

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2022.03.008

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. 土壤, 2022, 54(3): 490–497.

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^①

潘金华^{1,2}, 王美艳¹, 史学正¹, 孙维侠¹, 杨继周³, 谢新乔³, 柳成柱⁴

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049; 3 红塔烟草(集团)有限责任公司, 云南玉溪 653100; 4 玉溪市烟草公司元江县分公司, 云南元江 653300)

摘要: 以2019年玉溪烟区9个植烟县34个主要植烟乡镇各1个代表性烟田的土壤和烤烟为研究对象, 分析了土壤速效钾和有效镁及其交互作用对烤烟化学及感官品质的影响。结果表明: 土壤速效钾和有效镁平均含量分别为325.9 mg/kg和207.9 mg/kg, 变幅分别为93.0~713.0 mg/kg和40.0~610.0 mg/kg, 土壤速效钾和有效镁缺乏的烟田分别占14.7%和23.5%。随着土壤速效钾含量的增加, 烟叶钾含量先增后减, 烟叶镁含量递增, 烟碱和总氮含量先降后增, 总糖含量、还原糖含量、糖碱比和氮碱比递减, 其中土壤速效钾含量与烟叶镁含量呈显著正相关($P<0.05$)。随土壤有效镁含量的增加, 烟叶钾含量递减, 烟叶镁含量递增, 烟碱含量先增后降, 总氮含量递增, 总糖含量、还原糖含量、糖碱比和氮碱比先降后增, 其中土壤有效镁含量与烟叶钾、镁含量分别呈极显著负相关和正相关($P<0.01$)。土壤速效钾和有效镁含量的增加能分别显著提升烟叶清甜香和香气量($P<0.05$)。土壤钾镁交互作用对烟叶总糖、还原糖含量及氮碱比均产生显著影响($P<0.05$)。因此, 为提升玉溪烤烟品质, 应在适当施用镁肥的基础上增施钾肥, 并同时关注氮肥等其他肥料对烤烟钾镁的影响。

关键词: 玉溪; 烟田土壤; 速效钾; 有效镁; 交互作用; 烤烟品质

中图分类号: S158.3; S159.2; S572 **文献标志码:** A

Effect of Soil Potassium and Magnesium Interaction on Chemical and Sensory Quality of Flue-cured Tobacco in Yuxi Tobacco Area

PAN Jinhua^{1,2}, WANG Meiyang¹, SHI Xuezheng¹, SUN Weixia¹, YANG Jizhou³, XIE Xinqiao³, LIU Chengzhu⁴

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Hongta Tobacco Group Company Limited, Yuxi, Yunnan 653100, China; 4 Yuanjiang Branch of Yuxi Tobacco Company, Yuanjiang, Yunnan 653300, China)

Abstract: In 2019, soil and flue-cured tobacco leave samples were collected from 34 typical fields in 34 major tobacco-planting towns in 9 tobacco-planting counties in Yuxi City, soil rapidly available potassium (RAK) and available magnesium (AMg) and their interactions on the chemical and sensory qualities of tobacco leaves were determined and analyzed. The results showed that RAK and AMg ranged in 93.0–713.0 mg/kg and 40.0–610.0 mg/kg with a mean of 325.9 and 207.9 mg/kg, respectively. The percentages of fields deficient in RAK and AMg were 14.7% and 23.5%, respectively. With the increase of soil RAK, K of tobacco leaves increased and then decreased, while Mg of tobacco leaves increased, nicotine and total nitrogen of tobacco leaves decreased and then increased, and total sugar, reducing sugar, sugar-nicotine ratio and nitrogen-nicotine ratio of tobacco leaves are decreased, in which soil RAK and Mg of tobacco leaves showed a significant positive correlation ($P<0.05$). With the increase of soil AMg, K of tobacco leaves decreased, Mg of tobacco leaves increased, nicotine of tobacco leaves increased and then decreased, total nitrogen of tobacco leaves increased, total sugar, reducing sugar, sugar-nicotine ratio and nitrogen-nicotine ratio of tobacco leaves decreased and then increased, among which soil AMg was negatively and positively correlated with K and Mg of tobacco leaves, respectively ($P<0.01$). The increase in soil RAK and AMg significantly enhanced the style of clear sweet aroma and aroma content of tobacco leaves ($P<0.05$), respectively. Soil RAK-AMg interaction had a significant effect on total sugars, reducing sugars and nitrogen-nicotine ratio of tobacco leaves ($P<0.05$). Hence, to improve the quality of Yuxi tobacco leaves,

①基金项目: 红塔烟草(集团)有限责任公司科技项目(S-6019001)和中国科学院战略性先导科技专项(XDA13020601)资助。

* 通讯作者(mywang@issas.ac.cn)

作者简介: 潘金华(1989—), 男, 安徽枞阳人, 博士研究生, 研究方向为土壤环境化学。E-mail: jhpan@issas.ac.cn

additional K fertilizer should be applied on the basis of appropriate Mg fertilizer, and attention should also be paid to the effect of other fertilizers such as N fertilizer on K and Mg of tobacco leaves.

