DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2023.01.011

张龙、张忠启、蔡何青、等. 贵州毕节植烟区土壤 pH 空间分布特征及对施肥的影响. 土壤、2023、55(1): 85-93.

贵州毕节植烟区土壤 pH 空间分布特征及对施肥的影响^①

张 龙1、张忠启2*、蔡何青1、王美艳3、史学正3、孙维侠3

(1 贵州省烟草公司毕节市公司,贵州毕节 551713; 2 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院,江苏徐州 221116; 3 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)

摘 要:以贵州省毕节植烟区为研究对象,探讨了毕节烟区土壤 pH 变异的主要影响因子,通过地统计插值方法获得了土壤 pH 空间变异特征,并对该地区以改良酸化土壤为目的的炭基有机肥施用适宜性等级进行了划分。毕节烟区土壤 pH 均值为 6.5,其中大方和威宁两县的 pH 均值较低,仅为 6.2,而织金、金沙和黔西三县的 pH 均值超过了 7.0。因子分析表明,成土母岩和土壤类型是毕节烟区土壤 pH 变异性的主控因子。从空间分布特征来看,土壤 pH 整体分布呈现东部高于中西部,金沙县西北部、大方县东部、黔西县中部等地区 pH 均较高,而威宁县南部、赫章中北部和七星关区中西部等地区的土壤 pH 整体低于其他区域;土壤 pH 处于适宜等级(5.5<pH<7.0)的面积比例约为 44.1%,而高于和低于适宜等级的比例分别为 36.7%和 19.2%。炭基有机肥适宜施用区主要分布在西部和中部的部分地区,以及东部的局部区域,而不适宜施用区主要分布在东部地区和中部部分区域。从乡镇水平看,炭基有机肥重点施用乡镇多集中在威宁和七星关等县区,不宜施用区主要分布在黔西、织金和大方等县区,而一般施用区多分布在织金、纳雍和金沙等县区。本研究可为调节土壤酸碱为目的的炭基有机肥的精准施用提供科学依据。

关键词: 土壤 pH; 变异特征; 施肥; 毕节烟区

中图分类号: S159 文献标志码: A

Spatial Distribution Characteristics of Soil pH and Its Effect on Fertilization in Bijie Tobacco Growing Areas in Guizhou Province

ZHANG Long¹, ZHANG Zhongqi^{2*}, CAI Heqing¹, WANG Meiyan³, SHI Xuezheng³, SUN Weixia³

(1 Bijie Branch of Guizhou Tobacco Company, Bijie, Guizhou 551713, China; 2 School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou, Jiangsu 221116, China; 3 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: Taking Bijie tobacco planting area in Guizhou Province as the study area, based on the analysis of different influential factors on soil pH, the main controlling factors of soil pH variation were discussed, the spatial variation characteristics of soil pH were obtained by geostatistical interpolation method, and then the suitability grades of carbon-based organic fertilizer for improving acidified soil in this area were divided. The average value of soil pH in Bijie tobacco growing area is 6.5, the average value of soil pH in Dafang and Weining counties are both only 6.2, while those in Zhijin, Jinsha and Qianxi counties are all higher than 7.0. The comparative analysis shows that soil parent rock and soil types are the main controlling factors of soil pH variability in Bijie tobacco growing area. From the perspective of spatial distribution characteristics, soil pH distribution is higher in the east than those in the middle and west. Soil pH is higher in the northwest of Jinsha County, the east of Dafang County, and the middle of Qianxi County; lower in the south of Weining County, the middle and north of Hezhang County, and the middle and west of Qixingguan as a whole. The area proportion of soil pH is about 44.1% in the appropriate grade (5.5<pH<7.0), while the proportion higher and lower than the appropriate level is 36.7% and 19.2%, respectively. The suitable application area of carbon-based organic fertilizer is mainly distributed in the west and central and some areas of the east, while the unsuitable application area is mainly distributed in the east and central. At the township level, the key application of carbon-based organic fertilizer is mainly concentrated in Weining, Qixingguan and other counties, the unsuitable application

作者简介: 张龙(1987—), 男,贵州威宁人,硕士,农艺师,主要从事土壤及烟叶品质分析与评估。E-mail: 281824960@qq.com

①基金项目:贵州省烟草公司毕节市公司科技项目专项(2018520500240064)资助。

^{*} 通讯作者(zhangzq128@126.com)

areas are mainly distributed in Qianxi, Zhijin and Dafang counties, while the general application areas are mainly distributed in Zhijin, Nayong and Jinsha counties. This study can provide a scientific basis for the precise application of carbon-based organic fertilizer for the purpose of regulating soil acidity.

