

抚仙湖流域典型烟区土壤中养分失衡对烟叶品质的影响^①

徐勇贤¹, 梁强^{2,3}, 钱玭¹, 陈志青¹, 宗同凯¹, 帅京彤¹, 曾雪娇¹, 王火焰², 黄标^{2,3*}

(1 云南省烟草公司玉溪市公司澄江分公司, 云南澄江 652500; 2 土壤与农业可持续发展全国重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 211135; 3 中国科学院大学中丹学院, 北京 100190)

摘要: 以云南抚仙湖流域北部澄江市烟区为研究对象, 选择 107 个典型烟田, 调查分析了土壤大中微养分和烟叶元素含量与品质指标, 利用土壤其他养分含量与有效磷含量之间的比值作为土壤养分失衡的评价指标, 通过这些比值与烟叶元素含量和品质指标之间的相关性, 分析了土壤养分失衡对烟叶养分吸收和品质的影响。结果显示: 研究区土壤养分含量整体偏高, 碱解氮、有效磷和速效钾含量均值分别为 103.75、59.72 和 195.72 mg/kg, 有效铜含量均值为 3.68 mg/kg; 烟叶中钾平均含量达 26.1 g/kg。随着土壤有效磷含量增加, 土壤的碱解氮、速效钾, 交换性钙、镁, 有效铜、铁和锰含量与有效磷含量比值均呈现指数下降趋势, 存在养分严重失衡的现象。土壤养分失衡增加了烟叶对氮、钾和烟碱的吸收, 但明显降低了对铜、锰、锌等微量元素的吸收, 减少了烟叶还原糖的积累, 对烟叶的品质有明显影响。因此, 今后烟草种植过程中应根据土壤养分失衡状况和烟叶品质变化特点, 精准优化施肥技术, 以提高研究区烟叶品质。

关键词: 土壤养分含量比值; 烟叶养分; 烟叶品质指标; 土壤养分管理

中图分类号: X825 **文献标志码:** A

Effects of Soil Nutrient Unbalance on Quality of Tobacco Leaves in Typical Tobacco-planting Area in Fuxian Lake Basin

XU Yongxian¹, LIANG Qiang^{2,3}, QIAN Pin¹, CHEN Zhiqing¹, ZONG Tongkai¹, SHUAI Jingtong¹, ZENG Xuejiao¹, WANG Huoyan², HUANG Biao^{2,3*}

(1 Chengjiang Branch, Yuxi Company of Yunnan Province Tobacco Company, Chengjiang, Yunnan 652500, China; 2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, China; 3 Sino-Danish College, University of Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China)

Abstract: The tobacco-planting area of Chengjiang City in the northern part of Fuxian Lake Basin was taken as the object, 107 typical tobacco fields were selected, topsoils and C3F tobacco leaves were sampled, the macro-, meso- and micro-nutrients of soil and the elemental contents and quality indexes of tobacco leaves were determined and compared, and the ratio of soil other nutrient content to available phosphorus content was used to evaluate soil nutrient imbalance. The results showed that soil nutrient contents were generally high, the mean contents of alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, available potassium, and available copper were 103.75, 59.72, 195.72, and 3.68 mg/kg, respectively, and the mean content of potassium in tobacco leaves was 26.1 g/kg. With the increase of soil available phosphorus content, the ratios of soil nutrients, such as alkali-hydrolyzable nitrogen, available phosphorus, exchangeable calcium and magnesium, and available copper, iron and manganese, to available phosphorus showed an exponential downward trend, indicating a serious soil nutrient imbalance. Soil nutrient imbalance increased the contents of nitrogen, potassium and nicotine, but significantly decreased the contents of copper, manganese and zinc, and reducing sugar in tobacco leaves, thus significantly impacted the quality of tobacco. In the future, for the improvement of the quality of tobacco leaves, accurate fertilization should be applied according to soil nutrient imbalance status and the changing characteristics of tobacco quality.

Key words: Soil nutrient content ratio; Tobacco nutrients; Tobacco quality index; Soil nutrient management

①基金项目: 云南省烟草公司玉溪市公司科技计划项目(yxyc2023010)资助。

* 通信作者(bhuang@issas.ac.cn)