Key words: Yuxi City; Tobacco field soil; Rapidly available potassium(RAK); Available Mg(AMg); Interaction; Quality of flue-cured tobacco leaves

钾、镁元素是评估烤烟品质高低的重要元素,在烤烟生长期,钾元素的吸收占比最高,分别是氮、磷的 1.4 倍和 3.5 倍^[1-2],镁元素对烤烟的光合作用和叶绿素的形成起着重要作用^[3-4]。土壤速效钾和有效镁含量对烤烟生长发育有着重要影响^[5],钾、镁元素能在烤烟生长发育期促进各种酶的活性,也与烤烟的蛋白质合成、光合及呼吸作用等关系密切^[6]。钾、镁元素对烟叶的外观、化学及评吸等品质指标有着深刻影响,有研究发现,烟叶钾、镁含量的提升使烟叶品质指标如油分更充足,燃烧性和香气等指标表现更优^[7-8]。因此,评估土壤钾、镁含量及其交互作用对研究烤烟品质具有重要意义。

目前,关于土壤钾、镁含量与烤烟品质关系方面的研究主要集中在土壤速效钾、有效镁与烟叶钾、镁指标的相关性方面。以往研究发现,植烟土壤的速效钾含量与烟叶钾含量之间存在极显著正相关性,但相关性在不同类型土壤之间存在差异^[9-10]。植烟土壤有效镁含量与烤烟镁含量之间存在极显著的正相关性^[11],烤烟镁含量的增幅与土壤有效镁含量的高低有关^[3]。但钾离子与镁离子属同性离子,两者存在的拮抗作用会导致烤烟品质的下降^[12]。迄今为止,关于钾镁交互作用对烤烟品质的影响报道较少。玉溪烟区属于我国西南烟区的滇中高原烟草种植区,区内的江川区、华宁县、易门县、新平县、澄江市和通海县年产烟叶均在 20 万担左右,在中国烟草种植区划中,该区 80% 以上都属于适宜区和最适宜区,是云南省优质烟叶的主要产区^[13]。近年来,针对玉溪烟区植烟土壤的研究主要集中在 pH、有机质、氮磷等方面^[14-15],而对影响烤烟品质较大的土壤钾镁等元素研究较少,同时在土壤钾镁交互作用对烤烟不同化学及感官等其他品质影响方面的研究较少。为此,本研究通过在玉溪烟区采集典型植烟土壤和烟叶样品,分析土壤速效钾、有效镁含量的分布状况,比较土壤不同钾、镁含量区间的烟叶钾、镁含量、烟叶化学成分及香气品质,通过相关性和双因素方差分析钾镁交互作用对烤烟化学及感官品质的影响,旨在为玉溪烟区烤烟品质的提升提供理论依据和生产建议。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

玉溪烟区于云南省的中部,烟区以亚热带高原季风气候为主,年均气温约为 17.0 °C,年均降水量约为 903.7 mm,年均日照时数约为 2 145.8 h。地形以山地、高原、丘陵和坝子地为主,全区 9 个县区中,澄江市、红塔区、江川区和通海县以高原和坝子地为主,区域面积约为 3 348 km²,占总面积的 21.9%;易门县、峨山县、华宁县、新平县和元江县则以山地和丘陵为主,该区域面积约为 11 937 km²,占总面积的 78.1%^[16]。玉溪烟区植烟面积达 4×10⁴ hm²^[17],烤烟年产量约为 7 533 kg^[16],主要植烟土壤类型为红壤、水稻土和紫色土等^[18-19]。

1.2 样品采集

依据烟区空间分布、种植制度、烤烟常年长势等因素,2019 年在玉溪烟区玉溪市的 9 个植烟县 34 个主要植烟乡镇各确定 1 个代表性烟田(表 1)。本研究的 34 个主要植烟乡镇的土壤和烤烟采样,是基于红塔烟草(集团)有限责任公司对玉溪烟区的长期观测定位点,兼顾当地的烤烟种植面积、烤烟品种、农田措施等要素选择具有代表性的土壤和烤烟采样点。每个烟田内采用“梅花形”五点取样法采集耕层(0 ~ 20 cm)土样,充分混合后用四分法留取 1 kg,然后装入纱袋带回实验室,剔除大块砾石和可见动植物残体,经自然风干和研磨过 2 mm 筛备用。同时,在各土壤采样点收集各代表性烟田的初烤后 C3F 烟叶 1.5 kg,采样区主要烤烟种植品种为当地常规种植的 K326(烤烟品种信息由红塔烟草(集团)有限责任公司提供)。采样同时,每个采样点通过田间 GPS 定位得到经纬度和海拔高度。

1.3 样品分析

土壤速效钾测定采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度计法,土壤有效镁测定采用原子吸收分光光度法^[20]。

