

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.04.023

徐兴阳, 邱学礼, 杨树明, 等. 昆明烟区植烟土壤 pH 与中微量元素时空变异性研究. 土壤, 2023, 55(4): 887–893.

昆明烟区植烟土壤 pH 与中微量元素时空变异性研究^①

徐兴阳¹, 邱学礼², 杨树明², 田临卿¹, 罗云³, 刘忠华⁴, 李杰¹, 鲁耀²,
周敏², 耿川雄², 周绍松², 陈雅琼^{1*}, 余小芬^{2*}

(1 云南省烟草公司昆明市公司, 昆明 650051; 2 云南省农业科学院农业环境资源研究所, 昆明 650205; 3 红云红河烟草(集团)有限责任公司, 昆明 650202; 4 中国烟草总公司云南省公司, 昆明 650011)

摘要: 分析昆明烟区 5 个年度(2012—2020 年)共 4 888 份植烟土壤 pH 和中微量营养元素的年际变化特征, 为预测和阻控土壤酸化及科学配施中微量营养元素提供理论基础。结果表明, 2012—2020 年: ①pH 均值介于 6.0~6.4, 主要分布在微酸性至中性范围, 随种植年限的增加, 强酸性土壤频度增加, 微酸性和中性土壤减少; ②有机质均值变幅为 29.7~32.2 g/kg, 自 2018 年后有所下降; ③交换性镁均值介于 240.6~270.7 mg/kg, 整体较丰富, 随种植年限增加略有降低; ④有效锌主要分布在很高等级, 有效硼和水溶性氯主要分布在低和很低等级; ⑤除 pH 外, 5 个年度的土壤有机质、交换性镁、有效锌、有效硼和水溶性氯样本的空间变异性较高。综上所述, 在常规施肥管理模式下, 昆明烟区植烟土壤酸碱度、有机质和交换性镁含量整体适宜, 近年来有缓慢下降趋势; 有效硼和水溶性氯含量整体偏低, 均表现出一定的时空异质性。因此, 基于昆明烟区常规施肥水平上, 在注重提高有机肥和硼肥施用量, 降低锌肥施用量的同时, 应保持土壤交换性镁和水溶性氯的平衡。

关键词: 昆明烟区; 植烟土壤; pH; 中微量元素; 时空变异

中图分类号: S153.4; S153.6 **文献标志码:** A

Spatial-temporal Variability of Soil pH, Organic Matter and Medium and Trace Elements in Kunming Tobacco-planting Area

XU Xingyang¹, QIU Xueli², YANG Shuming², TIAN Linqing¹, LUO Yun³, LIU Zhonghua⁴, LI Jie¹, LU Yao², ZHOU Min², GENG Chuanxiang², ZHOU Shaosong², CHEN Yaqiong^{1*}, YU Xiaofen^{2*}

(1 Kunming Branch of Yunnan Tobacco Company, Kunming 650051, China; 2 Agricultural Environment and Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; 3 Hongyun-Honghe Tobacco (Group) Co., Ltd., Kunming 650202, China; 4 Yunnan Tobacco Company of China National Tobacco Corporation, Kunming 650011, China)

Abstract: In order to provide the basis for predicting and controlling soil acidification and scientific application of medium and trace element fertilizers, the interannual variation characteristics of pH value, medium and trace elements in tobacco-growing soils of 4 888 samples in 5 years (2012—2020) in Kunming were analyzed. The results show that, between 2012 and 2020, 1) The average pH is between 6.0 and 6.4, mainly distributed in slightly acidic to neutral grades, the frequency of strongly acidic soils is increased while those of slightly acidic and neutral soils are decreased with the planting years; 2) The average variation of organic matter content is between 29.7 g/kg and 32.2 g/kg, decreased gradually since 2018; 3) The average value of exchangeable Mg²⁺ is ranged from 240.6 mg/kg to 270.7 mg/kg, which is abundant on the whole but tends to decrease with the increase of the planting years; 4) Available Zn is mainly distributed in very high grades, and available B and water-soluble Cl⁻ are mainly distributed in low and very low grades; 5) Except for pH, the spatial variability of organic matter, exchangeable Mg²⁺, available Zn, available B and water-soluble Cl⁻ are higher spatiotemporal heterogeneity in the 5 years. In conclusion, under the conventional fertilization management, pH, organic matter and exchangeable Mg²⁺ of tobacco-planting soil are generally suitable, but with a slow downward trend in recent years. Therefore, based on the level of conventional fertilization, the balance of soil exchangeable Mg²⁺ and water-soluble Cl⁻ should be maintained, but the application rate of organic fertilizer and B fertilizer should be increased while

①基金项目: 中国烟草总公司云南省公司科技计划重点项目(2020530000241020)资助。

* 通讯作者(312547613@qq.com; 2543757367@qq.com)

作者简介: 徐兴阳(1974—), 男, 云南盐津人, 硕士, 高级农艺师, 主要从事烟草新品种、新技术、新方法研究。E-mail: yy_xxy@sina.com

that of Zn fertilizer should be reduced.