Key words: Soil pH; Variation characteristics; Fertilization; Bijie tobacco growing area

良好的土壤生态环境条件是维持烟草产量和质量的重要前提^[1-2]。土壤酸碱度不仅通过影响土壤养分的形成、转化对烟草生长发育产生重要作用,而且对区域植烟土壤的整体生态系统功能产生不可忽视的影响^[3-4]。pH 过低或过高,通常会改变土壤元素的有效性,从而导致烟株元素的失调^[5-6],故烟区土壤酸碱度的调节一直是烟区土壤管理的重要内容。

我国烟草种植面积广大,种植区域包括东南沿 海、华北、华中、西南和东北等地区[7]。由于植烟土 壤分布区域较广,各区域气候、土壤等环境条件不同, 导致不同烟区之间的土壤酸碱度空间变异特征及管 理措施出现差异[8-9]。一些学者对烟区土壤酸碱度的 水平等级开展研究,如魏国胜[10]研究了湖北省咸丰 县植烟土壤 pH 状况,发现该烟区土壤酸化严重,土 壤 pH 平均值仅为 4.4, pH<5.0 的强酸性土壤面积占 比高达80.3%, 对烟草生产造成不利影响; 王晖等[11] 研究了四川攀西烟区紫色土的 pH 状况, 发现大部分 采样点的土壤 pH 都在适宜范围之外,处于最适宜烤 烟生长范围的土壤样品占比为 13.3%, 而 pH>7.5 的 碱性土壤样品占比 50%。也有一些学者对烟区土壤酸 碱度的影响因子展开探讨,如欧阳磊等[12]研究了云 南沾益植烟土壤 pH 分布特征,发现土壤类型对 pH 有重要影响,不同土壤类型 pH 高低顺序表现为:新 积土>水稻土>紫色土>红壤; Zhang 等[13]研究发现重 庆地区连续植烟 10 a 后土壤 pH 平均下降 0.20 个单 位; Li 等人[14]的研究表明, 农田土壤 pH 的下降随母 质和土壤类型的不同而不同,土壤 pH 下降幅度大与 初始pH低和土壤阳离子交换容量(CEC)小密切相关。 针对烟区土壤 pH 调节的研究也日益受到重视。石灰 和白云石是较常使用的酸化土壤改良物质,但其在改 变土壤 pH 的同时, 也会造成土壤板结, 并引起钙镁 拮抗等作用[15]。美洲和非洲有些国家将一些工业副 产品如磷石膏等用于酸性土壤改良,但我国磷酸工业 产生的磷石膏中残留了比较多的酸性物质,限制了这 一方法在我国酸性土壤改良中的应用[16]。近几年, 施用炭基有机肥进行土壤改良成为流行做法,基于作 物秸秆等农业废弃物制备的炭基有机肥含有较强的 碱性物质,不仅能够提高土壤 pH 和降低交换性铝含 量,而且还能改善土壤理化性质,提高土壤肥力[17-18]。