作者简介: 徐勇贤(1982—), 男, 江苏扬中人, 硕士, 农艺师, 主要从事土壤与环境污染研究。E-mail: 28400350@qq.com

抚仙湖流域北部澄江市是“云烟之乡”的主产区之一,其烤烟种植和烟叶质量对当地环境管理和经济发展有着重要意义^[1]。然而,当地烟叶的高质量发展正面临一个重要瓶颈。由于目前的烟田多由原来的蔬菜种植地转化而来^[2],在蔬菜种植过程中化肥施用量较大,尤其是氮肥和磷肥,导致土壤中有机质及氮、磷等养分大量积累^[3],而钾肥和微量元素肥料的施用却长期被忽视。从前期研究结果来看,尽管当地土壤中有效态微量元素含量并不低,但烤烟仍表现出明显的缺素症状^[4]。因此,仅从单个养分元素含量高低评价植烟土壤对烟叶品质的影响,很难评价其优劣。长期蔬菜种植导致的土壤养分元素明显失衡,可能会引起烟叶养分吸收和品质指标的变化,影响优质烟叶的生产^[5]。因此,研究区土壤养分失衡状况及对烟叶养分吸收和品质的影响值得研究。

目前,土壤养分失衡对作物品质影响的相关研究已有不少^[6]。研究表明,土壤有机质等养分含量增加可以有效提高萝卜可食部位维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白、总酚和类黄酮含量^[7]。王玉苗等^[8]研究发现,新疆叶城红枣中不可溶膳食纤维、钾、蔗糖含量与土壤全磷、有机质含量存在显著负相关。而有关植烟土壤养分失衡对烟叶品质的影响也有一些研究^[9]。黄士航等^[10]发现,云南师宗烟区土壤 pH 与烟叶淀粉含量呈显著正相关,该地区部分土壤偏碱性,而土壤 pH 为微酸性时,烟叶质量较好,所以需要降低偏碱性土壤 pH;土壤有机质含量与烟叶钾含量呈显著负相关,烟叶钾含量提高,可使烟叶焦油释出量降低,同时土壤有机质含量与烟碱含量呈显著正相关,烟碱含量过高时(20%)烟味浓烈,所以需要减少有机肥施入。张龙等^[11]研究表明,贵州毕节烟区烟叶总氮和钾含量偏低,还原糖和淀粉含量偏高,总氮、总植物碱、还原糖含量和糖碱比这 4 个指标需要优先改进。杨树明等^[12]运用地统计学和地理信息系统技术,分析了云南曲靖植烟土壤养分的空间分布特征及影响烟叶质量的主要因素,发现土壤有机质、有效磷和速效钾严重失衡是影响烟叶质量的主要因素。

基于以上,目前已有研究主要关注大量养分及其失衡对烟草品质的影响,较少关注中微量元素失衡的情况。因此,本研究选取抚仙湖流域澄江市典型植烟土壤和烟叶作为研究对象,在前期高密度土壤采样及其理化性质全面测定的基础上^[4],再选择典型烟田采集烟叶样品,分析烟叶大量和微量养分及关键品质参数,尝试通过土壤大中微量元素有效性与磷素有效性的比值评价土壤养分失衡状况,同时分析这类比

值与烟叶品质的相关性,以明确土壤养分失衡对烟叶养分吸收和品质的影响,为烟草种植精准优化技术的研发提供重要数据支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

云南省澄江市,位于抚仙湖北部,地处北亚热带低纬高原季风气候区,平均气温为 16.5℃,常年日照时数 2 141.8 h,常年降水量 900~1 200 mm。澄江市主要有盆地、湖泊、河谷 3 种地貌,山区面积占 73.42%,水面占 18.16%,坝区占 7.97%,海拔介于 1 327~2 920 m。土壤类型以红壤(55.32%)为主,其次为酸性紫色土(13.52%)、水稻土(7.29%)和棕壤(4.62%),也包含少量红色石灰土(0.49%)和冲积土(0.14%)。本研究选择澄江市右所镇和龙街镇相对连片的区域作为研究对象,研究区面积约 1 130 hm²,土壤类型主要为水稻土。目前区内烤烟种植面积约 860 hm²,绝大部分由原来的菜地改种而来。原来的菜地蔬菜种植一般均在 30 年以上,但自 2018 年以来,为了保护抚仙湖水域的生态环境,政府已陆续引导农民停止蔬菜种植,目前区内蔬菜地已非常有限。

1.2 样品采集与分析

2022 年在烤烟移栽和施肥前对研究区进行了土壤密集采样,了解了土壤理化性质和养分的空间分布状况,评价了植烟的土壤障碍因素^[4]。本研究在前期土壤采样点的基础上,均匀布设 107 个典型烟田进行土壤和烟叶样品的采集,其土壤采样流程见参考文献[4]。烟叶样品采集完成于 2023 年 7 月和 8 月烤烟成熟时。在每个典型烟田,采摘植株中部和上部烟叶,标记后烘烤,取烤后 C3F 和 B2F 烟叶样品各 1 kg,粉碎过孔径 2 mm 筛,置于聚乙烯密封袋内,再装入样品瓶中,贴上标签,常温下保存,待测。

