

曲靖烤烟镁含量特征及其影响因素^①

李强^{1,2}, 周冀衡², 刘晓颖², 张一扬^{2*}, 王瑞宝³, 杨应明⁴, 程昌新⁴, 刘华林³, 刘浩⁴

(1 湖南农业大学食品科学技术学院, 长沙 410128; 2 湖南农业大学烟草研究院, 长沙 410128; 3 云南省烟草公司曲靖市公司, 云南曲靖 655000; 4 红云红河烟草(集团)有限责任公司, 昆明 650231)

摘要:为研究曲靖烤烟镁含量特征及其影响因素,在曲靖烟区采集烤烟样品 3 506 个,采用决策树分析、回归分析等方法研究了曲靖烤烟镁含量特征及其主要影响因素。结果表明:曲靖烟区烤烟镁含量平均为 4.10 g/kg,且变幅较大(0.36~17.70 g/kg),有 46.36% 面积的烟叶镁含量<4 g/kg,镁含量在县域间差异达极显著水平,海拔高度、土壤类型、质地及有机质、速效钾、有效镁、有效钙含量均影响烤烟镁含量。烤烟镁含量与海拔高度呈良好的线性关系($R^2=0.720$, $P=0.000$),随海拔增加,烤烟镁含量表现为下降的趋势。土壤质地黏性增加,烤烟镁含量呈下降的趋势;烤烟镁含量在不同土壤类型间差异达极显著水平,最高的是紫色土(4.98 g/kg),最低的是红壤(3.82 g/kg);随土壤有机质含量增加,烤烟镁含量表现为逐渐下降的趋势;随土壤有效镁和速效钾含量增加,烤烟镁含量表现为逐渐增加的趋势;随土壤有效钙含量增加,烤烟镁含量呈先升高后下降的趋势,土壤有效钙含量 2 000 mg/kg 左右时,烤烟镁含量达峰值;随着土壤钙镁比和钾镁比升高,烤烟镁含量呈减速下降的趋势。

关键词:烤烟; 镁含量; 影响因素; 曲靖

中图分类号: S572 **文献标识码:** A

镁是叶绿素的组成成分,是叶绿素中唯一的金属原子,在碳水化合物、蛋白质、脂肪和类脂合成中发挥重要作用^[1]。镁还是多种酶的强激活剂,光合作用、糖酵解、三羧酸循环、呼吸作用、硫酸盐还原、ATP 转移等过程中有 20 多种酶需要镁激活^[1]。适量的镁能提高烟叶的产量,增加水溶性碳水化合物含量,降低蛋白质及烟碱含量,并可改善烟叶的光泽、油分和弹性^[1];此外镁还具有一定的助燃能力,适量的镁能促使烟叶燃烧完全,对烟灰有一定的凝结作用,但镁过量会降低烟叶燃烧性^[1]。而我国土壤特别是南方红壤区域缺镁较为严重^[2],白由路等^[3]研究表明我国土壤有效镁处于严重缺乏或缺乏状态的土壤面积占 21%,有效镁含量较低的区域主要包括福建、江西、广东、广西、贵州和湖北。徐畅等^[4]研究表明,重庆烟区不同类型的植烟土壤镁缺乏均较严重,烟区 50% 以上的土壤处于缺镁的状态。张国等^[5]研究表明,湖南植烟土壤的交换性镁含量平均为 1.317 cmol/kg,约 40% 的土壤存在着不同程度的缺镁,烟叶镁含量均值为 0.378%,有 66.3% 的烟叶缺镁。

王世济等^[6]研究表明皖南烟区有 74% 的土壤镁含量中等至偏低,76% 的烟叶样品轻度至严重缺镁。有关影响植物镁素营养状况的研究也有较多报道,如陈竹君等^[7]研究了番茄营养状况与土壤盐分组成及离子活度的关系,发现盐分累积及土壤钾和钙的富集对植物吸收 Mg^{2+} 的拮抗作用是石灰性土壤上番茄缺镁的主要诱因。曲靖是中国最大的烟区,年均种植烤烟 8.67×10^4 hm^2 左右,年产烟叶 1.8×10^5 t,其烤烟镁含量特征的系统分析,特别是烤烟镁含量的空间及其影响因素的研究却未见报道。为探明烟区烤烟镁素营养状况,为当地烤烟镁素营养管理提供理论依据,本文对曲靖烤烟镁含量的分布情况进行深入分析,并解析影响区域烤烟镁含量的主要因子,以为曲靖烟区优质烟叶生产提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 区域自然概况

曲靖市地处珠江源头,云贵高原中部,位于 $102^\circ 42' \sim 104^\circ 49' E$, $24^\circ 21' \sim 27^\circ 04' N$,东西宽 103 km,南北