Key words: Kunming tobacco-growing area; Tobacco-growing soil; pH; Medium and trace elements; Spatiotemporal heterogeneity

近年来,土壤酸化导致的土壤质量退化是农业生产中面临的一个主要问题,严重威胁着土壤生态系统的功能实现。土壤 pH 在协调土壤与烤烟养分供需之间的关系方面有着不可或缺的作用^[1],其值的高低对烤烟生理生化^[2-3]、土壤微生态环境^[4]等方面有重要的影响,因而适宜的植烟土壤 pH 是生产优质烟叶的关键。长期施用化肥会导致土壤酸化^[5],尤其是氮肥的过量施用被认为是加速土壤酸化进程的重要原因之一^[6],而酸性复合肥可显著促进土壤酸化^[7]。土壤中微量元素与烟叶化学成分、致香物质之间典型相关^[8]。于建军等^[9]基于偏相关和通径分析指出,烟叶和土壤中微量元素含量呈极显著正相关。然而生产中烟农偏重大量元素肥料的施用,中微量元素肥料施用严重不足,加上近年来农家肥施用量减少或不施现象较为普遍,中微量元素缺乏已逐渐成为限制烤烟产量和品质的重要因素。

昆明烟区是云南省核心烟叶生产区,年种植烤烟约在 $4.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。在 2009 年版的《中国烟叶区划》^[10]中,昆明市所有县(市)均列入适宜和最适宜植烟区域,其烟叶原料一直深受卷烟工业企业的青睐,但近年来烟叶品质下降等问题已引起广泛关注,加上近年来由于受经果林等种植的进一步挤压,烟田向山区转移的趋势加快,土壤问题日趋凸显。昆明烟区土壤区域特征近年来也有所报道^[11-13],但主要集中在大量元素的时空异质性,涉及微量元素的较少。加上烟区有机肥施用量甚少的情况,烟草专用复合肥、硫酸钾等生理性酸性肥料的长期施用,是否会导致植烟土壤 pH 及主要中微量元素含量的下降鲜见报道。基于此,本研究基于 2 年 1 次的昆明烟区植烟土壤普查的结果,旨在探究植烟土壤 pH 及主要中微量元素的时空变异,为预测和阻控烟田土壤酸化及科学配施中微量元素营养元素提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

昆明市位于云南省中部, $102^{\circ}10' \text{ E} \sim 103^{\circ}40' \text{ E}$, $24^{\circ}23' \text{ N} \sim 26^{\circ}22' \text{ N}$ 。气候类型属于北纬低纬亚热带高原山地季风气候,主要受印度洋西南暖湿气流的影响,具有日照长、霜期短的特点,年降水量约 1 100 mm,年均温 15° C 。地貌类型以湖盆岩溶高原地貌形态为

主,红色山原地貌次之,总体地势为北高南低,即由北向南呈阶梯状降低。土壤类型主要有红壤、水稻土、紫色土、黄壤、冲积土和石灰性土。昆明烟区年均烤烟种植面积维持在 $4.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,烟草核心产区主要分布在海拔 1 500 ~ 2 200 m,垂直气候特征明显。

昆明烟区一般根据烤烟品种特性和土壤肥力状况确定氮肥施用比例,施肥量为 75 ~ 105 kg/hm² 纯氮,基肥:追肥为 6:4 或 5:5。一般以硫酸钾做追肥,施肥量多在 450 ~ 600 kg/hm²,在中耕时一次性施入。中微量元素肥一般采取缺啥补啥的原则。

1.2 样品采集与制备

分别于 2012 年(595 份土样)、2014 年(997 份)、2016 年(1 080 份)、2018 年(1 070 份)和 2020 年(1 146 份)整地起垄前,对昆明市的嵩明县、寻甸县、禄劝县、石林县、宜良县、安宁市、富民县和晋宁区 8 个主要植烟区具有代表性的耕层土壤(0 ~ 20 cm)依据地块特征采用“M”或“S”形 5 点取样,然后按四分法留 1.0 kg 左右制成 1 个混合样,共计取样 4 888 份。取样时,应避免开粪堆,并剔除残膜、根系及石砾等杂物,同时利用 GPS 定位采集点经纬度及海拔信息(图 1)。取样后带回实验室风干、磨细过筛后备用。