土壤样品分析指标及其测定方法^[13]:交换性钙和镁,乙酸铵浸提-电感耦合等离子光谱法;全氮,重铬酸钾-硫酸消化法;碱解氮,碱解扩散法;有效磷,碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;速效钾,乙酸铵浸提-火焰光度计法;有效铁、锰、铜和锌,二乙基三胺五乙酸(DTPA)浸提-电感耦合等离子体原子发射光谱法。

烟叶样品分析指标及其测定方法:将粉碎的烟叶样品用浓硫酸和双氧水消化,消化液用凯氏定氮法测定氮含量,钼锑抗比色法测定磷含量,火焰光度计法测定钾含量,电耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)法测定铜、铁、锰、锌元素含量,连续流

动法测定烟叶总糖与还原糖含量^[14], 气相色谱-质谱联用法测定烟碱含量^[15]。

1.3 数据处理与分析

采用SPSS 21.0计算土壤和烟叶性质的基本统计特征, 包括平均值、标准差、变异系数、峰度、偏度等。研究表明, 蔬菜种植过程中, 随着种植时间的增加, 土壤有效磷含量不断增加^[16], 因此, 本研究利用土壤其他养分含量与有效磷含量的比值作为养分失衡的指标, 考察土壤养分失衡状况; 并通过拟合各比值与烟叶品质参数之间的相关性, 分析土壤养分失衡对烟叶品质的影响。

2 结果与讨论

2.1 土壤养分基本特征

对于大量营养元素, 研究区土壤全氮含量介于0.50~4.30 g/kg, 平均为1.67 g/kg(表1), 数据分布基本呈正态分布, 变异系数、峰度和偏度均不高; 碱解氮含量变化范围相对较宽, 在23.69~336.64 mg/kg, 平均为103.75 mg/kg, 主要集中在90~200 mg/kg, 导致峰度和偏度较高; 有效磷含量也有较大的变化范围, 为13.32~196.26 mg/kg, 平均为59.72 mg/kg, 变异系数相对较高; 速效钾含量变化范围相对较小, 为82.40~346.00 mg/kg, 平均值为195.72 mg/kg, 数据接近正态分布。

对于中量营养元素, 研究区土壤交换性钙含量分布较宽, 介于5.52~63.21 cmol/kg, 平均为24.59 cmol/kg, 其数据分布接近正态分布(表1); 交换性镁含量介于1.15~8.88 cmol/kg, 平均为4.74 cmol/kg, 其含量有较宽的变化范围, 但标准差、峰度和偏度均不高, 数据分布也接近正态分布。

对于微量元素, 研究区土壤有效铜含量介于0.55~21.40 mg/kg, 平均为3.68 mg/kg, 含量有较宽的变化范围, 但标准差、峰度和偏度均较高, 数据分布有些偏态, 相对含量较低的样点偏多(表1); 有效铁含量介于9.98~233.93 mg/kg, 平均值48.13 mg/kg, 其含量有较宽的变化范围, 但标准差、峰度和偏度均较高, 与有效铜含量的情况类似, 数据分布有些偏态, 相对含量较低的样点偏多; 有效锰含量变化范围也较大, 为6.20~50.500 mg/kg, 平均为25.13 mg/kg, 峰度和偏度较小, 含量较高的样品偏多; 有效锌含量变化范围也较大, 介于0.25~12.05 mg/kg, 平均为3.16 mg/kg, 但其数据分布的正偏态较其他几个微量元素更明显, 含量较低的样点数比例更高。

从上述典型样点土壤养分性质的描述看, 对比前期密集采样的数据统计特征^[4], 两者较为接近, 表明这些典型样点在很大程度上反映了研究区土壤养分的含量、变异和分布规律, 也反映了供试土壤大量、中量和微量元素含量普遍偏高的特点。

表1 土壤养分含量及其与有效磷含量比值统计参数($n=107$)
Table 1 Statistics of soil nutrients and their ratios to available phosphorus