已有研究表明,查明烟区土壤 pH 空间分布特征及其 主控因子是酸化土壤改良的必要前提。

毕节是贵州省优质烟叶产地,烟草种植面积较大,是全市经济社会发展的支柱产业,在全国烟草生产中具有重要地位。由于地形地貌条件复杂,地带性和非地带性土壤并存,导致毕节烟区土壤 pH 空间变异性强,给区域土壤改良带来挑战。近几年毕节地区已建成了烟杆炭基有机肥生产基地,为植烟区酸化土壤改良提供有利机会,现在迫切需要明确该有机肥适宜施用的具体区域,已成为该植烟区土壤研究的重要课题。鉴于此,本研究选择毕节市植烟区作为研究对象,通过野外土壤采样点数据,分析毕节烟区土壤pH 变异特征和区域分布特点,查明哪些地区适宜通过炭基有机肥施用改善土壤 pH,哪些地区不适宜施用,为该烟区炭基有机肥的精准施用和烟叶品质的提升提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

毕节市位于贵州省西北部,地处 26°21′N ~ 27°46′N,105°36′E~106°43′E,面积约 2.69×10⁴ km²,下辖七星关、大方、黔西、金沙、织金、纳雍、威宁和赫章 8 个县、区。该地区地处滇东高原向黔中山原过渡地带,地势整体上呈现西高东低,平均海拔为1400 m。全市属北亚热带季风湿润气候,年均降水量为849~1399 mm,各区县多年平均温度介于10~15℃,年日照时数为1096~1769 h,无霜期为245~290 d。该地区属于典型的岩溶山区,地形复杂,土壤类型多样,主要包括黄壤、黄棕壤、石灰土、紫色土、粗骨土等,其成土母岩主要包括碳酸盐岩、砂岩、砂页岩、页岩等类型。毕节市是贵州省的主要烟草产区之一,烟草种植面积约8.33×10⁴ hm²[19],其他农作物主要有水稻、小麦和大豆等。

1.2 样品采集与处理

本研究于2018年和2019年在毕节植烟区共采集了2059个土壤样点(图1)。采样时依据毕节烟草公司提供的"烟草规模种植统计表",计算出各区县及所辖乡镇的植烟面积权重,再根据面积比例分配采样点数量。为保证样品的代表性,土样均在烟草集中连

片区域采集。全部采样点所属土壤类型(土类等级)主要包括粗骨土、黄壤、黄棕壤、石灰土和紫色土,所属母岩类型分别为砂岩、砂页岩、页岩和碳酸盐岩。其中,大方县、赫章县、金沙县、纳雍县、七星关、黔西县、威宁县和织金县的土壤样点数量分别为309、168、98、129、143、173、958、81个。土壤样品采集分别于2018年10月和2019年10月进行,在每个采样点附近约20m范围内取4~5个土壤表层(0~20cm)样品,充分混合后取500g土为

1 个混合样品。采样时利用 GPS 定位仪记录采样点的经纬度和海拔高度,并记录各采样点的地形地貌等相关环境信息。本研究土壤 pH 采用 pH 计法(土水比为 1:2.5, m:V)测定,具体测定步骤遵照土壤农化常规分析方法进行^[20]。根据已有的植烟区土壤 pH 研究^[9.21],结合毕节地区的烟草种植情况,将毕节烟区土壤 pH 划分为极低(pH<5.0)、偏低(5.0<pH<5.5)、适宜(5.5<pH<7.0)、偏高(7.0<pH<7.5)和极高(pH>7.5) 5 个等级。