基金项目:云南省烟草公司项目(2014YN24)和红云红河烟草集团项目(HYHH2012YL03, HYHH2016YL03)资助。

* 通讯作者(cnhncs@163.com)

作者简介:李强(1982—),男,江苏仪征人,博士,讲师,研究方向为烟草科学与工程技术和农业可持续发展。E-mail: zqiangli@126.com

长 302 km, 总面积 28 904 km²。曲靖市处于低纬度高原亚热带季风气候区, 冬春季受大陆季风影响, 夏秋季受海洋季风影响, 光照充足, 气候温和, 雨量充沛。曲靖市基本烟田面积 317 万亩(1 亩 = 667 m²), 是全国最大的烟叶生产基地, 植烟土壤以红壤、紫色土、水稻、新积土和黄壤为主, 主要分布于海拔 1 800 ~ 2 100 m 范围。总体上, 曲靖市地域辽阔, 水丰土沃, 气候资源和土壤资源都较适宜优质烟叶的生产。

1.2 样品采集和分析

采用 GPS 定位技术在曲靖基本烟田选取定位田块, 入选的田块均在 667 m² 以上, 共定 3 506 个定位取样点。土壤样品在烤烟翻耕前采集, 用手持式 GPS 定位仪进行定位, 记录田块中心的经纬度和高程, 根据田块形状采用五点取样法或“W”形取样法进行取样, 确保每个田块 5 个样点以上, 取样深度 0 ~ 20 cm, 用四分法取约 1 kg 土样带回实验室, 共采集土壤样品 3 506 份。烟叶样品在中部叶烘烤结束后采集, 每个植烟村采集样品 2 ~ 5 个, 采用定叶位取样法, 由专职评级人员按照“GB2635—1992”烤烟标准进行取样, 共采集 C3F 烟叶样品 3 506 份, 每份取样 3 kg, 将采集的烟叶样品粉碎, 过 60 目筛, 备用。

土壤速效钾采用火焰光度法测定, 有效钙和有效镁采用原子吸收分光光度法测定, 土壤 pH 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^[8]; 烟叶镁含量采用原子吸收分光光度法测定^[9]。

1.3 数据分析

描述性统计、方差分析、多重比较、决策树分析、K-S 检验(Kolmogorov-Smirnov test)利用 SPSS17.0 软件完成^[10]。地统计分析的实验半方差函数的计算和理论模型拟合在 GS+9.0 中完成^[11], Kriging 插值和绘图采用 ArcGIS10.22 软件实现^[12]。

2 结果与分析

2.1 曲靖烤烟镁含量状况

2.1.1 烤烟镁含量总体分布 根据相关文献[1,5]制定的烤烟镁含量分级标准, 将烤烟镁含量 4 g/kg 的样品定为适宜, 2 ~ 4 g/kg 定为轻度缺镁, < 2 g/kg 定为重度缺镁。曲靖烤烟镁含量分布如表 1 所示, 镁含量均值为 4.10 g/kg, 为适宜值下限, 变幅为 0.36 ~ 17.70 g/kg, 变异系数为 47.80%, 属中等变异, 经 K-S 检验, 镁含量分布不符合正态分布, 但符合对数正态分布。曲靖烤烟镁含量缺乏的样本占 55.79%, 其中重度缺乏的样本占 10.58%, 镁含量处于适宜范围的样本仅占 44.21%。总体上曲靖烤烟镁含量偏低。

表 1 曲靖烤烟镁含量基本统计特征
Table 1 Mg contents in flue-cured tobacco leaves in Qujing

县市	样品数	平均值±标准差(g/kg)	变异系数(%)	变幅(g/kg)	烤烟镁含量分布频率(%)		
					<2	[2,4)	4
师宗	241	5.83 ± 1.69 Aa	29.05	2.50 ~ 11.50	0.00	17.43	82.57
会泽	474	5.32 ± 2.17 Bb	40.68	1.03 ~ 13.78	1.90	27.85	70.25
罗平	369	4.34 ± 1.76 Cc	40.62	1.40 ~ 12.20	2.44	47.43	50.14
麒麟	245	4.07 ± 1.77 CDcd	43.57	1.47 ~ 11.86	6.53	51.43	42.04
沾益	318	3.84 ± 1.59 Dd	41.40	0.54 ~ 9.12	9.43	48.43	42.14
富源	550	3.69 ± 1.43 Dde	38.80	0.77 ~ 12.10	9.27	59.64	31.09
陆良	335	3.57 ± 1.63 DEde	45.69	0.36 ~ 10.12	10.45	60.30	29.25
宣威	736	3.55 ± 2.17 DEe	61.16	0.60 ~ 17.70	26.49	36.96	36.55
马龙	238	3.27 ± 1.13 Ef	34.55	0.98 ~ 7.01	10.92	64.71	24.37
全市	3 506	4.10 ± 1.96	47.80	0.36 ~ 17.70	10.58	45.21	44.21