土壤指标	最大值	最小值	均值	超标情况 ^[17]	标准差	变异系数	峰度	偏度
全氮(g/kg)	4.30	0.50	1.67	适宜	0.72	0.43	0.88	0.77
碱解氮(mg/kg)	336.64	23.69	103.75	适宜	50.94	0.49	3.64	1.28
有效磷(mg/kg)	196.26	13.32	59.72	超标	41.35	0.69	1.66	1.42
速效钾(mg/kg)	346.00	82.40	195.72	适宜	62.11	0.32	-0.23	0.53
交换性钙(cmol/kg)	63.21	5.52	24.59	超标	10.96	0.45	2.59	1.16
交换性镁(cmol/kg)	8.88	1.15	4.74	超标	1.56	0.33	0.44	0.31
有效铜(mg/kg)	21.40	0.55	3.68	超标	2.96	0.81	12.24	2.94
有效铁(mg/kg)	233.93	9.98	48.13	超标	41.54	0.86	4.87	2.07
有效锰(mg/kg)	50.50	6.20	25.13	超标	10.06	0.40	-0.53	0.24
有效锌(mg/kg)	12.05	0.25	3.16	超标	2.28	0.72	4.45	1.75
ACa/AP	1.81	0.07	0.60		0.43	0.72	0.37	1.08
AMg/AP	0.40	0.02	0.11		0.07	0.66	1.92	1.33
ACu/AP	0.42	0.01	0.09		0.09	0.95	2.84	1.70
AFe/AP	5.65	0.18	1.02		0.93	0.92	7.21	2.41
AMn/AP	2.08	0.06	0.62		0.44	0.72	1.96	1.33
AZn/AP	0.28	0.02	0.06		0.04	0.66	15.04	3.27

注: 表中ACa/AP、AMg/AP、ACu/AP、AFe/AP、AMn/AP、AZn/AP分别表示土壤中交换性钙、交换性镁、有效铜、有效铁、有效锰、有效锌含量与有效磷含量的比值; 下同。

总体上看,土壤中微量元素有效态含量/有效磷含量的比值大部分变异系数较高(表 1),在 0.66 以上,最高可达 0.95,反映这些参数具有较大的变化范围;除 ACa/AP 的峰度较低外,其余均较高,反映比值较集中,而所有比值偏度均大于 1,表明比值偏小的样点较多,呈正偏态。

需要指出的是,研究区土壤有效磷的平均含量为 59.72 mg/kg,远超适宜范围 15~30 mg/kg^[17]。土壤磷是烤烟生长发育的必需元素之一,直接参与光合作用的光合磷酸化和碳同化过程,对烟叶的能量代谢和品质形成有着重要影响^[18]。土壤缺磷时,烟株生长缓慢,叶片窄小、发黑;土壤磷过量时,出现叶片变老变黄,组织粗糙,烟草成熟过早、减产等问题^[19]。

表 2 烟叶养分和品质统计参数
Table 2 Nutrient properties of tobacco leaves

烟叶指标	最大值	最小值	均值	标准差	变异系数	峰度	偏度
氮(g/kg)	23.5	10.6	16.1	2.9	0.18	-0.66	0.34
磷(g/kg)	4.1	1.1	2.1	0.5	0.22	2.29	1.06
钾(g/kg)	36.5	13.2	26.1	4.4	0.17	0.04	-0.35
铜(mg/kg)	30.94	2.46	15.49	6.50	0.42	-0.56	-0.09
铁(mg/kg)	468.54	84.02	180.32	90.68	0.50	2.16	1.64
锰(mg/kg)	75.81	13.68	31.93	12.01	0.38	1.25	0.81
锌(mg/kg)	65.20	12.98	33.75	11.51	0.34	-0.26	0.31
总糖(g/kg)	365	132	261	50	0.19	-0.53	-0.81
还原糖(g/kg)	299	84	189	50	0.27	-0.80	-0.22
烟碱(g/kg)	40.6	11.6	21.1	44	0.21	2.67	0.06

相对于大量养分,研究区烟叶铜含量变化范围更宽,在 2.46~30.94 mg/kg,平均为 15.49 mg/kg,变异系数相对较大,但峰度和偏度均较小(表 2)。铁含量也有较大的变化范围,在 84.02~468.54 mg/kg,平均为 180.32 mg/kg,变异系数相对较大,峰度和偏度也较高。锰含量变化范围在 13.68~75.81 mg/kg,平均为 31.93 mg/kg,与铁含量类似,变异系数、峰度和偏度相对较大。锌含量变化范围在 12.98~65.20 mg/kg,平均为 33.75 mg/kg,统计特征与土壤有效铜含量相似,变异系数相对较大,但峰度和偏度均较小。

研究区烟叶总糖含量变化范围在 132~365 g/kg,均值达 261 g/kg,变化范围不大,变异系数很小,有一定负偏态,整体含量较高(表 2)。烟叶还原糖含量在 84~299 g/kg,平均为 189 g/kg,统计特征与总糖含量类似。与总糖含量 230~290 g/kg 和还原糖含量 200~230 g/kg 的适宜范围^[17]相比,研究区烟叶还原糖含量偏低。烟叶烟碱含量变化范围在 11.6~