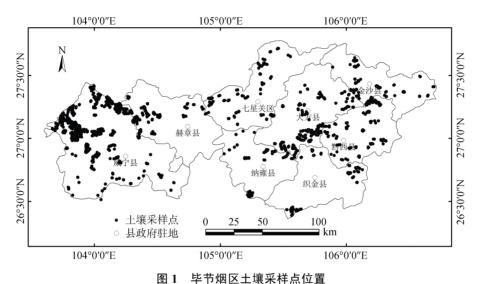


Fig. 1 Soil sampling points in Bijie tobacco growing area

1.3 数据来源

本研究使用的毕节地区的土壤类型图(1:25万)、成土母岩图(1:25万)及数字高程模型(DEM)数据(30 m×30 m)由毕节市农业和自然资源部门提供。

1.4 土壤 pH 空间插值

为提升毕节烟区土壤 pH 空间插值的精度,本研究采用结合环境因子的克里格方法。基于土壤 pH 影响因子分析,从土壤类型、母岩类型及海拔、地形位置和坡地部位等地形因子中,得到毕节烟区土壤 pH 变异性的主控环境影响因子,并将其作为土壤 pH 空间克里格插值的辅助因子,以提升研究区土壤 pH 空间插值精度。具体做法为:首先将全部采样点分为两部分,一部分为插值样点,另一部分为精度验证样点,两者分别占总样点数量的 80% 和 20%,即分别为 1 647 和 412 个采样点;其次依据土壤 pH 的主要影响因子将采样点分为若干个子类型,每个子类型土壤样点的 pH($Z(x_k)$)可以被分为子类型均值 $\mu(t_k)$ 和残差 $r(x_k)$ 两部分(公式 1)。

$$Z(x_{kj}) = \mu(t_k) + r(x_{kj})$$
 (1)
式中: t_k 为所属的子类型, x_{ki} 是样品所在位置。该方

法将各样点 pH 的总方差分为两部分,即子类型间均值方差和子类型内的残差方差,其中均值方差反映的是各子类型间的变异性,残差方差反映的是子类型内部土壤 pH 的变异性[22];最后,将全部采样点的土壤 pH 残差值作为新随机变量进行克里格空间插值,其变异函数 $\gamma_r(h)$ 和待估点 x_{ij} 的预测如公式(2)和(3)所示:

$$\gamma_r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \left[r(x_{kj}) - r(x_{kj} + h) \right]^2$$
 (2)

$$r^*(x_{kj}) = \sum_{j=1}^{m} \sum_{k=1}^{n(j)} \lambda_{kj} z(x_{kj})$$
 (3)

各待估点的土壤 pH 预测值 $Z^*(x_{kj})$ 为 pH 残差估计值 $r^*(x_{ki})$ 与子类型均值 $\mu(t_k)$ 之和,即:

$$Z^{*}(x_{kj}) = \mu(t_k) + r^{*}(x_{kj})$$
 (4)

土壤 pH 空间插值的不确定性通过 412 个验证点 预测值与实测值的均方根误差(RMSE)进行评价, RMSE 越小,则预测精度越高,反之精度越低。

1.5 施肥适宜性等级划分

炭基有机肥适官在酸性土壤和有机质含量低的

区域施用, 本研究基于土壤 pH 和有机质空间插值图 的栅格叠加,并综合考虑土壤 pH 和有机质含量水平, 通过栅格统计将毕节植烟区划分为不同的炭基有机 肥官施区域。首先将插值栅格的 pH 划分为极低 (pH<5.0)、偏低(5.0<pH<5.5)、适宜(5.5<pH<7.0)、偏 高(7.0<pH<7.5)和极高(pH>7.5)5个等级,将其宜施等 级值分别赋值为 5、4、3、2 和 1; 其次将插值栅格 的有机质含量亦划分为极低(SOM<10 g/kg)、偏低 (10<SOM<15 g/kg)、适宜(15<SOM<25 g/kg)、偏高 (25<SOM<35 g/kg)和极高(SOM>35 g/kg)5 个等级, 同样将其宜施等级值分别赋值为 5、4、3、2 和 1; 最后通过两赋值的乘积作为炭基有机肥宜施等级的 划分依据,将赋值乘积按照 12~25、6~11、<6 共 3 个等级分别确定为炭基有机肥的适宜施用区、次适宜 施用区和不适宜施用区。为更为精准地指导区域炭 基有机肥的施用,本研究将宜施等级细化至乡镇水 平,具体做法为:若该乡镇的适宜等级的面积占最 大比例,则将该乡镇确定为重点施用乡镇;若次适 官面积比例最大,则将该乡镇确定为一般施用乡镇; 若不适宜等级面积比例最大,则将该乡镇确定为不 宜施用乡镇。