注: 同列中不同大写字母表示差异极显著($P < 0.01$), 不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$), 下同。

2.1.2 不同植烟县烤烟镁含量分布 9 个植烟县烤烟镁含量均为中等程度变异, 镁含量均值在 3.27 ~ 5.83 g/kg, 最低的是马龙县, 最高的是师宗县, 其中师宗、会泽、罗平和麒麟等县区为适宜水平, 沾益、富源、陆良、宣威和马龙为轻度缺乏。方差分析结果表明, 不同植烟县烤烟镁含量差异达极显著水平($\text{sig.} = 0.000$), 进一步多重比较发现师宗县和会泽县

烤烟镁含量极显著高于其他植烟县, 且两县之间烤烟镁含量差异达极显著水平, 其他各县烤烟镁含量也存在显著或极显著差异。各县烤烟镁含量适宜样本比例差异较大, 在 24.37% ~ 82.57%, 各县烤烟镁含量适宜比例从高到底依次为: 师宗、会泽、罗平、沾益、麒麟、宣威、富源、陆良和马龙, 和烤烟镁含量平均值高低的规律基本一致。

2.1.3 烤烟镁含量空间分布 为了掌握烤烟镁含量的地理分布格局,首先采用半方差函数模型对区域烤烟镁含量的空间结构特征进行拟合,通过对不同模型的决定系数和残差平方和的比较,确定指数模型为镁含量的最优半方差函数模型,并获得其相关参数(表 2),模型决定系数(R^2)为 0.813,表明选取的模型具有很高的拟合精度,能够很好地反映烤烟镁含量的空间结构特征^[13-14]。然后利用得到的半方差函数模

型,采用克里格插值法获得曲靖烤烟镁含量的空间分布图(图 1),RMSSE 接近于 1,MSE 接近于 0,表明插值精度较高。进一步利用 ArcGIS 软件中的面积统计模块对分布图各等级的面积进行统计,面积最大的是“适宜”等级,占全市面积的 53.64%,主要分布在北部和南部,其次是“轻度缺乏”等级,占全市面积的 44.73%,主要分布在中部区域,最后是“重度缺乏”等级,占全市面积的 1.63%,主要分布在宣威市。

表 2 烤烟镁含量半方差函数模型及其插值精度
Table 2 Semi-variogram model of Mg content in flue-cured tobacco leaves and interpolation accuracy

指标	模型	块金值	基台值	块金效应(%)	变程(km)	决定系数	插值精度	
							RMSSE	MSE
镁含量	高斯模型	0.023 1	0.035 9	64.35	0.78	0.813	0.970	-0.005

注：表中 RMSSE 为标准化均方根误差；MSE 为标准化平均误差； $n=3\ 506$ 。

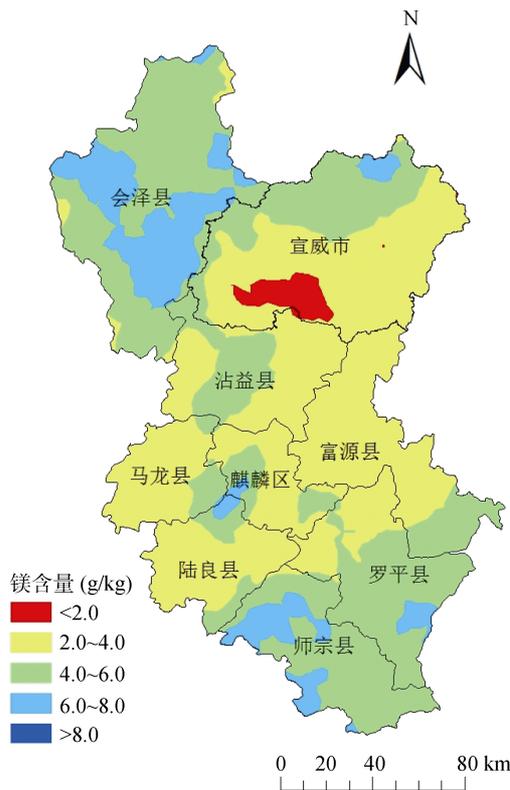


图 1 曲靖烤烟镁含量空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of Mg content of flue-cured tobacco in Qujing

2.2 曲靖烤烟镁含量影响因素

2.2.1 海拔高度对烤烟镁含量的影响 曲靖烟区海拔较高,本研究取样点平均海拔达 1 923 m,且跨度大(1 187 ~ 2 901 m)。烤烟镁含量与海拔高度的相关分析结果表明,烤烟镁含量与海拔高度呈极显著负相关关系($r=-0.156, P=0.000$)。进一步将海拔高度按 200 m 的组距分成 6 组,统计各组烤烟的镁含量(表 3),结果表明各海拔分组间烤烟镁含量差异达到极显著水平,最高的是海拔 1 400 ~ 1 600 m,最低的是海拔 $\geq 2\ 200$ m。等样本数平滑回归分析的结果表明^[16](图 2),烤烟镁含量与海拔高度呈良好的线性关系($R^2=0.720, P=0.000$),即随海拔增加,烤烟镁含量表现为下降的趋势。

