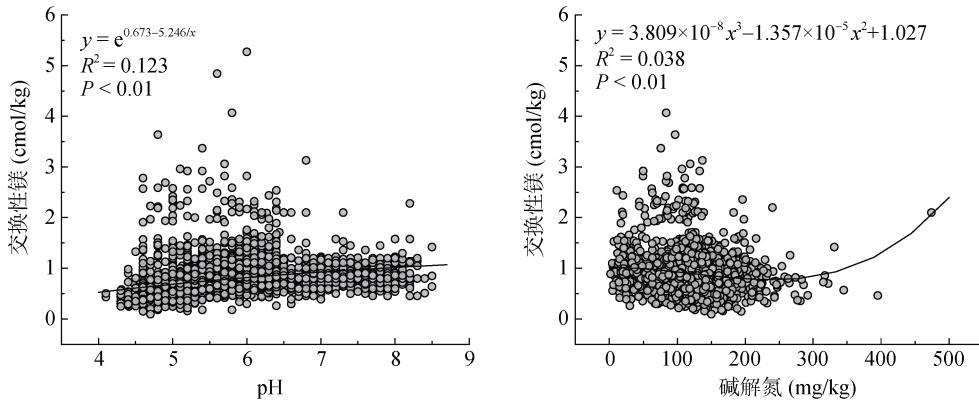


图 5 土壤交换性镁与其他理化性质的相关性
Fig. 5 Correlations between soil exchangeable Mg with other physiochemical properties

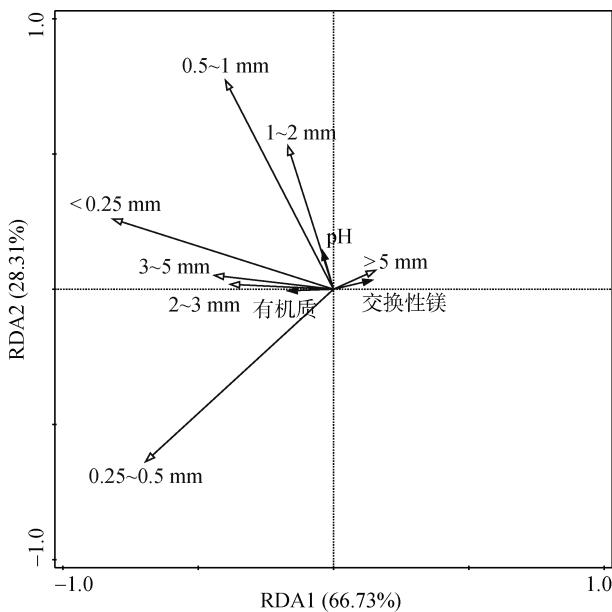


图 6 不同粒径土壤团聚体对土壤交换性镁、有机质和 pH 的冗余分析
Fig. 6 Redundancy analysis on soil aggregates with different sizes and soil exchangeable Mg content, organic matter, and pH

烟田土壤酸化的主要原因。这也就说明, 土壤钙镁等盐基阳离子缺失引起植烟土壤酸化, 土壤酸化加重了 Mg^{2+} 流失, 形成了恶性循环。所以, 必须对酸化烟田进行有针对性改良, 对于酸性植烟土壤施用硅钙钾镁肥应该是一个“一举多得”的措施, 但需要进一步加强试验研究硅钙钾镁肥对酸性植烟土壤交换性镁含量和烟叶质量协同提升效应与机制。

本研究发现, 发育于砂岩母质的土壤交换性镁含量较高, 而发育于紫色岩母质的土壤交换性镁含量较低(图 3)。从图 3 还可以看出, 新积土的交换性镁含量相对较高, 而黄壤、石灰(岩)土和潮土的交换性镁含量相对较低, 表明土壤类型是影响土壤镁含量的一