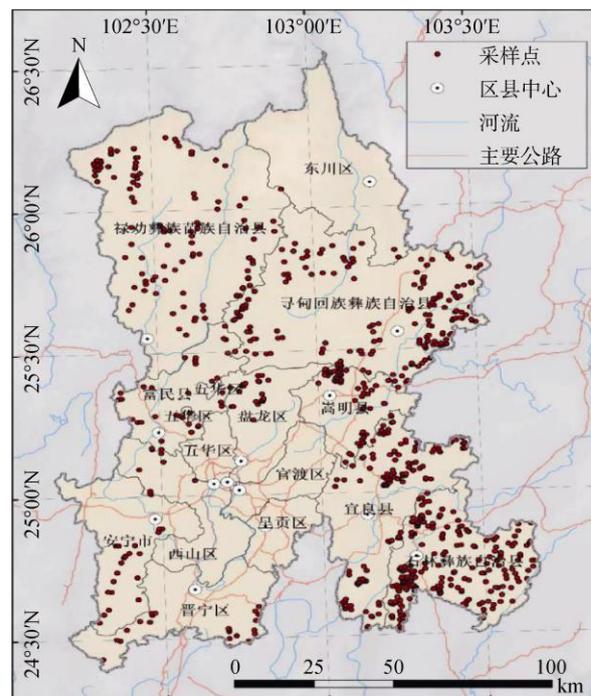


图 1 土样采集点分布图

Fig.1 Distribution of soil sampling sites

1.3 检测项目及方法

土壤 pH 采用电位计法测定, 有机质采用重铬酸钾容量法-外加加热法测定, 交换性镁采用 EDTA 滴定法测定; 有效硼采用沸水浸提-甲亚胺比色法测定, 有效锌采用 HCl 浸提-AAS 法测定, 水溶性氯采用水浸提-硝酸银滴定法测定。具体测定方法详见《土壤农化分析》^[14]。

1.4 土壤 pH 及中微量元素丰缺分级标准

依据相关文献^[13, 15]分级标准, 确定土壤 pH 分级标准为 pH<4.5(极强酸性)、4.5~5.5(强酸性)、5.5~6.5(微酸性)、6.5~7.5(中性)、7.5~8.5(微碱性)、>8.5(强碱性); 有机质、交换性镁、有效硼、有效锌和水溶性氯含量的分级标准见表 1。区域间样本的差异性采用变异系数(Coefficient of Variation, CV)三级评价法^[16]进行判断, 即 CV<10%, 弱变异; CV 介于 10%~30%, 中等变异; CV>30%, 强变异。

表 1 土壤养分分级标准
Table 1 Classification standards of soil nutrients

指标	很高	高	中等	低	很低
有机质(g/kg)	>45	35~45	25~35	15~25	<15
交换性镁(mg/kg)	>400	200~400	100~200	50~100	<50
有效锌(mg/kg)	>3.0	1~3	0.5~1	0.3~0.5	<0.3
有效硼(mg/kg)	>1.5	1~1.5	0.5~1	0.2~0.5	<0.2
水溶性氯(mg/kg)	>45	30~45	20~30	10~20	<10

表 2 昆明烟区植烟土壤 pH 年度统计信息

Table 2 Statistical information of soil pH during 2012—2020 in Kunming tobacco-planting area

年度	均值	变异系数(%)	中值	极差	等级占比(%)					
					<4.5	4.5~5.5	5.5~6.5	6.5~7.5	7.5~8.5	>8.5
2012	6.2±0.5 B	12.7	6.1	3.3	0.2	21.5	42.7	29.1	6.6	0.0
2014	6.4±0.8 A	13.3	6.3	4.0	0.3	17.6	40.5	29.6	12.0	0.0
2016	6.4±0.8 A	12.5	6.3	3.9	0.3	14.7	43.1	32.2	9.7	0.0
2018	6.2±0.7 B	12.7	6.1	3.3	2.4	33.4	30.2	18.4	15.5	0.0
2020	6.0±1.0 C	15.8	5.9	4.4	2.4	31.8	33.7	25.2	7.0	0.0

注: 同列数据大写字母不同表示差异达 $P<0.01$ 显著水平, 下同。

2.1.2 有机质含量 2012—2020 年, 昆明烟区植烟土壤有机质含量均值变幅在 29.3~32.1 g/kg(表 3), 以 2014 年最高, 2016—2020 年显著($P<0.05$)下降。中值变化范围为 28.2~30.6 g/kg, 极差变化范围为 61.6~137.0 g/kg, 说明昆明烟区植烟土壤有机质含量年际间波动较小。5 个调查年度植烟土壤样本的 CV 介于 36.9%~50.9%, 属于强变异。从频度分布来看, 2012—2020 年处于低和很低水平的植烟土壤分别为 30.3%、31.4%、36.9%、39.4%、39.1%, 处于高和很高水平的植烟土壤分别为 36.6%、36.9%、30.6%、

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2017 和 IBM Statistics SPSS 19.0 分别进行数据处理作图和方差分析。基于 ArcGIS 10.1 平台采用克里格法(Kriging)进行相关的指标空间插值处理。