2.2.2 土壤质地和类型对烤烟镁含量的影响 不同质地土壤上烤烟镁含量差异的统计结果见表 4。6 种质地的土壤上烤烟镁含量平均值在 3.91 ~ 4.96 g/kg,从高到底依次为轻壤土、砂壤土、中壤土、轻黏土、重壤土和中黏土,其中中黏土上烤烟镁含量为轻度缺乏,其他质地土壤烟叶镁含量均在适宜范围。方差分析结果表明,不同质地土壤上烤烟镁含量差异达极显著水平($F=7.349, sig.=0.000$),经多重比较发现轻壤土和砂壤土上的烤烟镁含量显著或极显著

表 3 海拔对烤烟镁含量的影响
Table 3 Effect of altitude on Mg content in flue-cured tobacco leaves

海拔(m)	样本数	平均值±标准差(g/kg)	变异系数(%)	变幅(g/kg)
$\geq 2\ 200$	81	3.80 ± 2.13 C	56.17	1.10 ~ 11.18
2 000 ~ 2 200	1173	3.81 ± 1.83 C	47.98	0.54 ~ 12.00
1 800 ~ 2 000	1582	4.09 ± 1.99 B	48.68	0.36 ~ 13.78
1 600 ~ 1 800	423	4.56 ± 1.97 A	43.14	0.80 ~ 12.1
1 400 ~ 1 600	177	4.97 ± 2.05 A	41.32	1.30 ~ 17.70
<1 400	26	4.87 ± 1.52 A	31.14	2.40 ~ 8.20

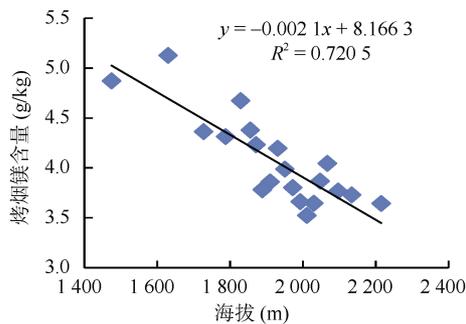


图 2 烤烟镁含量与海拔的回归分析

Fig. 2 Correlation between altitude and Mg content in flue-cured tobacco leaves

高于其他质地土壤,其他 4 种质地土壤上烤烟镁含量亦存在不同水平的差异,呈现出随土壤黏性增加,烤

烟镁含量下降的趋势。这可能与黏性颗粒对土壤镁素的固定使其失去有效性导致烟株吸收减少有关。

不同类型土壤上烤烟镁含量差异的统计结果见表 5。6 种类型土壤上烤烟镁含量平均值在 3.82 ~ 4.98 g/kg,从高到低依次为紫色土、冲积土、黄壤、水稻土、新积土和红壤,其中红壤上烤烟镁含量为“轻度缺乏”等级,其他类型土壤上烤烟镁含量均为“适宜”等级。方差分析结果表明,不同类型土壤上烤烟镁含量差异达极显著水平($F=35.637$, $\text{sig.}=0.000$),经多重比较发现紫色土和冲积土上的烤烟镁含量显著或极显著高于其他土壤类型,其他 4 种类型土壤上烤烟镁含量差异未达显著水平。

表 4 土壤质地对烤烟镁含量的影响

Table 4 Effect of soil texture on Mg content in flue-cured tobacco leaves

土壤质地	样本数	均值 \pm 标准差(g/kg)	变异系数(%)	变幅(g/kg)
轻壤土	93	4.96 \pm 2.83 Aa	57.05	0.90 ~ 17.70
砂壤土	23	4.90 \pm 2.16 ABab	44.16	1.10 ~ 9.60
中壤土	663	4.30 \pm 2.27 Bb	52.64	0.80 ~ 13.78
轻黏土	999	4.10 \pm 1.87 Bc	45.63	0.36 ~ 12.10
重壤土	1 646	3.97 \pm 1.8 Bc	45.29	0.54 ~ 13.31
中黏土	42	3.91 \pm 2.06 Bc	52.71	0.80 ~ 8.20