考虑到土壤有效磷对烟叶产量和品质影响的重要性,本研究选择有效磷作为土壤养分失衡基值是合适而可行的。

2.2 烟叶养分和品质基本特征

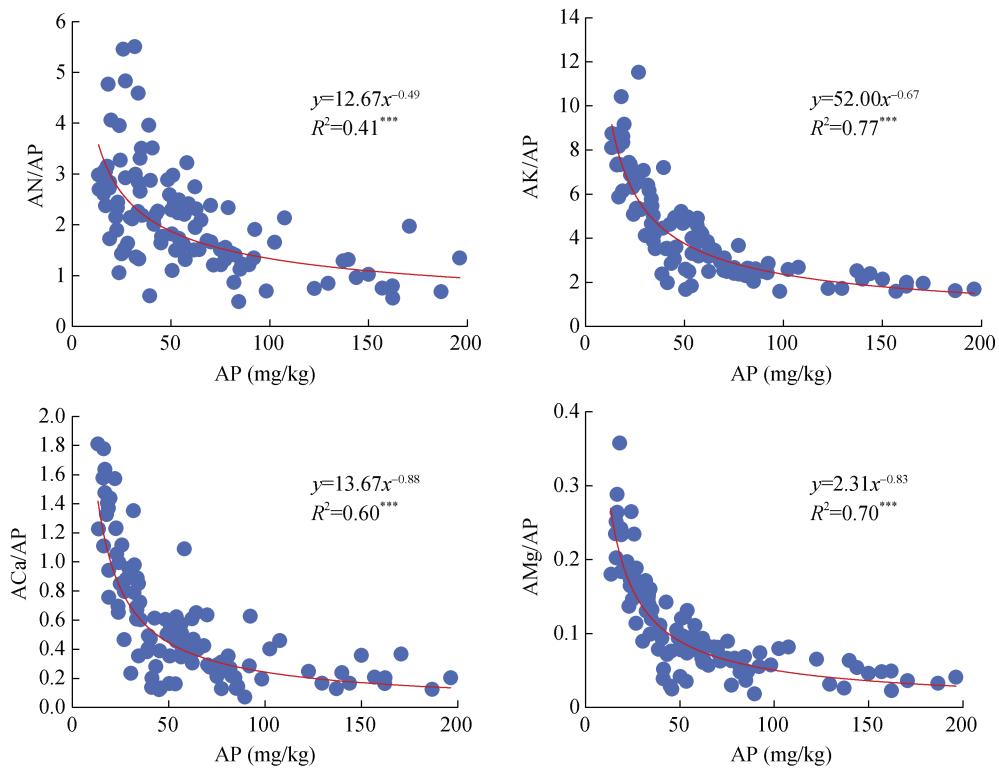
研究区烟叶养分和品质参数的统计特征描述如表 2 所示。其中,氮素含量介于 10.6~2.35 g/kg,均值为 16.1 g/kg,含量较为集中,变异系数较小,峰度和偏度均较小,低于烟叶的最佳含氮量(25 g/kg)^[17]。磷素含量介于 1.1~4.1 g/kg,平均为 2.1 g/kg,变异系数较小,但峰度和偏度偏高,含量变化更小。钾素含量介于 13.2~36.5 g/kg,均值达 26.1 g/kg,高于优质烟钾含量≥20 g/kg 的标准^[17],且含量较为集中,变异系数较小,峰度和偏度均较小。

40.6 g/kg,平均为 21.1 g/kg,大致处于优质烟叶标准(20~30 g/kg)的下限^[17],变异系数较小,但峰度偏高,表明其含量在平均值附近集中。值得注意的是,烟叶中的糖碱比平均达到 12.4,大致处于优质烤烟(8.5~13.5)的上限^[17]。

2.3 土壤养分失衡状况评价

由图 1 可以看出,AN/AP(碱解氮/有效磷)和 AK/AP(速效钾/有效磷)均随着土壤有效磷含量(AP)的增加呈极显著的指数降低趋势($P<0.001$)。对于 ACa/AP 和 AMg/AP,随着土壤有效磷含量的增加,也呈极显著的指数下降趋势($P<0.001$)。