烟叶化学组成测定:通过收集烤后中部烟叶作为测定样品,在 45°C 条件下烘干至恒重,粉碎、过 60 目筛,测定烟叶烟碱、总氮、总糖、还原糖、钾和镁含量,并计算糖碱比和氮碱比,分析方法参照文献^[21-25]。烟叶感官质量由中国烟草总公司郑州

表 1 土壤和烟叶样品采集地点
Table 1 Sampling positions of soils and flue-cured tobacco leaves

植烟县(区)	采样地点(成土母质和土壤类型)	样点数	海拔 (m)
红塔区	龙树(紫砂紫色土)、响水(砂页岩红壤)、黑泥(砂页岩红壤)、大石板(石灰岩红壤)、波衣(石灰岩红壤)	5	1 808 ~ 2 176
江川区	下营(碳酸盐岩红壤)、矣文(碳酸盐岩红壤)、光山(紫砂紫色土)、陈家湾(碳酸盐岩红壤)、上坝(冲击型水稻土)	5	1 727 ~ 2 015
澄江市	龙潭(石灰岩红壤)、松元(石灰岩红壤)	2	1 876 ~ 2 007
通海县	四寨(石灰岩红壤)、清水河(冲击型水稻土)、兴义(冲击型水稻土)、里山(石灰岩红壤)	4	1 758 ~ 1 955
华宁县	普茶寨(砂岩红壤)、大村(碳酸盐岩红壤)、落梅(碳酸盐岩红壤)	3	1 852 ~ 1 923
易门县	桃园(冲击型水稻土)、甲浦(砂页岩紫色土)、罗尹(紫色土型水稻土)	3	1 749 ~ 1 816
峨山县	雨来救(碳酸盐岩红壤)、棚租(泥质岩红壤)、文山(砂页岩紫色土)、塔甸(石灰岩红壤)、塔冲(板岩红壤)、绿溪(石灰岩红壤)	6	1 570 ~ 1 979
新平县	若克(泥质岩红壤)、大堵路(红壤型水稻土)、太桥(泥质岩红壤)、宁河(红壤型水稻土)、费贾(紫色土型水稻土)	5	1 518 ~ 1 878
元江县	因远(泥质岩红壤)	1	1 553

烟草研究院(CNTC)的 6 位专家参照烟叶感官评吸质量标准^[26]进行评吸,感官指标包括清甜香、香气质、香气量等几个方面,每个方面分为 9 个等级,得分从 0 分到 9 分,得分越高烟叶品质越好。

1.4 数据分析

数据整理与分析采用 Microsoft Excel 2016 和 IBM Statistics SPSS 26.0 软件,数据制图采用 Origin Pro 2022 软件。采用 LSD 法进行数据间差异的多重比较, Duncan 法进行双因素方差的显著性检验($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 土壤速效钾和有效镁的分布状况

玉溪烟区土壤速效钾和有效镁分布状况见表 2。由表 2 可知,土壤速效钾含量均值为 325.9 mg/kg,变幅在 93.0 ~ 713.0 mg/kg,参照植烟土壤速效钾含量丰缺指标^[27],丰富(≥ 350 mg/kg)、适宜(150 ~ 350 mg/kg)和缺乏(< 150 mg/kg)3 个级别的分布频率分别为 35.3%、50.0% 和 14.7%。从图 1A 可知,与红壤和水稻土相比,紫色土的平均速效钾含量更低,

虽然玉溪烟区土壤速效钾含量总体较高,但仍有 14.7% 的土壤及紫色土需增施钾肥。

土壤有效镁含量均值为 207.9 mg/kg,变幅在 40.0 ~ 610.0 mg/kg,参照植烟土壤有效镁含量丰缺指标^[27],丰富(≥ 400 mg/kg)、适宜(100 ~ 400 mg/kg)和缺乏(< 100 mg/kg)3 个级别的分布频率分别为 14.7%、61.8% 和 23.5%。从图 1B 可知,与紫色土和水稻土相比,红壤有效镁含量偏低,水稻土的有效镁平均含量高于红壤和紫色土,总体上玉溪烟区土壤有效镁含量适宜,但需要注意仍有 23.5% 的土壤及红壤和紫色土需适当增施镁肥。

2.2 土壤速效钾和有效镁对烟叶化学成分的影响

玉溪烟区不同土壤速效钾和有效镁含量分级下烟叶化学成分见表 3。由表 3 数据可知,随着土壤速效钾含量的增加;烟叶的烟碱和总氮含量先降后增;总糖含量、还原糖含量、糖碱比和氮碱比递减,土壤速效钾丰富与缺乏级别的烟叶总糖和还原糖含量之间均存在显著差异($P < 0.05$);烟叶钾含量先增后降,烟叶镁含量递增,但各分级间差异不显著。

表 2 土壤速效钾和有效镁含量分布
Table 2 Distribution of soil rapidly available potassium and available magnesium contents