表 5 土壤类型对烤烟镁含量的影响

Table 5 Mg content in flue-cured tobacco leaves under different soil types

土类	样本数	均值 \pm 标准差(g/kg)	变异系数(%)	变幅(g/kg)
紫色土	579	4.98 \pm 2.35 Aa	47.12	0.94 ~ 17.70
冲积土	49	4.75 \pm 2.04 Aa	42.96	0.90 ~ 8.94
黄壤	215	4.53 \pm 1.71 ABab	37.65	1.40 ~ 10.30
水稻土	536	3.99 \pm 1.76 Bb	44.11	0.98 ~ 11.57
新积土	368	3.98 \pm 1.9 Bb	47.73	0.70 ~ 12.90
红壤	1 714	3.82 \pm 1.82 Bb	47.66	0.36 ~ 12.10

2.2.3 土壤有机质对烤烟镁含量的影响 曲靖植烟土壤有机质含量变幅较大(1.97 ~ 86.55 g/kg),烤烟镁含量与土壤有机质含量的相关分析结果表明,烤烟镁含量与土壤有机质呈极显著负相关关系($r=-0.117$, $P=0.000$)。进一步采用决策树模型分析土壤对烤烟镁含量的影响(图 3),结果表明土壤有机质含量对烤烟镁含量影响的拐点分别为 18.68、31.96、55.12 g/kg,3 个拐点将土壤有机质分成 4 组: <18.68、18.68 ~ 31.96、31.956 ~ 55.12 和 >55.12 g/kg,各分组烤烟镁含量分别为 4.64、4.23、4.03 和 3.56 g/kg,烤烟镁含量在土壤有机质分组间差异达到极显著水平;采用等样本数平滑回归的结果显示烤烟镁含量与有机质含量呈良好的对数函数关系($R^2=0.677$, $P=0.000$)(图 4),随土壤有机质增加,烤烟镁含量表现为减速下降的趋

势,当土壤有机质含量增加至 30 g/kg 左右时,随着土壤有机质含量进一步增加,烤烟镁含量下降幅度变小,这也验证本研究土壤有机质第 2 个拐点(31.96 g/kg)的准确性,这和当地的有机质丰缺等级划分也基本一致^[16]。

2.2.4 土壤有效镁对烤烟镁含量的影响 曲靖植烟土壤有效镁含量变幅较大(27.95 ~ 1 005.43 mg/kg),烤烟镁含量与土壤有效镁含量的相关分析结果表明,烤烟镁含量与土壤有效镁呈极显著正相关关系($r=0.369$, $P=0.000$),对比图 1 和图 5,发现烤烟镁含量的空间分布和土壤有效镁含量的空间分布呈现出良好的空间相关性。进一步采用决策树模型分析土壤有效镁对烤烟镁含量的影响(图略),结果表明土壤有效镁对烤烟镁含量影响的拐点分别为 108.63、

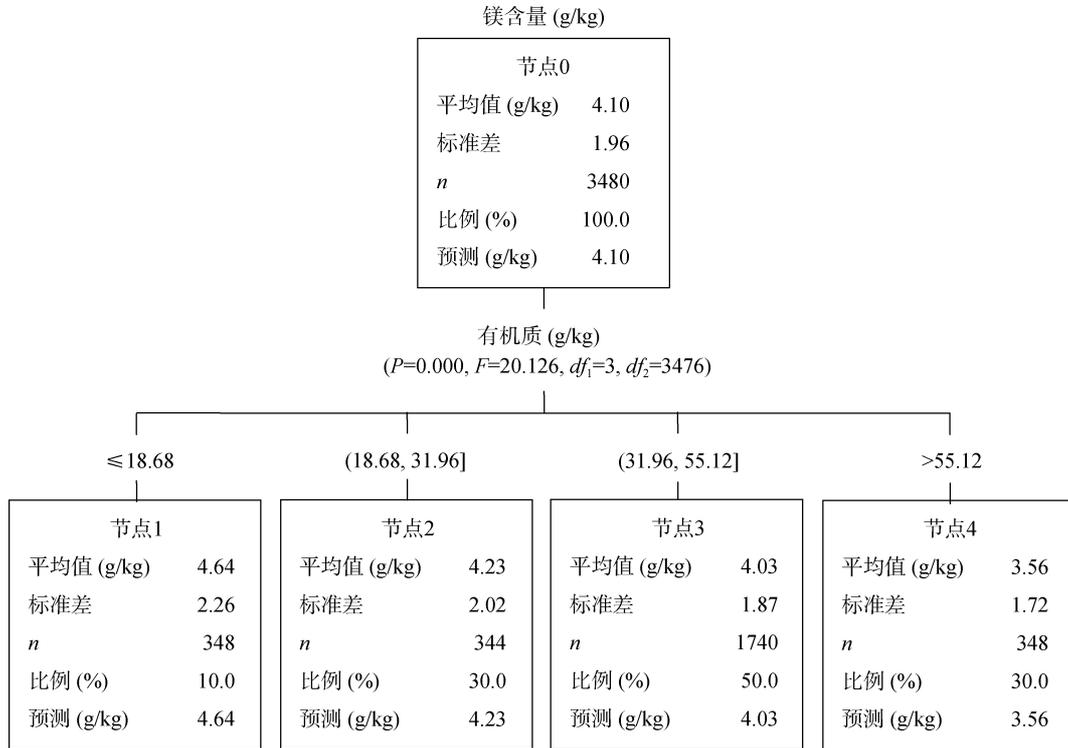


图 3 土壤有机质对烤烟镁含量影响的决策树分析

Fig. 3 Decision tree analysis of SOM effects on Mg content in flue-cured tobacco leaves