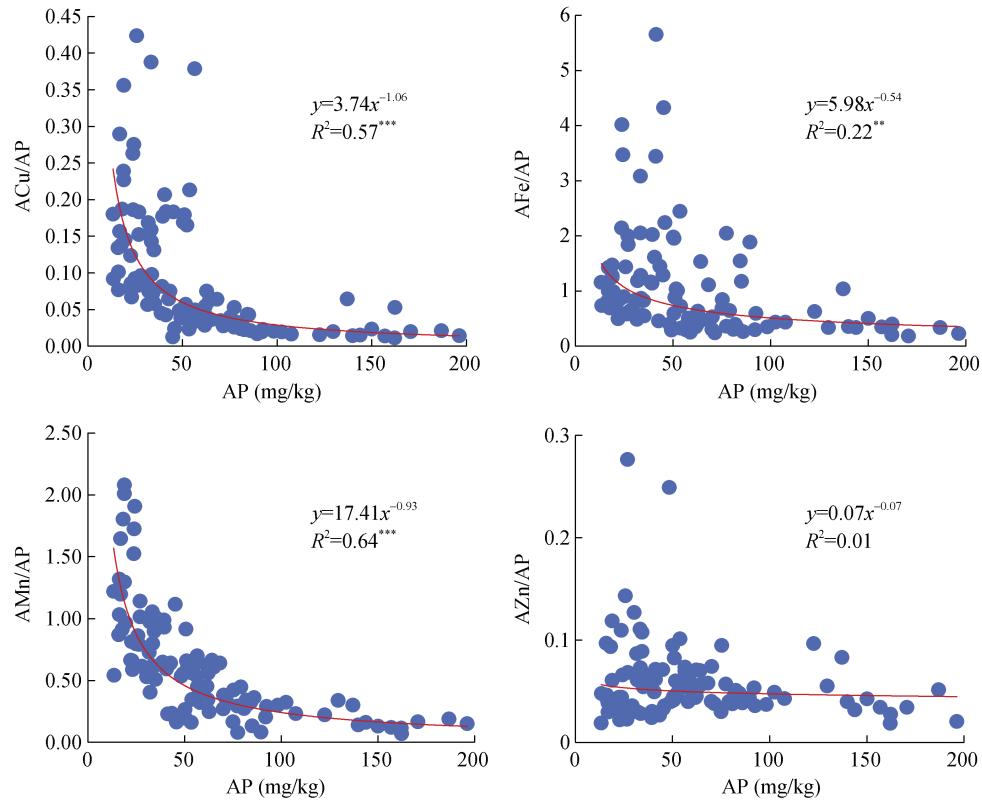
同样地,由图 2 可见,ACu/AP、AFe/AP 和 AMn/AP 也随土壤有效磷含量增加呈指数下降,其中 ACu/AP、AMn/P 与土壤有效磷含量呈极显著负相关($P<0.001$),AFe/AP 与土壤有效磷含量呈显著负相关($P<0.05$)。这表明随着土壤有效磷含量的增加,土壤中铜、铁和锰的有效性增加不明显,其与土壤有效磷



(***表示在 $P < 0.001$ 水平显著相关)

图1 土壤大量和中量养分/有效磷比值与有效磷含量的相关关系

Fig. 1 Correlations between ratios of soil macro- and meso-nutrients to available phosphorus and available phosphorus content in soils



(**、***分别表示在 $P < 0.01$ 、 $P < 0.001$ 水平显著相关)

图2 土壤微量元素有效态/有效磷比值与有效磷含量的相关关系

Fig. 2 Correlations between ratios of micro-nutrients to available phosphorus and available phosphorus content in soils

含量的比值快速下降,土壤存在明显的养分元素失衡状况。尽管 AZn/AP 与土壤有效磷含量之间相关性未达显著水平,但仍可以看出,两者之间也存在一定的反向关系,即也存在一定程度的失衡。

2.4 土壤养分失衡对烟叶质量的影响

土壤养分有效态/有效磷比值与烟叶大量养分含量的相关性分析结果(表 3)表明,除 AN/AP 和 AZn/AP 外,其他比值与烟叶氮含量呈极显著负相关($P<0.01$),表明土壤中大部分养分的失衡均有可能导致烟叶氮的积累。但相对而言,大多数养分比值与烟叶磷的吸收无关,仅 AN/AP 和 AFe/AP 分别与烟叶磷素含量呈显著的负相关和正相关($P<0.05$),但相关系数较小,表明土壤养分失衡似乎对烟叶的磷素吸收影响不大。土壤养分失衡对烟叶钾素吸收的影响主要表现在土壤钙和镁的失衡上, ACa/AP 与烟叶钾含量呈极显著负相关, ($P<0.01$), AMg/AP 与烟叶钾含量呈显著负相关($P<0.05$),表明在土壤钙和镁有效态含量相对有效磷含量较低的情况下,有利于烟叶对钾素的吸收。