2 结果与分析

2.1 昆明烟区植烟土壤 pH 和有机质含量动态变化

2.1.1 pH 2012—2020 年, 昆明烟区植烟土壤 pH 均值为 6.0~6.4, 年际间存在差异性(表 2)。从表 2 可以看出, 2014 年和 2016 年的植烟土壤 pH 均值相同, 高于 2012 年、2018 年和 2020 年 0.2~0.4 个单位, 达到极显著差异水平($P<0.01$), 主要分布在微酸性至中性范围。5 个调查年份土壤 pH 的 CV 介于 12.5%~15.8%, 均属中度变异。从分布频度来看, 2012—2016 年昆明烟区植烟土壤 pH 为微酸性土壤占 40.5%~43.1%, 中性土壤占 29.1%~32.2%, 强酸性土壤仅占 14.7%~21.5%, 极少量为极强酸性, 无强碱性土壤。相较于 2012—2016 年的植烟土壤, 2018 和 2020 年植烟土壤极强酸性、强酸性土壤频度分别增加了 2.1%~2.2% 和 11.9%~18.7%, 而微酸性和中性植烟土壤频度分布降低了 9.4%~12.5% 和 7.0%~12.9%, 说明近年来昆明烟区植烟土壤酸碱度有升高趋势。

31.0%、29.6%。相较于 2012—2016 年, 2018—2020 年处于中等(25~35 g/kg)水平的植烟土壤频度有所降低。

2.2 昆明烟区植烟土壤交换性镁含量动态变化

近 9 年来, 昆明烟区植烟土壤交换性镁含量均值介于 240.6~270.7 mg/kg, 整体较丰富, 年际间存在小幅度降低趋势(表 4)。从表 4 可以看出, 昆明烟区 2012 年的植烟土壤交换性镁含量明显高于其他年度, 相较于 2012 年, 2014 年、2016 年、2018 年和 2020 年的植烟土壤交换性镁含量降幅分别为 4.5%、

表 3 昆明烟区植烟土壤有机质含量年度统计信息

Table 3 Statistical information of soil organic matter contents during 2012—2020 in Kunming tobacco-planting area

年度	均值(g/kg)	变异系数(%)	中值(g/kg)	极差(g/kg)	等级占比(%)				
					很高	高	中等	低	很低
2012	31.7 ± 11.7 ab	36.9	30.6	61.6	13.4	23.2	33.1	22.7	7.6
2014	32.1 ± 14.2 a	44.3	30.2	137.0	18.2	18.7	31.7	21.4	10.0
2016	29.3 ± 11.9 d	40.6	28.5	73.4	9.9	20.7	32.4	25.5	11.4
2018	29.9 ± 13.3 cd	36.9	30.1	61.6	13.6	17.4	29.5	27.8	11.6
2020	30.7 ± 15.6 bc	50.9	28.2	126.3	13.4	16.2	31.2	27.3	11.8

注：同列数据小写字母不同表示差异达 $p < 0.05$ 显著水平，下同。

表 4 昆明烟区土壤交换性镁含量年度统计信息

Table 4 Statistical information of soil exchangeable Mg^{2+} contents during 2012—2020 in Kunming tobacco-planting areas

年度	均值(mg/kg)	变异系数(%)	中值(mg/kg)	极差(mg/kg)	等级占比 (%)				
					很高	高	中等	低	很低
2012	270.7 ± 170.2 a	62.9	234.7	858.0	21.3	37.2	27.4	12.7	1.4
2014	258.4 ± 200.5 ab	77.6	209.8	1 867.0	17.4	34.3	30.4	14.1	3.8
2016	262.7 ± 177.2 ab	67.4	216.1	1 120.6	18.5	35.8	31.3	11.8	2.6
2018	244.2 ± 205.3 b	84.1	191.0	1 858.5	15.1	32.6	32.2	13.8	6.2
2020	240.6 ± 165.5 ab	82.0	201.2	964.7	14.6	35.6	33.0	12.8	4.0

3.0%、9.8%、11.1%。年际间样本的标准偏差(165.5 ~ 205.5 mg/kg)和极差(858.0 ~ 1 858.8 mg/kg)均较大，且 CV 介于 62.9% ~ 84.1%，属于强变异，说明昆明烟区不同年度的植烟土壤交换性镁含量异质性较高，均质性较低。从频度分布来看，昆明烟区 2012—2020 年间 80% 以上的植烟土壤交换性镁含量处于中等偏上水平，处于很低和低水平的样品占比数在 15% 左右，说明昆明烟区不同年度的植烟土壤交换性镁含量较适宜，少部分烟田应提高镁肥使用量。

2.3 昆明烟区植烟土壤微量元素含量动态变化

2.3.1 有效锌 从表 5 可以看出，昆明烟区植烟土壤有效锌含量年际间存在动态变化，以 2018 年度植烟土壤有效锌含量最高，极显著 ($P < 0.01$) 高于其他年度。5 个取样年度植烟土壤有效锌含量的中值在 1.8 ~ 2.6 mg/kg，极差在 8.7 ~ 32.7 mg/kg，且 CV 介于 67.8%