速效钾 (mg/kg)		速效钾含量分布频率 (%)		
均值 \pm 标准误	变幅	≥ 350 mg/kg	150 ~ 350 mg/kg	< 150 mg/kg
325.9 \pm 29.3	93.0 ~ 713.0	35.3	50.0	14.7
有效镁 (mg/kg)		有效镁含量分布频率 (%)		
均值 \pm 标准误	变幅	≥ 400 mg/kg	100 ~ 400 mg/kg	< 100 mg/kg
207.9 \pm 28.7	40.0 ~ 610.0	14.7	61.8	23.5

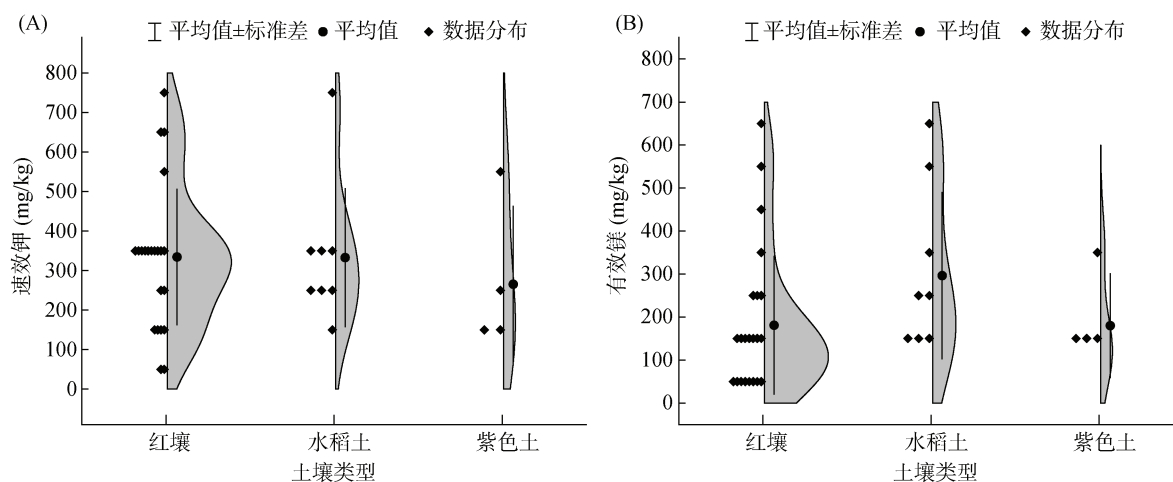


图 1 不同土壤类型的速效钾(A)和有效镁(B)分布

Fig. 1 Frequency distributions of soil rapidly available potassium (A) and available magnesium(B) contents in different soil types

表 3 不同土壤速效钾和有效镁级别下烟叶化学成分

Table 3 Chemical components of tobacco leaves under different grades of soil rapidly available potassium and available magnesium contents

指标	含量分级 (mg/kg)	烟碱 (g/kg)	总氮 (g/kg)	总糖 (g/kg)	还原糖 (g/kg)
速效钾	<150	32.6 ± 4.51 a	25.7 ± 1.27 a	329.4 ± 30.1 a	231.4 ± 27.3 a
	150 ~ 350	31.4 ± 1.91 a	24.1 ± 0.82 a	293.5 ± 14.0 ab	218.9 ± 10.2 ab
	>350	37.2 ± 2.03 a	25.8 ± 0.62 a	251.0 ± 16.4 b	185.2 ± 9.96 b
有效镁	<100	30.4 ± 3.40 a	24.2 ± 1.33 a	307.4 ± 19.4 a	220.5 ± 19.7 a
	100 ~ 400	35.1 ± 1.48 a	24.8 ± 0.60 a	272.9 ± 12.0 a	203.7 ± 8.30 a
	>400	32.4 ± 4.89 a	26.7 ± 0.95 a	292.0 ± 46.9 a	211.8 ± 27.4 a

指标	含量分级 (mg/kg)	烟叶钾 (g/kg)	烟叶镁 (g/kg)	糖碱比	氮碱比
速效钾	<150	20.9 ± 1.76 a	3.36 ± 0.44 a	8.56 ± 2.70 a	0.90 ± 0.21 a
	150 ~ 350	25.2 ± 1.44 a	3.65 ± 0.50 a	7.87 ± 1.05 a	0.81 ± 0.05 a
	>350	24.3 ± 1.67 a	5.55 ± 0.73 a	5.21 ± 0.45 a	0.71 ± 0.03 a
有效镁	<100	27.4 ± 1.85 a	2.24 ± 0.32 c	8.76 ± 2.12 a	0.86 ± 0.10 a
	100 ~ 400	24.3 ± 1.16 a	4.44 ± 0.44 b	6.12 ± 0.44 a	0.72 ± 0.02 a
	>400	19.0 ± 2.01 b	6.87 ± 0.92 a	8.10 ± 2.81 a	0.93 ± 0.20 a