1.6 数据统计分析

毕节烟区土壤 pH 数据的描述性统计分析,以及通过方差分析(ANOVA)对比不同土壤类型(土类等级)、母岩类型、海拔等级、地形位置和坡地部位之间的土壤 pH 差异是否显著,进而查明不同因子对毕节烟区土壤 pH 空间变异的影响程度差异,均是通过SPSS 20.0 完成。通过 GS⁺9.0 软件分析采样点 pH 数据的半方差函数,土壤 pH 插值图和炭基有机肥适宜施用性分布图由 ArcGIS 10.0 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 统计特征

毕节烟区全部土壤采样点(n=2 059) pH 的统计 结果(表 1)表明,烟区土壤 pH 均值为 6.5,整体上呈 弱酸性,变幅为3.8~8.7。全部样点pH的变异系数 为 0.2、为中等强度变异。从各县区看、大方、威宁 和七星关三县区的 pH 相对较低,分别仅为 6.2、6.3 和 6.3, 显著低于其他县区(P<0.05); 而织金、金沙 和黔西三县的 pH 均值达到或超过了 7.0,均显著高 于其他县区(P<0.05); 赫章和纳雍两县的 pH 居中, 但两者之间的差异也达到显著水平(P<0.05)。各县区 pH 分段统计表明,纳雍县土壤 pH 处于适宜等级的 比例最大,为 51.2%;其次为威宁、七星关、赫章和 大方四县区, 其比例分别为 45.3%、44.8%、44.2% 和 42.2%; 而金沙、黔西和织金三县区的比例较低, 分 别仅为 30.6%、34.3% 和 34.6%。大方县 pH 处于偏 低和极低两等级的比例之和为32.5%,而织金、金沙 和黔西三县的相应比例均低于10%;相反地,金沙、 织金和黔西三县土壤pH处于偏高和极高等级的比例 均超过了50%,而大方县的相应等级比例仅为25.3%。

2.2 不同因子对土壤 pH 的影响

不同土壤类型、母岩类型、海拔等级、地形位置和坡地部位之间的土壤 pH 统计如表 2 所示。从 5 种土壤类型间的 pH 对比结果看出,黄棕壤和黄壤的 pH 最低,分别仅为 5.7 和 5.8,而石灰土的 pH 最大,达到了 7.5,紫色土和粗骨土 pH 居中;除黄棕壤与黄壤之间的 pH 未达到显著性差异外,其他任意两种土壤类型的 pH 均差异显著(P<0.05)。从不同母岩发育的土壤来看,砂岩土壤 pH 最低,仅为 5.5,而碳酸

表 1 毕节植烟区土壤 pH 基本统计特征
Table 1 Basic statistical characteristics of soil pH in Bijie tobacco growing area

		Table	Dasic sta	itisticai characteris	sties of soil pil	in Dijie to	bacco growin	garca			
县区	样点数	最小值	最大值	均值±标准差	变异系数	pH 各等级分布频率(%)					
						< 5.0	5.0 ~ 5.5	5.5 ~ 7.0	7.0 ~ 7.5	>7.5	
						很低	偏低	适宜	偏高	很高	
威宁	958	3.8	8.5	6.3 ± 1.0 d	0.2	10.9	13.9	45.3	13.9	16.0	
赫章	168	5.0	8.4	$6.8 \pm 1.0 \text{ b}$	0.1	0.6	13.5	44.2	12.9	28.8	
七星关	143	4.3	8.1	$6.3 \pm 1.0 \; d$	0.2	12.6	13.3	44.8	15.4	14.0	
纳雍	129	4.5	8.7	$6.6 \pm 1.0 \text{ c}$	0.1	3.1	12.4	51.2	13.2	20.2	
大方	309	4.4	8.6	$6.2 \pm 1.0 \; d$	0.2	14.0	18.5	42.2	8.1	17.2	
织金	81	5.1	8.4	$7.1 \pm 0.9 \text{ a}$	0.1	0	7.4	34.6	16.0	42.0	
金沙	98	4.8	8.4	7.0 ± 0.8 a	0.1	2.0	7.1	30.6	29.6	30.6	
黔西	173	4.9	8.4	7.0 ± 0.9 a	0.1	1.2	6.4	34.3	25.0	33.1	
总体	2 059	3.8	8.7	6.5 ± 1.0	0.2	8.4	13.2	43.0	14.8	20.7	