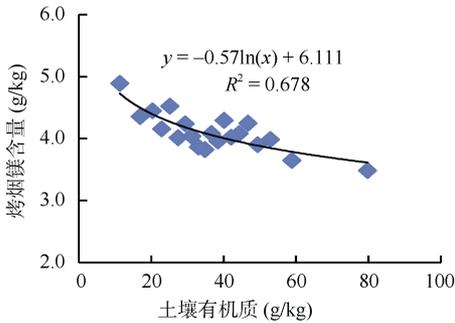


图 4 烤烟镁含量与土壤有机质含量的回归分析

Fig.4 Correlation between SOM and Mg content in flue-cured tobacco leaves

182.25、271.89、325.12、469.88、601.81 mg/kg, 6 个拐点将土壤有效镁按烤烟镁含量高低分成 7 组: <108.63、108.63 ~ 182.25、182.25 ~ 271.89、271.89 ~ 325.120、325.12 ~ 469.88、469.88 ~ 601.81 和 >601.81 mg/kg, 各分组烤烟镁含量分别为 2.87、3.20、3.86、4.37、4.63、5.018 和 5.42 g/kg, 烤烟镁含量在土壤有效镁分组间差异达到极显著水平, 呈现出随土壤有效镁含量增加烤烟镁含量增加的趋势; 等样本数平滑回归分析的结果显示, 烤烟镁含量与有效镁含量呈良好的二次曲线关系($R^2=0.958, P=0.000$)(图 6), 随土壤有效镁增加, 烤烟镁含量表现为增加趋势, 当土壤有效镁含量增加至 500 mg/kg 左右时, 随着土壤有效镁含量进一步增加, 烤烟镁含量增幅变小, 这和本研究土

壤有效镁第 5 个拐点(469.88 mg/kg)基本一致。

2.2.5 土壤钾钙元素对烤烟镁含量的影响 烤烟镁含量与土壤速效钾、有效钙含量、土壤钙镁比值和土壤钾镁比值的相关分析结果表明, 烤烟镁含量与土壤速效钾含量相关性不显著, 与土壤有效钙含量呈极

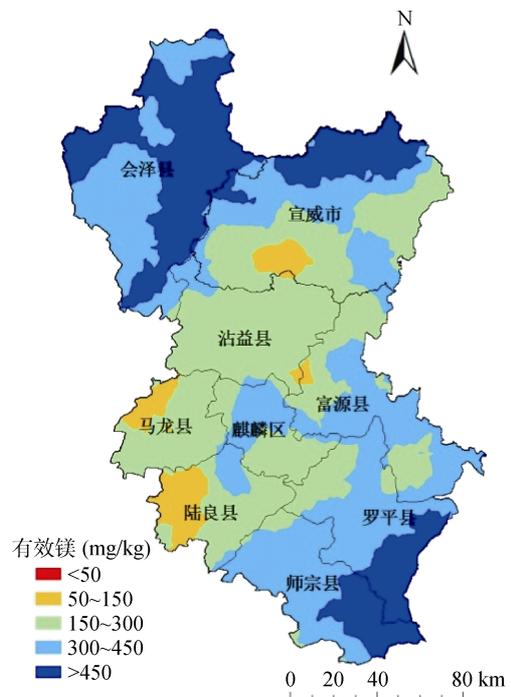


图 5 曲靖土壤有效镁含量空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of soil available Mg in Qujing

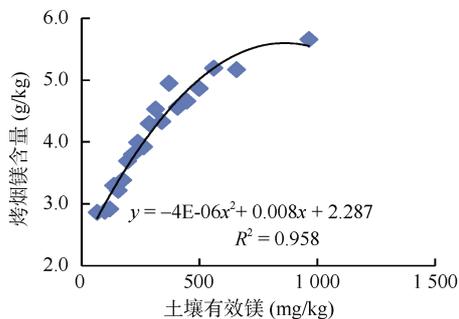


图 6 烤烟镁含量与土壤有效镁含量的回归分析
Fig. 6 Correlation between soil available and Mg content in flue-cured tobacco leaves