~ 83.2%，属于强变异。从频度分布来看，昆明烟区 90% 以上的植烟土壤有效锌含量处于中等偏上水平，处于低和很低水平的土壤频度仅占 5% 左右，其中处于很高水平的土壤占比呈增加趋势，处于高水平土壤占比整体呈降低趋势。

2.3.2 有效硼 由表 6 可以看出，昆明烟区植烟土壤有效硼含量均值为 0.5 ~ 0.8 mg/kg，中值和极差分别为 0.4 ~ 0.7 mg/kg 和 2.0 ~ 15.0 mg/kg，且 CV 介于 67.2% ~ 78.3%，属于强变异。基于有效硼含量等级频数分布分析表明，随种植年度的进程，处于中等和高水平的土壤频数呈先升后降趋势，而处于低和很低水平的土壤频数呈先降后升趋势。

2.3.3 水溶性氯 由表 7 可以看出，2012—2020 年昆明烟区植烟土壤水溶性氯含量整体呈先降后升趋势，其中，2012—2018 年呈持续降低趋势，2020 年有所提高。CV 介于 72.6% ~ 117.1%，属于强变异，

表 5 昆明烟区土壤有效锌含量年度统计信息

Table 5 Statistical information of soil available Zn contents during 2012—2020 in Kunming tobacco-planting areas

年度	均值(mg/kg)	变异系数(%)	中值(mg/kg)	极差(mg/kg)	等级占比(%)				
					很高	高	中等	低	很低
2012	2.5 ± 1.7 B	67.8	2.0	8.7	26.8	56.5	13.8	2.2	0.7
2014	2.3 ± 1.7 B	73.9	1.8	10.7	27.2	50.8	15.7	3.7	2.6
2016	2.5 ± 1.8 B	72.7	2.0	16.5	29.1	53.7	12.9	2.4	1.9
2018	3.4 ± 2.8 A	83.2	2.6	32.7	42.2	48.5	8.5	0.6	0.2
2020	2.4 ± 1.8 B	75.4	1.9	9.5	28.0	47.7	17.3	4.1	2.9

表6 昆明烟区植烟土壤有效硼含量年度统计信息

Table 6 Statistical information of soil available B contents during 2012—2020 in Kunming tobacco-planting area

年度	均值(mg/kg)	变异系数(%)	中值(mg/kg)	极差(mg/kg)	等级占比(%)				
					很高	高	中等	低	很低
2012	0.5 ± 0.3 d	67.2	0.4	2.0	2.4	6.4	32.7	43.3	15.3
2014	0.5 ± 0.4 cd	68.7	0.4	2.4	3.0	7.5	33.2	43.8	12.5
2016	0.8 ± 0.5 a	78.3	0.7	15.0	6.2	17.7	47.5	26.5	2.1
2018	0.7 ± 0.5 b	68.8	0.6	4.9	4.6	9.8	46.8	31.0	7.8
2020	0.6 ± 0.4 c	71.4	0.5	3.6	4.2	7.7	32.0	45.6	10.6

表7 昆明烟区植烟土壤水溶性氯含量年度统计信息

Table 7 Statistical information of soil water soluble Cl⁻ contents during 2012—2020 in Kunming tobacco-planting area

年度	均值(mg/kg)	变异系数(%)	中值(mg/kg)	极差(mg/kg)	等级占比(%)				
					很高	高	中等	低	很低
2012	19.3 ± 15.3	79.3	15.7	90.7	8.1	8.0	20.3	35.8	27.8
2014	16.7 ± 12.1	72.6	13.7	98.7	3.6	7.7	16.9	39.1	32.7
2016	10.7 ± 9.6	89.8	7.5	77.2	1.3	4.5	6.4	22.9	64.9
2018	9.7 ± 16.4	117.1	6.3	98.0	2.4	2.2	5.0	15.4	75.1
2020	13.2 ± 12.9	97.8	8.9	143.7	4.2	4.6	7.3	27.7	56.2

标准偏差为 9.6 ~ 16.4 mg/kg, 中值为 6.3 ~ 15.7 mg/kg, 说明昆明烟区不同年度植烟土壤有效硼含量整体较低。从等级占比看, 2014—2020 年, 昆明烟区植烟土壤水溶性氯含量小于 10 mg/kg 样本占 32.7% ~ 75.1%; 处于很高、高、中等及低水平的土壤频度呈先降后升趋势, 且均以 2018 年度最低; 处于很低水平土壤频数呈先增后降趋势, 其中 2018 年度水溶性氯含量处于很低水平的土壤频度最高。