个重要因素。李斌等^[28]的研究结果也表明由石灰岩母质发育的耕层土其镁含量大于由砂页岩母质和花岗岩母质发育的土壤。成土母质影响土壤交换性镁含量的主要原因: 一方面, 与土壤对镁的固持和雨水对镁的淋洗二者的平衡效应有关, 如紫色土本身 CEC 较大, 交替吸附位点多, 土壤对镁的固持力相对较强^[20]; 另一方面, 以蒙脱石、绿泥石为主的土壤矿物含有较多的镁, 也可释放更多的 Mg^{2+} , 相比之下, 以高岭石组成的母质释放的 Mg^{2+} 较少^[21]; 此外, 土壤中的黏粒和砂粒含量也会对交换性镁含量产生一定影响, 由石灰岩和泥灰岩发育的土壤通常含有较多的黏粒, 而由花岗岩母质、石灰性紫色砂页岩和砂岩母质发育的土壤, 含有较多的砂粒, 保肥能力相对较差, 养分含量较低^[22]。

土壤有机质能影响土壤对镁的吸附能力, 研究表明有机质含量增加, 土壤对镁的吸附力增加, 降低其植物可利用性^[19]。其原因主要为: ①土壤有机质通常带有大量的负电荷, 会增加土壤颗粒表面的负电荷, 导致 Mg^{2+} 与土壤表面的范德华力增加, 从而被吸附在土壤胶体上, 导致土壤交换性镁含量降低^[21]; ②有机质本身具有大量不同的功能基团和较大的表面积, 可通过表面络合和表面沉淀 2 种方式增强土壤对镁的吸附能力, 从而降低土壤交换镁含量^[19, 22-24]。

重庆植烟区土壤交换性镁含量随时间演变呈先上升后下降的趋势, 目前已降低到 20 a 前的水平(图 2), 有以下两点特别需要注意: ①20 a 前重庆烟区发现交换性镁低, 开始补镁, 镁含量提高; 但近 10 a 重庆烟草生产补镁的呼声又减弱了, 生产上又不重视补镁, 镁含量显著降低; ②钾镁之间存在拮抗关系, 近些年大部分烟田钾含量处于较高水平, 钾含量的增加抑制了烟株对镁的吸收。潘金华等人^[7]证实, 土壤

速效钾和有效镁存在交互效应,土壤钾镁交互对烤烟糖分的积累产生显著影响,提升土壤有效镁含量可以显著提升烟叶香气量。在烟叶生产中需要关注钾肥和镁肥的施加,尤其是以钾肥来定镁肥的施用量,同时兼顾土壤类型和其他肥料的施用量。烤烟镁含量与海拔高度呈负相关,随着海拔增加,烤烟镁含量表现为下降趋势(图 4),这与其他研究结果相似^[19]。重庆烟区大部分为山地地形,地形地貌复杂导致区域内交换性镁含量分布差异较大^[7]。因此,在高海拔烟区的田间管理中,应更加注重镁肥的施用。

3.3 团聚体粒径分布对土壤交换性镁含量的贡献率

本研究结果表明,<0.25、0.25~0.5 和 0.5~1 mm 的团粒结构是影响土壤交换性镁含量的重要因素(图 6)。郝尚妍等^[15]研究得出,>0.25 mm 的大团聚体决定了土壤中盐基离子贡献率的 88%~90%,这种团粒结构具有协调土壤养分供应和积累、保水与供水,以及协调土壤空气、稳定低温等功能,对土壤肥力的维持起着重要的作用。土壤团聚体结构和化学性质影响着土壤生态系统营养元素的生物地球化学循环过程,决定着土壤镁的赋存和释放,全量镁随着微团聚体粒级的增大而降低^[25]。本研究表明,交换性钙、有机质、阳离子交换量、有效钼、大团聚体、pH、速效钾和碱解氮对交换性镁的累积解释能力达 29.3%(表 3),说明烟田土壤交换性镁还受其他多因素的共同影响。今后在生产实践和科学实践中,需要考虑上述多因素对土壤交换性镁的交互效应,这将有助于更全面地理解土壤交换性镁的影响因子,从而为未来的生产实践应用和科学研究提供更加明确的方向。

综上,根据重庆市各区县烟田土壤交换性镁空间分布特征和影响因素,可以为不同地区采取差异化的镁肥管理方案。对于土壤交换性镁缺乏的耕地,可以采取增施有机肥、调节土壤 pH、施用腐殖酸调节土壤团粒结构以及适当补充镁肥等措施,以改善土壤的理化特性和土壤微生物活性,提高耕地土壤交换性镁含量。

4 结论

1) 重庆植烟区土壤交换性镁含量总体上适宜比例仅占 13.2%,缺乏和偏高比例分别占 49.5% 和 37.3%。不同烟区土壤交换性镁含量存在明显差异,在空间分布上表现为无规律的斑块状分布。与 10 a 前相比,大部分植烟区县土壤交换性镁含量显著下降。