注: 表中同列小写字母不同表示不同县区间 pH 差异显著(P<0.05)。

表 2 不同情景下的土壤 pH 统计 Table 2 Statistics of soil pH under different circumstances

分类划分		样点数量	均值±标准差	最小值	最大值	变异	分布频率(%)				
						系数	< 5.0	5.0 ~ 5.5	5.5 ~ 7.0	7.0 ~ 7.5	>7.5
							极低	偏低	适宜	偏高	极高
土壤类型	粗骨土	108	6.5 ± 1.1 b	3.8	8.3	0.2	9.3	11.1	36.1	20.4	23.1
	黄壤	512	$5.8 \pm 0.8 d$	4.0	8.1	0.1	15.6	19.3	61.1	1.6	2.3
	黄棕壤	470	$5.7 \pm 0.6 \; d$	4.1	7.2	0.1	14.0	27.9	56.6	1.5	0.0
	石灰土	778	$7.5 \pm 0.5 \text{ a}$	5.4	8.7	0.1	0.0	0.1	18.9	32.3	48.7
	紫色土	191	$6.2 \pm 0.8 \text{ c}$	4.5	8.3	0.1	6.3	12.0	69.6	7.3	4.2
母岩类型	砂岩	310	$5.5 \pm 0.7 d$	4.0	7.9	0.1	27.4	22.9	49.0	0.3	0.3
	砂页岩	610	$5.7 \pm 0.6 \text{ c}$	3.8	7.2	0.1	10.9	25.7	62.7	0.6	0.0
	页岩	179	$6.0 \pm 0.6 \text{ b}$	3.9	8.3	0.1	7.3	15.1	76.0	1.1	0.6
	碳酸盐岩	921	$7.4 \pm 0.5 \text{ a}$	5.4	8.7	0.1	0.1	0.1	22.0	32.0	45.8
	玄武岩	39	$5.7 \pm 0.6 \text{ c}$	4.7	7.0	0.1	17.9	17.9	64.1	0	0
海拔(m)	<1 200	145	$7.0 \pm 0.9 \text{ a}$	4.8	8.4	0.1	1.4	6.9	35.2	25.5	31.0
	1 200 ~ 1 600	690	$6.5 \pm 1.1 \text{ b}$	4.3	8.7	0.2	7.8	12.5	41.7	14.1	23.9
	1 600 ~ 2 100	794	$6.6 \pm 1.0 \text{ b}$	3.9	8.7	0.2	5.9	10.7	46.7	14.2	22.4
	>2 100	430	$6.0 \pm 1.0 \text{ c}$	3.8	8.4	0.2	15.3	19.8	43.7	12.8	8.4
地形位置	坝地	459	$6.4 \pm 1.0 \text{ a}$	4.1	8.5	0.2	7.6	14.2	47.7	13.5	17.0
	坡地	1 600	$6.5 \pm 1.1 \text{ a}$	3.8	8.7	0.2	8.4	12.6	42.4	15.0	21.6
坡地部位	坡顶	142	$6.4 \pm 1.2 \text{ b}$	4.2	8.7	0.2	14.8	15.5	34.5	10.6	24.6
	上坡	428	$6.4 \pm 1.0 \text{ b}$	3.8	8.4	0.2	8.6	14.5	45.3	14.7	16.8
	中坡	522	$6.6 \pm 1.0 \ a$	3.9	8.7	0.2	6.3	11.1	45.0	14.8	22.8
	下坡	384	$6.6 \pm 1.1 \ a$	4.1	8.5	0.2	8.6	11.2	40.1	13.8	26.3
	坡底	583	$6.4 \pm 1.0 \text{ b}$	4.0	8.5	0.2	7.7	13.9	45.6	16.1	16.6