2.4 2020 年昆明烟区植烟土壤 pH、有机质及中微量元素空间分布特征

从图 2 可以看出, 昆明烟区 2020 年度植烟土壤 pH 总体较适宜(图 2A), 主要介于 5.5 ~ 6.5, 强酸性的土壤主要分布在西部(安宁和富民)部分烟区。东南烟区(石林和宜良)和中部烟区(嵩明和寻甸)植烟土壤有机质含量整体较高(图 2B), 北部和西南部烟区植烟土壤有机质含量整体适宜。中部、北部及南部烟区植烟土壤交换性镁整体处于中等偏上水平, 东南部石林、安宁烟区有小部分植烟土壤交换性镁含量处于低和很低水平(图 2C)。昆明烟区 90.5% 的植烟土壤水溶性氯含量处于低和很低水平, 高氯植烟土壤主要分布在寻甸中部区域, 土壤存在低氯风险(图 2D)。昆明烟区所有植烟土壤有效锌含量均处于中等偏上水平, 低锌烟区主要分布在西南和西部部分烟区, 高锌烟区由北向南形成一个贯穿带分布(图 2E)。中部和南部烟区植烟土壤有效硼含量总体较适宜, 东部、北部、西南及西部烟区植烟土壤有效硼含量整体偏低, 高硼植

烟土壤主要分布在晋宁东北部和石林西南部(图 2F)。

3 讨论

酸碱度对土壤的许多化学过程, 如氧化还原、吸附解吸、沉淀溶解和配合反应等起到支配作用, 几乎所有的金属离子在土壤中的吸附解吸都依赖于 pH^[17-18], 因而土壤 pH 的高低影响着作物对养分的吸收与利用效率。本研究发现(表 2), 近年来(2012—2020 年)昆明烟区植烟土壤 pH 有所下降, 均值变幅为 6.0 ~ 6.4, 土壤集中分布在微酸性至中性等级, 但强酸性土壤频度呈增加趋势, 微酸性和中性土壤频度呈降低趋势, 说明昆明烟区植烟土壤有酸化趋势。土壤酸化是我国农业土壤退化面临的一个主要问题^[19]。长期大量施用酸性或生理性酸性肥料^[6, 20-21]、连作^[22]等是引起土壤酸化的主要因素, 说明昆明烟区植烟土壤酸化可能主要与长期施用酸性或生理性酸性肥料及连作有关, 因为施肥模式在一定的尺度上对土壤 pH 的影响较大^[23]。在生产方案的制定中, 昆明市中西部烟区应适量提高生石灰、碱性或生理性碱性肥料的施用量以提高土壤 pH, 其他烟区宜采用酸度较低, 且以有机氮、硝态氮为主的复合肥, 同时降低连作年限, 施用生物质炭等以阻控昆明烟区植烟土壤酸化趋势。

镁是烤烟产量和品质形成的重要元素之一。植物吸收的镁主要来自土壤交换态镁, 土壤交换态镁含量高低是评价镁素供应水平的主要指标^[24]。本研究(表 3)