AN/AP 与烟叶铜含量呈显著正相关($P<0.05$), AK/AP 、 ACa/AP 、 AMg/AP 和 AMn/AP 与烟叶锰含

量呈极显著正相关($P<0.001$),表明随着这些养分失衡程度的增加,烟叶对铜的吸收会明显降低。 AK/AP 与烟叶铁含量呈显著负相关($P<0.05$), ACa/AP 与烟叶铁含量呈极显著负相关($P<0.01$),表明这两个元素失衡会增加烟叶铁的吸收,而其余养分元素失衡对烟叶铁的吸收影响不大。 AK/AP 、 Ca/AP 、 AMg/AP 和 AMn/AP 与烟叶锰含量呈显著($P<0.05$)或极显著正相关($P<0.001$); AZn/AP 、 ACu/AP 和 AFe/AP 与烟叶锌含量间呈显著($P<0.05$)或极显著正相关($P<0.001$),表明不同元素的失衡对烟叶锰、锌吸收具有不同的影响。总体来说,土壤养分失衡对烟叶铜、锰和锌吸收具有抑制作用,对烟叶铁吸收具有促进作用。

土壤养分元素比值与烟叶品质指标间也显示出了极显著相关性。具体表现为, AK/AP 、 ACa/AP 、 AMg/AP 、 AMn/AP 与烟叶总糖和还原糖含量均呈极显著正相关($P<0.001$),这些比值的降低,失衡程度加大,有可能会导致烟叶中还原糖的降低。相反,这些比值与烟叶烟碱含量呈极显著负相关($P<0.01$ 或 $P<0.001$),即这些元素比值的降低,失衡程度的增大,会增加烟叶中烟碱的积累。

表 3 土壤有效态养分/有效磷比值与烟叶养分和品质参数的相关系数

Table 3 Correlation coefficients between ratios of soil available nutrients to available phosphorus and nutrients & quality indicators of tobacco leaves

	烟叶氮	烟叶磷	烟叶钾	烟叶铜	烟叶铁	烟叶锰	烟叶锌	总糖	还原糖	烟碱
AN/AP		-0.20*		0.24*						
AK/AP	-0.37**			0.39**	-0.22*	0.34*		0.44***	0.41***	-0.34**
ACa/AP	-0.26**		-0.29**	0.38***	-0.26**	0.40***		0.51***	0.55***	-0.40***
AMg/AP	-0.30**		-0.23*	0.39***		0.37***		0.46***	0.45***	-0.36***
ACu/AP	-0.35***			0.44***			0.37***			
AFe/AP	-0.28**	0.21*		0.50***			0.64***			
AMn/AP	-0.31**			0.38***		0.38***		0.36***	0.28**	-0.26**
AZn/AP					-0.27**	0.20*				

注: *、**、***分别表示在 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 、 $P<0.001$ 水平显著相关。

2.5 讨论

抚仙湖沿湖盆地内的植烟农田大多数是蔬菜种植地转化而来。由于蔬菜种植时间长,种植过程中施肥量大,土壤中的养分普遍高于一般农田,这是该地区土壤养分普遍偏高的重要原因。另外,在蔬菜种植的施肥过程中,普遍存在化肥施用量过大的问题,且养分种类单一,缺乏微量元素。虽然有机肥是微量元素的主要来源之一,但其微量元素含量相对于大量元素占比明显偏低。土壤养分调查结果显示,蔬菜种植中氮肥和磷肥的年施用量通常可达粮食作物农田的 3 倍以上,甚至高达数十倍,导致土壤中大量元素的含量呈数量级增长;相比之下,通过有机肥引入的微

量元素则相对有限,增幅一般不超过两倍^[20]。尽管酸性肥料的使用可能使土壤趋于酸化,从而在一定程度上提高部分微量元素的有效性,但这种提升幅度仍然较小,同时还可能降低钙、镁等中量元素的有效性。因此,在此类土壤中,中微量元素与大量元素之间的养分失衡现象较为普遍。

对于各种养分有效态含量/有效磷含量比值较低的土壤,其往往均是原蔬菜种植强度较大的土壤,氮磷甚至钾养分含量均较高,尽管相较于磷素的增加,其增幅并不显著,但仍能维持烟叶对氮素吸收量的提升,或促进烟叶中烟碱的积累。对于烟叶钾的吸收,只在钙、镁等中量元素失衡即两者相对于磷的积累减