注：表中数据为平均值±标准误，数值后不同小写字母表示不同分级间差异达显著水平(P<0.05)，下同。

随着土壤有效镁含量的增加，烟叶烟碱含量先增后减；总氮含量递增；总糖含量、还原糖含量、糖碱比和氮碱比先减后增，但分级间差异不显著；烟叶钾含量递减；烟叶镁含量递增。土壤有效镁丰富级别的烟叶钾含量显著低于适宜和缺乏两个级别(P<0.05)，而烟叶镁含量为土壤有效镁丰富级别显著高于适宜级别(P<0.05)，适宜级别显著高于缺乏级别(P<0.05)。

2.3 土壤速效钾和有效镁对烟叶感官品质的影响

由表 4 可知，随着土壤速效钾含量的增加，烟叶清甜香递增，香气量先降后增，香气质先增后降，土壤速效钾缺乏的级别烟叶清甜香得分显著低于其他两个级别(P<0.05)。随着土壤有效镁含量的增加，烟叶清甜香、香气质和香气量均递增，土壤有效镁丰富

的级别烟叶香气量显著高于其他两个级别(P<0.05)。

2.4 土壤钾、镁交互作用对烤烟化学和感官品质的影响

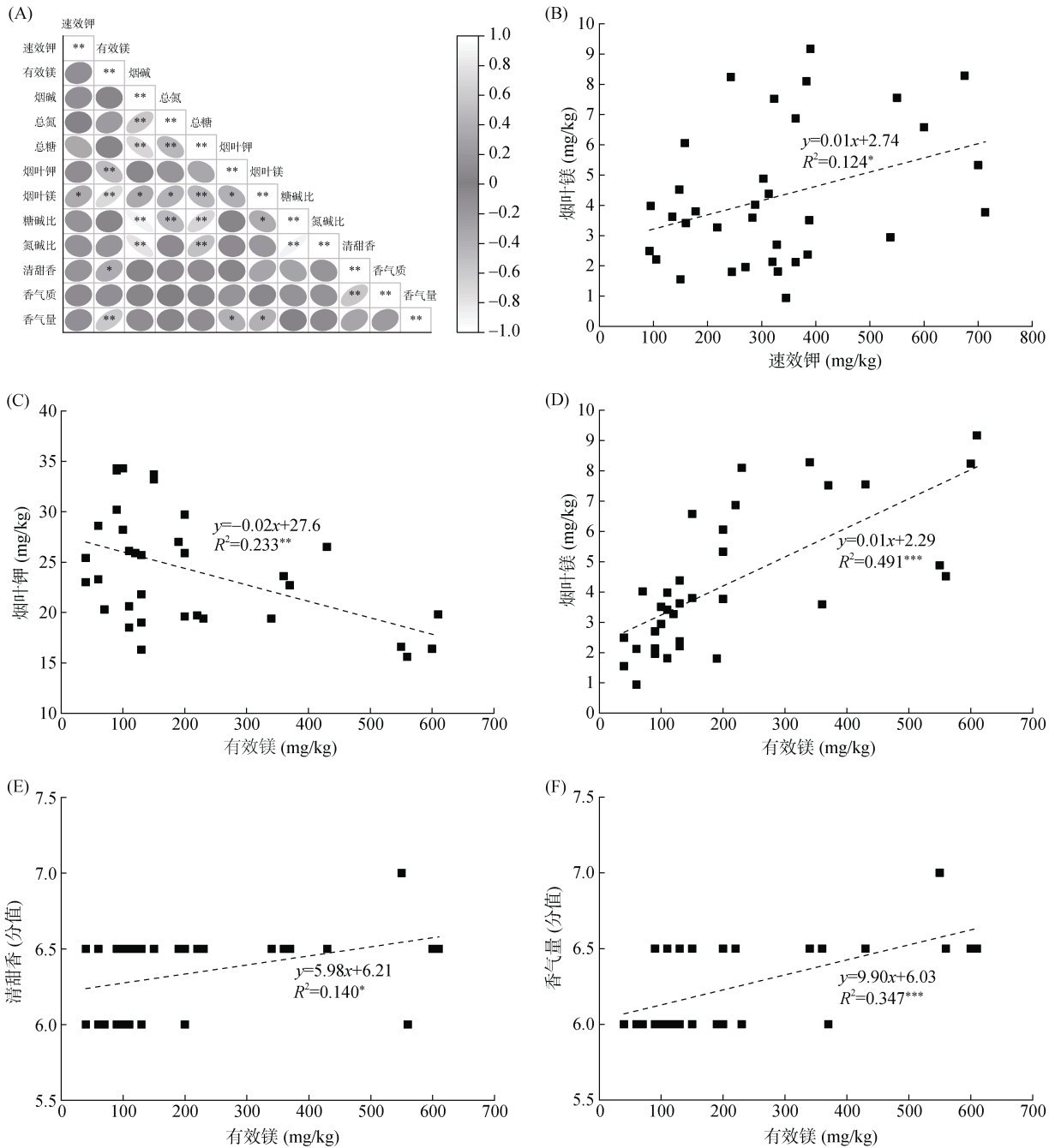
土壤速效钾、有效镁含量与烟叶钾、镁含量的相关性分析结果显示(图 2)，土壤速效钾含量与烟叶镁含量呈显著正相关(P<0.05)，与烟叶钾含量相关性不显著。土壤有效镁含量与烟叶钾、镁含量分别呈极显著负相关和正相关(P<0.01)，与糖碱比和氮碱比呈显著负相关(P<0.05)。