注: 表中同列小写字母不同表示各分类划分下 pH 差异达显著水平(P<0.05)。

盐岩发育土壤的 pH 最高,达到 7.4,砂页岩和页岩 发育土壤的 pH 分别为 5.7 和 6.0,居于前两者之间; 除砂岩和玄武岩之间 pH 未达到显著差异外, 其他类 型间均达到显著差异水平(P<0.05)。各母岩类型采样 点 pH 的分布等级统计表明,砂岩土壤采样点中有 50.3%的比例处于偏低和极低等级;其次为砂页岩和 页岩,相应的样点比例为 36.6% 和 22.4%; 而碳酸盐 岩土壤的相应比例仅为 0.2%。从海拔等级来看, 低 于 1 200 m 的区域土壤 pH 最高, 达到 7.0, 而海拔超 过 2 100 m 的地区, 土壤 pH 最低, 仅为 6.0, 海拔处 于 1 200~1 600 m 和 1 600~2 100 m 两等级的土壤 pH 居中且较为接近,并与前两等级区域的 pH 之间 均达到显著差异(P<0.05)。从地形位置看, 坝地与坡 地位置上的土壤 pH 分别为 6.4 和 6.5, 两者之间未达 到显著水平; 坡地的坡顶、上坡、中坡、下坡和坡底 5个部位的土壤 pH 均介于 6.3~ 6.6, 仅中坡和下坡 土壤 pH 与其他部位达到显著性差异(P<0.05)。

基于相同的采样点,土壤类型、成土母岩、海拔

高度、地形部位和坡地位置 5 个因子的土壤 pH 方差分析(表 3)表明,不同因子对土壤 pH 变异的影响存在较大差异,土壤类型、母岩类型和海拔高度对 pH 的影响达到极显著水平(P<0.01),而地形位置和坡地部位的影响为显著水平(P<0.05)。其中,各母岩类型间 pH 方差分析的 F 值为 1 328.0,各土壤类型间 pH 方差分析的 F 值为 795.3,而海拔、地形位置和坡地部位对应的 F 值分别为 39.6、5.2 和 5.3。

2.3 土壤 pH 空间分布及施肥分区

方差分析表明母岩类型对土壤pH空间分布的影响大于其他因子(表 3)。故本研究将母岩类型作为土壤pH克里格插值的辅助信息,通过球状模型拟合了pH相关数据的半方差函数,得到了毕节烟区土壤pH空间分布特征图(图 2),并基于412个验证样点得到了研究区土壤pH空间预测的均方根误差为0.81。从插值图中可以看出,毕节烟区土壤pH具有较强的空间变异性,全市东部地区pH较高,而中部和西南部地区pH偏低;从各县区pH分布看,黔西、金沙两

县的中部和大方县的东部地区 pH 较高,而七星关区中西部、威宁县南部 pH 较低。而从各 pH 分级面积及占比的统计结果看,毕节烟区土壤 pH 以适宜等级(5.5<pH<7.0)的比例最高,达到 44.1%; 其次为偏高(7.0<pH<7.5)和偏低(5.0<pH<5.5)等级,两等级的面积占比分别为 20.6%和 16.8%; 而极高(pH>7.5)和极低(pH<5.0)的面积占比分别为 16.1%和 2.4%。从整体上看,该烟区土壤 pH 超过适宜区间的比例较高,达到 36.7%,而低于适宜区间的面积比例为 19.1%。

乡镇水平的炭基有机肥官施等级划分如图 3 所

示。可以看出,毕节植烟区炭基有机肥适宜施用区、次适宜施用区和不适宜施用 3 种类型区共存,其中次适宜施用区面积最大,达到 60.2%,其次是适宜施用区,面积比例为 25.1%,而不适宜施用区的面积比例仅为 14.7%。炭基有机肥适宜施用区主要分布在毕节烟区的西部和中部的部分地区,以及东部的局部区域;不适宜施用主要分布在东部地区和中部的部分区域;而次适宜施用区主要分布在中东部地区。从行政区划上看,威宁县西部、七星关区的东南部和大方县的西北部是炭基有机肥的适宜施用区;而赫章县中北

表 3 不同分类方法的土壤 pH 方差分析
Table 3 Variance analysis of soil pH by different classification methods