少的情况下,才有利于烟叶钾素的吸收。烟叶对土壤中钙、镁与钾的吸收存在拮抗作用,有研究发现,云南地区土壤钙钾比和镁钾比过高导致了烤烟缺钾^[21]。对于烟叶中各种微量元素和还原糖含量,土壤大部分元素的失衡均抑制了这些组分的吸收。这些结果显示,在蔬菜种植的高养分含量土壤上,土壤养分失衡对烟叶养分吸收的影响是明显的,未来土壤养分失衡对烟叶品质的影响机理是值得深入研究的重要内容。另外,在植烟土壤养分管理过程中,应该注意根据土壤养分失衡状况及对烟叶品质的影响,精准调节施肥配比和施肥技术,针对本研究区,需适当降低磷肥投入,而土壤有效磷降低后,会增加烟叶对钙镁和微量元素的吸收,因此可以同时考虑减少或停用这些中微量元素肥料。

3 结论

受历史长期蔬菜种植过程中人为施肥管理的影响,抚仙湖流域烟田土壤养分整体偏高,但相对于大量养分(氮、磷、钾)的增加,中微量元素(钙、镁、铜、铁、锰、锌)的增加比例较低,表现为土壤的大中微量元素有效态含量/有效磷含量比值均随着有效磷含量的增加呈指数下降,造成土壤养分失衡愈加明显。

土壤大部分养分失衡会提升烟叶中氮和烟碱含量,土壤钙镁养分失衡则可增加烟叶中钾含量,土壤中钾和大部分中微量元素有效态含量/有效磷含量比值的提高,会提高烟叶中铜、锰、锌和还原糖含量,进而明显影响烟叶品质。因此,为确保优质烟叶生产,除关注土壤大量养分平衡外,还应关注中微量元素的平衡。研究区未来的施肥策略应该是:近年内适当降低磷肥用量,减少或停用钙镁肥和微肥。

参考文献:

- [1] 谢新乔, 陆俊平, 田育天, 等. 玉溪市 100 m 级植烟土壤质地品质的区划研究[J]. 土壤学报, 2023, 60(4): 1113–1122.
- [2] 陈相标, 丁文荣. 滇中高原湖泊流域土地利用变化及生态系统服务功能[J]. 水土保持研究, 2022, 29(3): 205–212.
- [3] 杨绍聪, 吕艳玲, 沐婵, 等. 抚仙湖北部农田区不同施肥对水稻产量、氮素吸收及利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(15): 1–6.
- [4] 徐勇贤, 梁强, 周勇, 等. 抚仙湖流域典型农田土壤质量状况及烟草种植障碍因素[J]. 土壤, 2024, 56(1): 103–111.
- [5] 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.
- [6] 王佰成, 孟祥海, 张星哲, 等. 土壤养分管理对作物产量与品质的影响研究[J]. 农业与技术, 2024, 44(4): 19–22.
- [7] 刘晓霞, 杨东. 秸秆还田方式对土壤质量和萝卜产量及品质的影响[J]. 土壤, 2023, 55(4): 771–778.
- [8] 王玉苗, 王志慧, 刘军, 等. 新疆叶城两种主栽红枣土壤养分、微生物多样性与营养品质的比较分析[J]. 微生物学杂志, 2024, 44(2): 53–61.
- [9] Feng J N, Xia T Y, Wu C, et al. Current research and perspective of soil nutrients spatial variation characteristics in flue-cured tobacco planting soil in China[J]. Eurasian Soil Science, 2023, 56(10): 1432–1441.
- [10] 黄士航, 田丰, 张莉, 等. 云南师宗烟区土壤养分与烟叶化学成分研究[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(5): 173–180, 184.
- [11] 张龙, 翟绪, 王梅, 等. 毕节烟区土壤理化性质与烟叶化学品质指标的关系研究[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(7): 1797–1801.
- [12] 杨树明, 余小芬, 邹炳礼, 等. 曲靖植烟土壤 pH 和主要养分空间变异特征及其影响因素[J]. 土壤, 2021, 53(6): 1299–1308.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 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—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [15] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 烟碱、降烟碱、新烟碱、麦斯明和假木贼碱的测定 气相色谱-质谱联用法: YC/T 383—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [16] 李嘉欣, 李智, 郭明月, 等. 不同种植年限设施蔬菜土壤的理化性质及对供磷能力的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(1): 210–218.
- [17] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [18] 方秀, 王林, 卢秀萍, 等. 曲靖烟区土壤磷锌互作对烟叶磷锌含量和品质的影响[J]. 土壤, 2018, 50(5): 894–901.
- [19] 龚丝雨, 梁喜欢, 杨帅强, 等. 低磷胁迫对不同磷效率基因型烟草苗期生长及生理特征的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(6): 1217–1224.
- [20] 刘兆辉, 江丽华, 张文君, 等. 山东省设施蔬菜施肥量演变及土壤养分变化规律[J]. 土壤学报, 2008, 45(2): 296–303.
- [21] 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.