显著负相关关系($r=-0.093$, $P=0.000$), 与土壤钙镁比呈极显著负相关关系($r=-0.340$, $P=0.000$), 与土壤钾镁比呈极显著负相关($r=-0.338$, $P=0.000$)。等样本数平滑回归分析的结果显示(图 7), 烤烟镁含量与土壤速效钾含量符合二次曲线关系, R^2 为 0.281, 回归

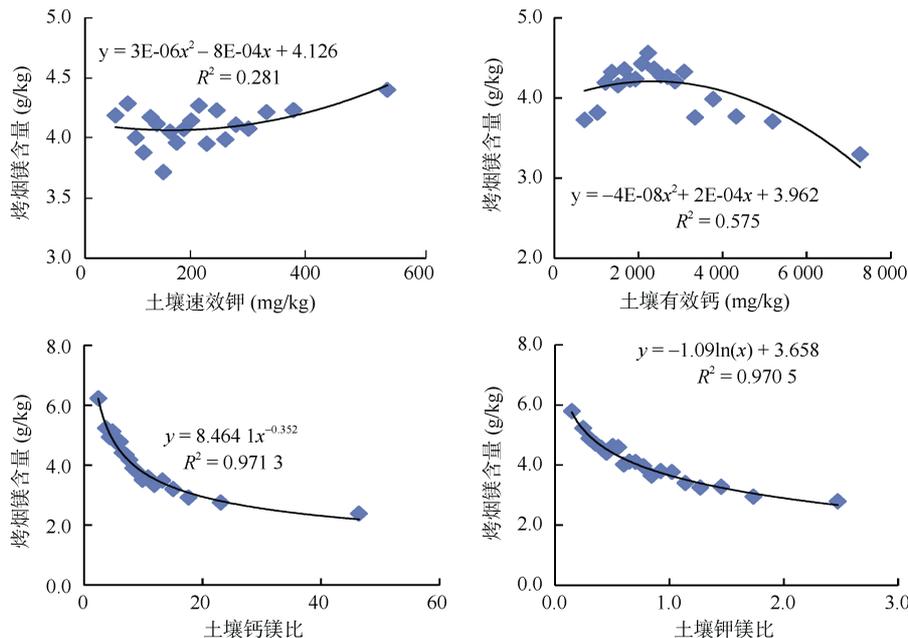


图 7 烤烟镁含量与土壤有效钙镁含量、土壤钙镁比及钾镁比值的回归分析

Fig. 7 Correlation between Mg content in flue-cured tobacco leaves with soil available Ca, available Mg, Ca/Mg and K/Mg ratios

3 结论

本研究结果表明, 曲靖烟区烤烟镁含量平均为 4.10 g/kg, 处于适宜值下限, 53.64% 的面积烤烟镁含量为适宜水平(≥ 4.0 g/kg), 有 46.36% 区域烟叶镁含量为轻度缺乏(2~4 g/kg)或缺乏(< 2 g/kg), 烤烟镁含量在县域间差异达极显著水平。海拔高度、土壤类型、质地及有机质、有效镁、速效钾、有效钙含量均影响烤烟镁含量。平滑回归分析的结果表明, 烤烟镁含量与海拔高度呈良好的线性关系($R^2=0.720$, $P=0.000$),

方程达显著水平($P=0.023$), 随土壤速效钾含量增加, 烤烟镁含量呈先下降后增加的趋势; 烤烟镁含量与土壤有效钙含量符合二次曲线关系, R^2 为 0.575, 回归方程达显著水平($P=0.000$), 随有效钙含量增加, 烤烟镁含量呈先升高后下降的趋势, 土壤有效镁含量为 2 000 mg/kg 左右时, 烤烟镁含量达峰值这可能与钙在低浓度对镁素吸收有促进作用, 而高浓度表现为拮抗作用有关; 烤烟镁含量与土壤钙镁比符合幂函数关系, R^2 为 0.971, 回归方程达极显著水平($P=0.000$), 随着土壤钙镁比升高, 烤烟镁含量呈减速下降的趋势; 烤烟镁含量与土壤钾镁比符合对数函数关系, R^2 为 0.970, 回归方程达极显著水平($P=0.000$), 随着土壤钾镁比升高, 烤烟镁含量呈减速下降的趋势。烤烟镁含量与土壤钙镁比和钾镁比符合幂函数关系和对数函数关系, 随着土壤钙镁比和钾镁比升高, 烤烟镁含量均呈减速下降的趋势, 反映了钙和钾对镁素的拮抗作用。