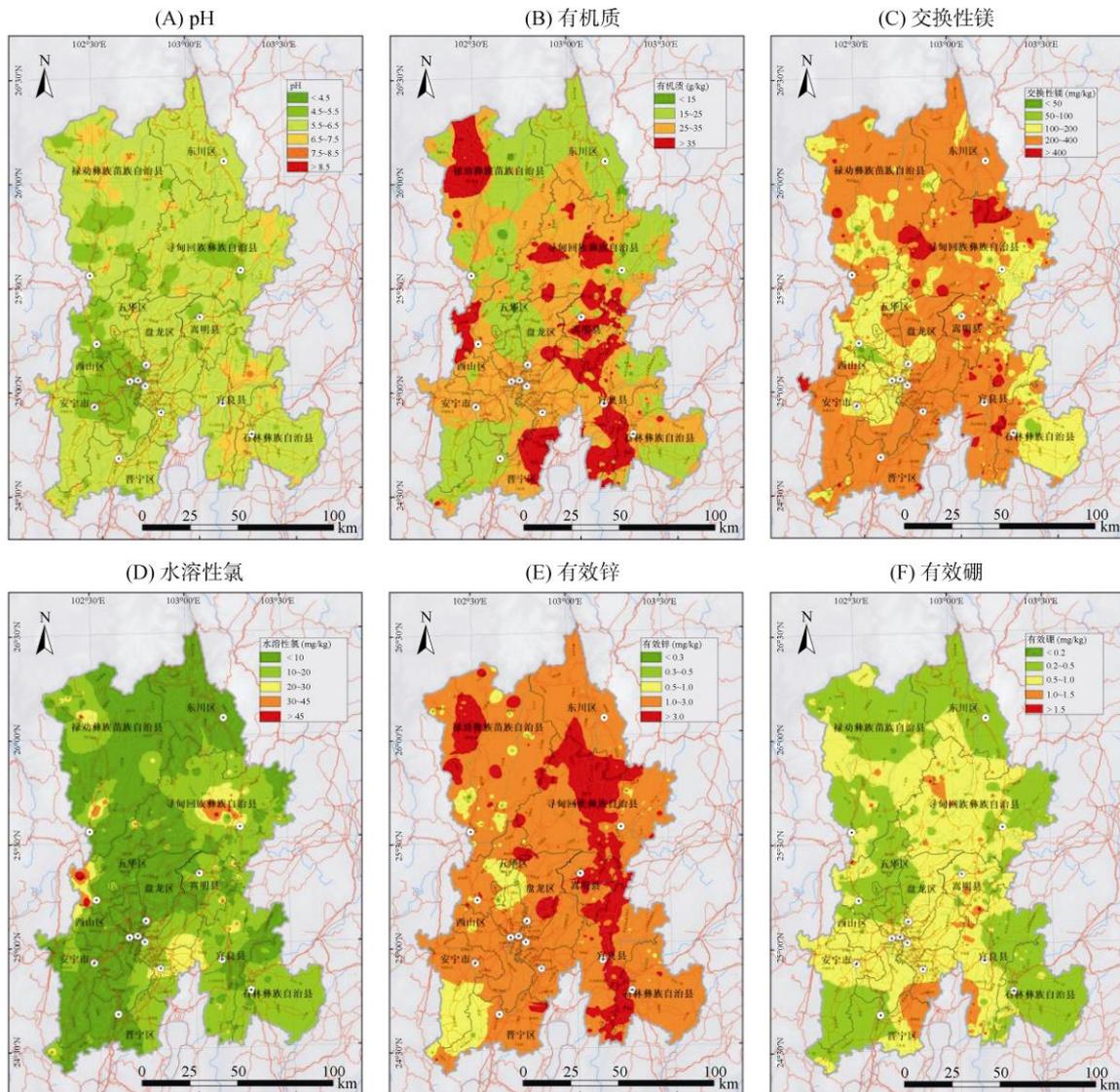


图 2 土壤 pH(A)、有机质(B)、交换性镁(C)、水溶性氯(D)、有效锌(E)和有效硼(F)空间分布

Fig. 2 Spatial distributions of soil pH (A), OM (B), exchangeable Mg^{2+} (C), water soluble Cl(D), available Zn (E) and available B (F)

发现昆明市 80% 以上的植烟土壤交换性镁含量处于中等偏上水平,但近年来土壤交换性镁含量有不同程度的降低,且区域间植烟土壤交换性镁含量变异性较高。李强等^[20]研究结果显示,交换性镁是土壤 pH 升高的主要驱动因素。谭军等^[25]研究发现,土壤交换性镁含量随土壤 pH 的升高而升高。王亮等^[26]研究指出,长期施用有机肥表层土壤交换性镁含量呈明显增加趋势,施用化肥土壤表层交换性镁含量呈明显下降趋势,而单施化肥配合覆膜则有利于提高土壤交换性镁含量。危锋和郝明德^[27]研究也认为,不同种植体系交换性镁在土壤剖面发生淋溶累积现象,在 60 ~ 100 cm 土层产生累积峰。可见导致昆明烟区植烟土壤交换性镁含量呈不同幅度下降趋势的原因可能是近年来农家肥、有机肥施用量少,以及酸性肥料的长

期施用导致 pH 下降,进而引起土壤交换性镁含量的降低;另外还可能与产区烤烟中耕揭膜后导致交换性镁容易淋失及其生产上只注重氮磷钾养分有关。

锌、硼是烟草生长发育必需的微量元素,对烟草产质量及工业可用性提高具有重要影响。该研究中,2012—2020 年,昆明烟区植烟土壤有效锌较丰富,90% 以上的土壤有效锌含量处于中等偏上水平,50% 以上的植烟土壤有效硼分布在低和很低水平,说明昆明烟区植烟土壤有效锌含量较丰富,有效硼较低,可能存在严重的低硼风险。李强等^[28]研究指出,海拔高度、土壤类型和 pH、有机质物料投入量及前茬作物均影响土壤有效态微量元素含量。丁燕芳等^[29]研究发现,随 pH 的升高,土壤有效锌含量呈先升后降趋势。昆明烟区植烟土壤维持较高的有效锌含量,

可能与烟区土壤 pH 和有机质含量降低有关,也可能与土壤背景值较高有关。烤烟是一种忌氯作物,氯供应过量或不足均会对烟叶品质产生不利影响^[30]。本研究表明,2012—2018年,昆明烟区植烟土壤水溶性氯含量持续下降,2020年有所提高,均值在9.7~19.2 mg/kg,且60%以上的植烟土壤氯含量较低。这可能与近年来烤烟施肥上严格限制含氯肥料的施用有关,说明昆明烟区植烟土壤存在低氯风险,生产中可适当提高含氯肥料的施用。