土壤速效钾含量与烟叶感官品质无显著相关性，但土壤有效镁含量则与烟叶的清甜香和香气量分别表现出显著(P<0.05)和极显著(P<0.01)的相关性，而与香气质则无显著相关性。

表 4 不同土壤速效钾和有效镁级别下烟叶感官评吸质量

Table 4 Sensory qualities of tobacco leaves under different grades of soil rapidly available potassium and available magnesium contents

指标	含量分级(mg/kg)	清甜香	香气质	香气量
速效钾	<150	6.10 ± 0.10 b	6.00 ± 0.16 a	6.30 ± 0.12 a
	150 ~ 350	6.38 ± 0.07 a	6.26 ± 0.06 a	6.21 ± 0.07 a
	>350	6.38 ± 0.07 a	6.21 ± 0.07 a	6.25 ± 0.08 a
有效镁	<100	6.25 ± 0.09 a	6.19 ± 0.09 a	6.06 ± 0.06 b
	100 ~ 400	6.33 ± 0.05 a	6.19 ± 0.06 a	6.21 ± 0.06 b
	>400	6.50 ± 0.16 a	6.30 ± 0.12 a	6.60 ± 0.10 a



(*、**和***表示相关性分别在 $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.001$ 水平显著。椭圆右倾表示正相关；椭圆左倾表示负相关)

图 2 土壤速效钾和有效镁与烟叶品质的相关性矩阵及拟合方程

Fig. 2 Correlation between soil rapidly available potassium and available magnesium with quality of tobacco leaves

双因素方差分析(表5)表明,在土壤速效钾和有效镁双重因素作用下,土壤有效镁对烟叶镁含量有极显著影响($P<0.01$),速效钾和钾镁交互作用对烟叶钾和烟叶镁含量的影响不显著。土壤速效钾对烟叶氮碱比有显著影响($P<0.05$),土壤有效镁对烟叶氮碱比有极显著影响($P<0.01$),土壤速效钾和有效镁交互作用对总糖含量、还原糖含量有显著影响($P<0.05$),对氮碱比有极显著影响($P<0.01$),说明当土壤钾镁共同作

用时,对烤烟糖分的吸收和转移具有显著作用,从而调控烤烟内在化学成分。不同速效钾和有效镁含量及交互作用对烟叶香气指标的影响有差异。其中,土壤速效钾对烟叶清甜香影响显著($P<0.05$),而土壤有效镁对烟叶香气量影响显著($P<0.05$)。总体上,在土壤钾镁双重因素作用下时,需从烤烟内在化学成分协调性方面,着重提升影响烤烟品质的主要成分,保持相关成分的合理含量。

表5 土壤速效钾和有效镁及交互作用与烟叶品质的方差分析

Table 5 Variance analysis of effects of soil rapidly available potassium and available magnesium interaction on quality of tobacco leaves

指标	F 值								
	总糖	还原糖	烟叶钾	烟叶镁	糖碱比	氮碱比	清甜香	香气质	香气量
速效钾	1.610	1.231	0.591	1.223	1.564	3.448*	4.087*	2.150	0.276
有效镁	1.035	0.603	2.213	5.864**	2.026	7.177**	0.556	0.310	5.610*
速效钾×有效镁	2.793*	2.957*	0.645	0.390	3.558	6.591**	0.927	1.230	0.555