即随海拔增加, 烤烟镁含量表现为下降的趋势。随土壤质地黏性增加, 烤烟镁含量呈下降趋势; 烤烟镁含量在不同土壤类型间差异达极显著水平, 最高的是紫色土(4.98 g/kg), 最低的是红壤(3.82 g/kg); 土壤有机质含量对烤烟镁含量影响的拐点分别为 18.68、31.96 和 55.12 g/kg, 烤烟镁含量在 4 个土壤有机质含量分组间差异达极显著水平, 烤烟镁含量与土壤有机质含量符合对数函数关系, 随土壤有机质含量增加, 烤烟镁含量表现为减速下降的趋势; 土壤有效镁含量对烤烟镁含量影响的拐点分别为 108.63、182.25、271.89、

325.12、469.88 和 601.81 mg/kg, 烤烟镁含量在土壤有效镁分组间差异达极显著水平, 烤烟镁含量与土壤有效镁含量呈二次曲线关系, 随土壤有效镁含量增加, 烤烟镁含量表现为逐渐增加并趋于稳定的趋势; 烤烟镁含量与土壤速效钾含量呈二次曲线关系, 随土壤速效钾含量增加, 烤烟镁含量呈增加的趋势; 烤烟镁含量与土壤有效钙含量呈二次曲线关系, 随土壤有效钙含量可增加, 烤烟镁含量呈先上升下降的趋势。

参考文献：

- [1] 胡国松, 郑伟, 王震东, 等. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [2] 谢建昌, 陈际型, 朱月珍, 等. 红壤区几种主要土壤的镁素供应状况及镁肥肥效的初步研究[J]. 土壤学报, 1963, 11(3): 294-305
- [3] 白由路, 金继运, 杨俐苹. 我国土壤有效镁含量及分布状况与含镁肥料的应用前景研究[J]. 土壤肥料, 2004, 41(2): 3-4
- [4] 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
- [5] 张国, 赵松义, 相智华, 等. 湖南烤烟烟叶中镁与土壤交换性镁含量的特征及关系分析[J]. 中国烟草科学, 2009, 30(4): 52-55
- [6] 王世济, 崔权仁, 刘小平, 等. 安徽省烟区土壤和烟叶镁含量状况与镁肥应用研究[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(1): 82-83, 98
- [7] 陈竹君, 赵文艳, 张晓敏, 等. 日光温室番茄缺镁与土壤盐分组成及离子活度的关系[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 388-395
- [8] 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
- [9] 肖协忠. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1997
- [10] 郝黎仁, 攀元, 郝哲欧. SPSS 实用统计分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002: 110-135
- [11] 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
- [12] 吴秀芹, 张洪岩, 李瑞改, 等. ArcGIS9 地理信息系统应用与实践(下册) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 463-517
- [13] 李强, 周冀衡, 杨荣生, 等. 马龙县植烟土壤养分空间变异特征及适宜性评价[J]. 土壤, 2011, 43(6): 897-902
- [14] 张忠启, 于东升, 潘剑君, 等. 红壤典型区不同类型土壤有机碳组分构成及空间分异研究[J]. 土壤, 2015, 47(2): 318-323
- [15] 赖晶晶, 张世熔, 刘艳婷, 等. 基于多元分析的岷江下游土壤有机碳密度空间分布及影响因素研究[J]. 土壤, 2016, 48(1): 159-166
- [16] 李强. 曲靖烤烟品质特征及主要生态因素对其影响的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2011

Mg Content in Flue-cured Tobacco and Influential Factors in Qujing, China

LI Qiang^{1,2}, ZHOU Jiheng², LIU Xiaoying², ZHANG Yiyang^{2*}, WANG Ruibao³, YANG Yingming⁴,
CHENG Changxin⁴, LIU Hualin³, LIU Hao⁴

(1 College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2 Tobacco Research Institute, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 3 Qujing Branch of Yunnan Provincial Tobacco Company, Qujing, Yunnan 655000, China; 4 Hongyun Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming 650231, China)

Abstract: 3 506 samples of flue-cured tobacco leaves were collected from Qujing of Yunan Province and their Mg contents were analyzed, then decision tree analysis and regression analysis were used to study the influential factors. The results showed that Mg contents ranged from 0.36 g/kg to 17.70 g/kg with a mean of 4.10 g/kg in flue-cured tobacco leaves, and Mg contents were lower than 4.00 g/kg in 46.36% of the samples. Altitude, soil type, texture, organic matter, available potassium, available magnesium, and available calcium affected Mg content of flue-cured tobacco. Mg content of flue-cured tobacco decreased with the increase of altitude and the fining of soil texture. It was significant difference in different soil types, the highest (4.98 g/kg) in purple soil and the lowest in red soil (3.82 g/kg). Mg content decreased with the increase of SOM, gradually increased with the increase of soil available Mg and available K, and increased first and then decreased with the increase of soil available Ca. Mg content reached the highest while soil available Ca was about 2 g/kg. And Mg content decreased with the increase of soil Ca/Mg an K/Mg ratios.

Key words: Flue-cured tobacco; Mg content; Influential factors; Qujing