2) 土壤交换性镁的空间分布具有中等程度的空

间自相关性,其空间变异性受交换性钙、有机质和土壤水稳定性团聚体等多种因素的影响。

3) 烟叶生产中特别需要关注镁肥施用,施用时注意其空间异质性,对土壤的镁素进行科学的分区管理,注意调节土壤 pH、施用有机肥调节土壤理化性状从而达到调节土壤镁素供应能力。

参考文献:

- [1] 罗登山,王兵,乔学义.《全国烤烟烟叶香型风格区划》解析[J].中国烟草学报,2019,25(4):1~9.
- [2] 徐茜,陈爱国,戴培刚,等.镁肥合理施用对烤烟生长及产质量的影响[J].中国烟草科学,2011,32(2):33~37.
- [3] 胡国松,郑伟,王震东,等.烤烟营养原理[M].北京:科学出版社,2000.
- [4] 韩锦峰.烟草栽培生理[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [5] 谢榕榕,雷仁清,邹珊瑚,等.福建省烟区土壤交换性镁的空间分布与酸化现状研究[J].中国土壤与肥料,2023(2):25~32.
- [6] 徐畅,高明,谢德体,等.重庆市植烟区土壤镁素含量状况及施镁效应研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):449~456.
- [7] 潘金华,王美艳,史学正,等.玉溪烟区土壤钾镁交互作用对烤烟化学及感官品质的影响[J].土壤,2022,54(3):490~497.
- [8] 梁红.重庆植烟土壤肥力特征及评价[D].重庆:西南大学,2014.
- [9] 候玲利,陈磊,郭雅玲,等.福建省铁观音茶园土壤镁素状况研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(1):133~138.
- [10] 丁玉川,焦晓燕,聂督,等.山西农田土壤交换性镁含量、分布特征及其与土壤化学性质的关系[J].自然资源学报,2012,27(2):311~321.
- [11] 王冰,冯浪,李启权,等.盐源县植烟土壤交换性钙镁空间变异特征及其影响因素[J].烟草科技,2017,50(10):8~15.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3 版.北京:中国农业出版社,2000.
- [13] 张忠启,祝亮,王美艳,等.基于土壤钙镁比的毕节植烟区镁肥施用分区研究[J].土壤学报,2023,60(6):1737~1748.
- [14] 胡国松,杨林波,魏巍,等.海拔高度、品种和某些栽培措施对烤烟香吃味的影响[J].中国烟草科学,2000,21(3):9~13.
- [15] 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[J].土壤,2023,55(2):288~294.
- [16] 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.
- [17] 冀建华,李絮花,刘秀梅,等.硅钙钾镁肥对南方稻田土壤酸性和盐基离子动态变化的影响[J].应用生态学报,2019,30(2):583~592.
- [18] 赵学强,潘贤章,马海艺,等.中国酸性土壤利用的科

- 学问题与策略[J]. 土壤学报, 2023, 60(5): 1248–1263.
- [19] 李强, 周冀衡, 刘晓颖, 等. 曲靖烤烟镁含量特征及其影响因素[J]. 土壤, 2017, 49(3): 565–571.
- [20] 李丹萍, 刘敦一, 张白鸽, 等. 不同镁肥在中国南方三种缺镁土壤中的迁移和淋洗特征[J]. 土壤学报, 2018, 55(6): 1513–1524.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 崔桂芳, 关连珠, 孙琳, 等. 有机质含量对棕壤表面电荷及 NH_4^+ 的吸附解吸特性的影响[J]. 土壤肥料, 2006, (1): 17–20.
- [24] 王龙, 王子芳, 金昆, 等. pH 和有机质对三种不同土壤镁吸附特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2009, 31(7): 150–155.
- [25] 汪景宽, 于树, 李丛, 等. 不同肥力土壤各级微团聚体中主要营养元素含量的变化[J]. 水土保持学报, 2007, 21(6): 122–125.
- [26] 李强, 同晨兵, 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.
- [27] 代先强, 周嵘, 周鑫斌, 等. 重庆市植烟土壤质量评价指标体系的构建与应用[J]. 土壤, 2024, 56(2): 388–397.
- [28] 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.