注: *、**分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 水平影响显著。

3 讨论

本研究结果表明,玉溪烟区土壤速效钾、有效镁含量整体处于适宜范围,在各个分布区间上表现出差异,85.3%的土壤速效钾处于适宜和丰富范围,也仍有14.7%的土壤处于缺钾状态,这与常乃杰等^[28]的结果相似。玉溪烟区土壤速效钾主要来源于长期的硫酸钾肥料施用,导致土壤速效养分的累积。76.5%的土壤有效镁处于适宜和丰富范围,但也有23.5%的土壤处于缺镁状态,这与相关研究结果相似^[29-30]。玉溪烟区土壤有效镁受成土母质和土壤类型、海拔和地形、气温和降水等因素的综合影响^[31-32]。玉溪烟区属西南烟区,土壤类型主要为第四纪红土发育的红壤,土壤pH呈酸性或弱酸性为主,有效镁主要表现为母质中风化的离子形态^[33-34];水稻土由于高强度的集约种植导致酸化严重,从而造成钾、钙、镁、铝等离子的流失加剧^[35]。李丹萍等^[36]通过对比南方紫色土和红壤的镁淋失程度发现,相较质地较重的红壤,质地较轻的紫色土更易发生镁的迁移和淋失。本研究结果与上述研究相似,尤其是红壤和紫色土表现出钾镁的相对缺乏,同时土壤钾镁分布的相对变异性较大,这可能主要是由于玉溪烟区海拔起伏较大,地形类型复杂,分布有高原、盆地和坝子地等,区域山地气候和微气候均有分布^[15],导致区域内有效镁含量的分布差异。因此,在烤烟田间管理中,钾、镁肥料的添加需要针对区域差异性和适宜程度。

本研究通过分析土壤速效钾和有效镁及其交互作用对烟叶化学成分的影响发现,土壤速效钾能提升烟叶

钾、镁含量,土壤有效镁也能提升烟叶钾、镁含量,从而满足烟叶品质的需要;但进一步的研究发现,速效钾和有效镁的交互作用却对烟叶钾、镁含量没有产生显著影响,这可能是由于烟叶钾和镁的吸收不仅与土壤钾、镁的含量和有效性有关,也与气候、海拔、土壤类型、土壤颗粒组成及综合养分状况有关^[3,11,37-38]。烟叶对钾的吸收并不是无上限的,当土壤速效钾的供应增加到一定程度时,会因为钾蛋白的饱和而呈现烟叶钾含量下降的趋势^[39]。另外,随着土壤有效镁含量的增加,烟叶对钾的吸收也会呈现下降的趋势^[40]。这些反映了土壤中镁对钾的拮抗作用。本研究结果也发现,土壤速效钾和有效镁及其交互作用对总糖含量、还原糖含量及氮碱比产生显著的影响。这可能是由于土壤钾素有利于增加总氮的积累,并降低糖分含量^[41],而土壤镁则有利于增加还原糖和总氮含量^[42]。当土壤缺镁时,烟碱和总氮含量降低,从而促进了烟叶钾的吸收,这可能是由于 K^+ 与 NH_4^+ 的离子半径较为接近,且均为一价阳离子,从而降低了拮抗作用^[43]。同时,镁钾比过高也可能是导致烟叶钾降低的原因之一^[1],从而增加对氮素等养分的吸收^[44]。因此,在烤烟钾、镁肥料施用,应当考虑其他肥料,如氮肥等的比例调控,寻求适宜当地烤烟生产和协调烤烟内部化学平衡的机制。

本研究通过分析土壤速效钾和有效镁及其交互作用对烟叶感官评吸质量的影响发现,土壤速效钾和有效镁含量的增加可以进一步增加烟叶感官质量,尤其是在增加清甜香和香气量方面。这些结果不仅与钾、镁离子的施用量和有效性有关,也与当地气候因

子和土壤类型有关^[45]。有研究发现,在海拔较高地区,烤烟内部的西柏烷类等致香物质更易于合成^[46];土壤的透气透水性和孔隙特征也会影响烤烟致香物质的合成^[47]。然而土壤速效钾和有效镁及其交互作用对烤烟香气品质的影响机制较为复杂,且致香物质成分仍然存在相互影响的特征,因此仍然需要进一步针对气候-土壤-烟叶各成分之间的关系进行分析。

4 结论

1) 玉溪烟区土壤速效钾、有效镁平均含量均处于适宜范围,但分别有 14.7% 和 23.5% 的土壤缺钾和缺镁,其中,红壤和紫色土的钾镁表现出相对缺乏。

2) 玉溪烟区烟叶镁含量受土壤有效镁含量影响显著,而烟叶钾含量可能受多种因素的综合影响,土壤速效钾和有效镁对烟叶的烟碱和总氮含量的影响存在差异,土壤钾镁交互对烤烟糖分的积累产生显著影响。

3) 玉溪烟区的烟叶感官品质对土壤钾镁的响应存在差异,在土壤钾镁双重因素影响下,一定程度提升土壤速效钾含量可以提升烟叶清甜香,而提升土壤有效镁含量可以显著提升烟叶香气量。

4) 玉溪烟区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。

参考文献:

- [1] 李强,周冀衡,程昌新,等. 云南烤烟钾含量特征及其与致香物质的关系[J]. 中国烟草科学, 2015, 36(6): 49-55.
- [2] 王亚虹,卢秀萍,许自成,等. 植烟土壤碱解氮、速效钾含量及其交互作用对烤烟钾含量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(11): 108-116.
- [3] 张森,卢秀萍,许自成,等. 曲靖中海拔红壤烟区烤烟镁含量分布及影响因素[J]. 土壤通报, 2017, 48(4): 875-881.
- [4] 李永忠,蒋志宏,杨志新,等. 供Mg水平对烤烟主要经济性状的影响[J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(3): 200-202.
- [5] 胡国松,郑伟,王震东,等. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [6] 陈剑秋,万连步,解玉洪,等. 包膜控释肥对烤烟烟叶钾含量的影响[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(3): 40-45.
- [7] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1987.
- [8] 刘正日,胡日生,郭清泉. 烟草钾营养研究进展[J]. 作物研究, 2004, 18(2): 109-114, 118.
- [9] 李强,张一扬,程昌新,等. 曲靖烤烟钾含量特征及其与主要生态因子关系研究[J]. 核农学报, 2017, 31(5): 918-926.
- [10] 黄婷,周冀衡,唐弢,等. 土壤类型对土壤钾素与烤烟烟叶钾素分布及其相互关系的影响研究——以云南省曲靖市为例[J]. 江西农业学报, 2015, 27(2): 74-78.
- [11] 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.
- [12] 张森,王林,许自成,等. 曲靖红壤烟区有效镁、速效钾交互作用对烤烟钾、镁、钙吸收及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(1): 87-93.
- [13] 王彦亭,谢剑平,李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [14] 卜令铎,李江舟,张立猛,等. 玉溪烟田土壤pH和主要养分平均含量及变化特征[J]. 烟草科技, 2017, 50(3): 23-30.
- [15] 金亚波,李桂湘,韦建玉,等. 云南玉溪植烟区气候——土壤因子聚类分析[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 275-281.
- [16] 玉溪市统计局 国家统计局玉溪调查队. 玉溪市 2017年国民经济和社会发展统计公报——2018年1月[N]. 玉溪日报, 2018-03-15(3).
- [17] 王秀珍,景元书,谢新乔,等. 玉溪烤烟低温冷害风险评价与区划[J]. 河南农业大学学报, 2020, 54(4): 704-710.
- [18] 田育天,李湘伟,谢新乔,等. 云南典型植烟土壤通气孔隙及其主控因素研究[J]. 土壤学报, 2020, 57(6): 1430-1438.
- [19] 田育天,李湘伟,谢新乔,等. 秸秆还田对云南典型烟区土壤物理性状的影响[J]. 土壤, 2019, 51(5): 964-969.
- [20] 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.
- [21] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定连续流动法: YC/T 160—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [22] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总氮的测定连续流动法: YC/T 161—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [23] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定连续流动法: YC/T 159—2002[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [24] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法: YC/T 217—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [25] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 镁的测定 原子吸收法: YC/T 175—2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [26] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 感官评价方法: YC/T 138—1998[S]. 北京: 中国标准出版社, 1998.
- [27] 陈江华,李志宏,刘建利,等. 全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价[J]. 中国烟草学报, 2004, 10(3): 14-18.
- [28] 常乃杰,张云贵,李志宏,等. 云南玉溪植烟土壤速效养分空间变异特征及应用[J]. 中国土壤与肥料, 2017(1): 7-13.

- [29] 李卫, 解燕, 周冀衡, 等. 不同海拔高度植烟土壤有效钙镁的分布状况——以云南曲靖烟区为例[J]. 土壤, 2010, 42(6): 946–951.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 等. 烟-稻复种连作年限对土壤钙镁硫含量的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(1): 218–222.
- [33] 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(2): 3–5.
- [34] 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(3): 294–305.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 周翔, 梁洪波, 董建新, 等. 山东烟区降水对烟叶主要化学成分的影响[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(2): 37–41.
- [38] 王程栋, 王树声, 刘新民, 等. 曲靖烟区土壤化学性状及海拔对烟叶钾含量的影响[J]. 中国烟草科学, 2013, 34(4): 25–29.
- [39] 程辉斗, 温永琴, 陆富, 等. 土壤供钾水平与云南烤烟含钾量关系的研究[J]. 烟草科技, 2000, 33(3): 41–43.
- [40] 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.
- [41] 张广富, 赵铭钦, 韩富根, 等. 种植密度和施钾量对烤烟化学成分和香气物质含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(5): 43–47.
- [42] 张国, 朱启法, 相智华, 等. 镁肥施用对皖南烟区烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 土壤, 2015, 47(1): 177–182.
- [43] 邱尧, 周冀衡, 黄劭理, 等. 根部温度和氮素形态互作对烤烟生长和钾素积累的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(3): 88–92.
- [44] 王春霞, 田晓莉, 张志勇, 等. NH_4^+ 对不同基因型棉花幼苗 K^+ 吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(4): 742–748.
- [45] 胡皓月. 烤烟挥发酸、挥发碱含量分布特点及与品质指标的关系[D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.
- [46] 张永安, 王瑞强, 杨述元, 等. 生态因子与烤烟中挥发性香气物质的关系研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(18): 4652–4654.
- [47] 许自成, 杜娟, 解燕, 等. 云南曲靖土壤因素对烤烟风格和品质的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1277–1282.