4 结论

2012—2020年,昆明烟区植烟土壤 pH、有机质、交换性镁、有效硼和水溶性氯含量均有缓慢降低的趋势,有效锌呈增加趋势。pH 空间变异较小,其余指标空间变异均较高。植烟土壤有机质和中微量元素管理应采取分类指导,测土配方施肥,减少酸性或生理性酸性肥料的使用,增加有机肥和碱性或生理性碱性肥料的应用比例。

参考文献:

- [1] 陈建军, 陈建勋, 吕永华. 根际 pH 值对烟草无机营养吸收的影响(简报)[J]. 植物生理学通讯, 1996, 32(5): 341-344.
- [2] 崔喜艳, 史岩玲, 赵艳, 等. 土壤 pH 值对烤烟叶片光合特性和烟碱含量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(6): 591-593, 602.
- [3] 崔喜艳, 陈展宇, 王思远, 等. 土壤 pH 值对烤烟叶片内超氧化物歧化酶活性及丙二醛含量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(3): 13-14, 18.
- [4] 敖金成, 李博, 阎凯, 等. 连作对云南典型烟区植烟土壤细菌群落多样性的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(1): 46-54.
- [5] 崔新卫, 张杨珠, 高菊生, 等. 长期不同施肥处理对红壤稻田土壤性质及晚稻产量与品质的影响[J]. 华北农学报, 2019, 34(6): 190-197.
- [6] 韩天富, 柳开楼, 黄晶, 等. 近 30 年中国主要农田土壤 pH 时空演变及其驱动因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(12): 2137-2149.
- [7] 吴聪敏, 陈漂, 韩小明, 等. 三元复合肥料的酸度特征及其对土壤酸化的影响[J]. 土壤, 2022, 54(2): 365-370.
- [8] 谢强, 史双双, 张永辉, 等. 泸州植烟土壤中微量元素含量与烟叶品质的关系[J]. 南方农业学报, 2012, 43(2): 200-204.
- [9] 于建军, 叶贤文, 董高峰, 等. 土壤与烤烟中微量元素含量的相关性[J]. 生态学杂志, 2010, 29(6): 1127-1134.
- [10] 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.
- [11] 李杰, 徐兴阳, 杨树明, 等. 昆明市植烟土壤养分时空变异特征及其适宜性评价[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2022, 44(2): 424-434.
- [12] 敖金成, 刘世文, 罗华元, 等. 昆明烟区土壤速效养分及中微量元素丰缺状况分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(10): 193-199.
- [13] 许龙, 李忠环, 陈荣平, 等. 昆明市植烟土壤2002—2006年养分状况变化动态分析[J]. 土壤, 2009, 41(2): 282-287.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 王树会, 邵岩, 邓云龙, 等. 云南植烟土壤主要养分特征及在生产上的对策[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(5): 690-693, 701.
- [16] 薛正平, 杨星卫, 段项锁, 等. 土壤养分空间变异及合理取样数研究[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 6-9.
- [17] 熊旭梅, 周雪, 郭佳, 等. 不同 pH 和氧气条件下土壤古菌与海洋古菌的竞争适应机制[J]. 土壤学报, 2022, 59(3): 833-843.
- [18] 温明霞, 石孝均, 聂振朋, 等. 重庆市柑桔园土壤酸碱度及金属元素含量的变化特征[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 191-194, 199.
- [19] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [20] 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): 743-751.
- [21] 孟红旗, 刘景, 徐明岗, 等. 长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变[J]. 土壤学报, 2013, 50(6): 1109-1116.
- [22] 邓阳春, 黄建国. 长期连作对烤烟产量和土壤养分的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 840-845.
- [23] 胡加云, 朱艳梅, 徐天养, 等. 云南省文山州烟田土壤主要肥力指标多年度动态变化[J]. 土壤, 2022, 54(1): 95-102.
- [24] 李伏生. 红壤地区镁肥对作物的效应[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 53-55.
- [25] 谭军, 周冀衡, 古琦, 等. 文山植烟土壤交换性钙镁分布特征及影响因素分析[J]. 烟草科技, 2017, 50(9): 15-22.
- [26] 王亮, 李双异, 汪景宽, 等. 长期施肥与地膜覆盖对棕壤交换性钙、镁的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1200-1206.
- [27] 危锋, 郝明德. 长期氮磷化肥配施对不同种植体系土壤交换性镁分布与累积的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2012, 38(2): 204-210.
- [28] 李强, 周冀衡, 张永安, 等. 曲靖植烟土壤有效微量元素的空间变异和影响因素[J]. 烟草科技, 2013, 46(10): 63-67, 79.
- [29] 丁燕芳, 赵凤霞, 米琳, 等. 豫中植烟土壤有效态微量元素与 pH 和有机质的关系[J]. 土壤, 2022, 54(1): 88-94.
- [30] 田飞, 罗建新, 刘建国, 等. 氯肥对烟田土壤和烟叶氯含量及产量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(3): 264-268.