分类	方差来源	偏差平方和	自由度	均方	F 值
土壤类型	组间	1 341.2	4	335.3	795.3**
	组内	828.0	1 964	0.4	
	总	2 169.2	1 968		
母岩类型	组间	1 452.8	4	484.3	1 328.0**
	组内	716.4	1 965	0.4	
	总	2 169.2	1 968		
海拔等级	组间	123.6	3	41.2	39.6**
	组内	2 045.6	1 965	1.0	
	总	2 169.2	1 968		
地形位置	组间	5.7	1	5.7	5.2*
	组内	2 163.5	1 967	1.1	
	总	2 169.2	1 968		
坡地部位	组间	23.2	4	5.8	5.3*
	组内	2 146.0	1 964	1.1	
	总	2 169.2	1 968		

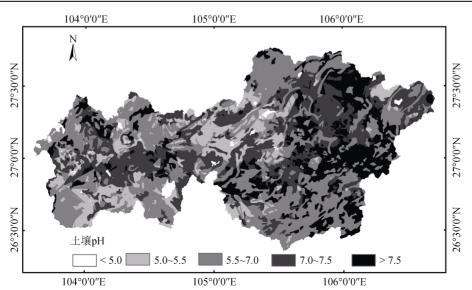


图 2 毕节烟区土壤 pH 空间分布图 Fig. 2 Spatial distribution of soil pH in Bijie tobacco growing area

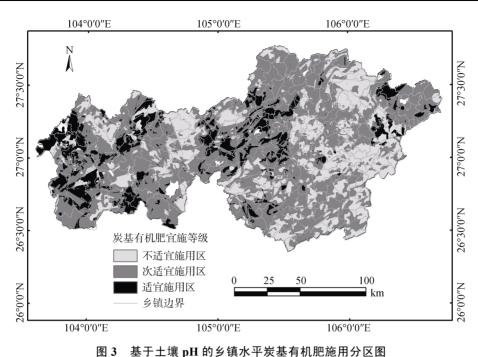


Fig. 3 Zoning map of carbon-based organic fertilizer application at township level based on soil pH

部、黔西县中南部、金沙县中北部和金沙县中东部是 不适宜炭基有机肥施用的地区。

依据炭基有机肥适宜、次适宜和不适宜等级的 面积比例,将毕节市全部乡镇划分为炭基有机肥重 点施用、一般施用和不宜施用 3 种类型, 其乡镇数 量分别为 47、170 和 41 个。在重点施用的乡镇中, 以威宁和七星关等县区的乡镇为主(图 4), 两县区的 重点施用乡镇数量均为 14 个,占全区比重分别为 40.0%和 31.1%,相对较大。一般施用乡镇主要分布 在织金、纳雍和金沙等县区, 其面积比例均在 70% 以上。炭基有机肥不官施用的乡镇在各县区中均有 分布,但黔西、织金、大方县的不宜施用乡镇相对 较多,其中黔西县的不宜施用乡镇占全县的比例最 高,达到了51.6%,织金和大方县的相应比例分别 为 21.9%和 18.9%。

讨论

毕节植烟区 2 059 个土壤采样点的 pH 数据统计 表明,该烟区土壤 pH 均值为 6.5。按照陈江华等[1] 学者关于 pH 处于 5.5 ~ 6.5 为最适宜烟草生长的观 点,毕节植烟区土壤 pH 整体上应十分有利于烟草种 植。但 pH 值分区统计表明,处于适宜(5.5<pH<7.0) 等级的样点比例(43.0%)不足全部样点的一半,而 pH 低于和高于适宜等级的样点比例分别为 21.6% 和 35.5%, 这说明毕节烟区土壤 pH 具有较强的空间差 异性,存在较大比例的低值和高值区域。符云鹏等[4] 基于 2006 年在毕节植烟区采样数据(n=348)得到毕节 土壤 pH 均值为 6.4, 处于 5.5 ~ 6.5 之间的比例达到 44.8%。与该研究结果相比, 当前毕节烟区土壤 pH 虽然有所上升, 但不适宜烟草生长的比例也大为增

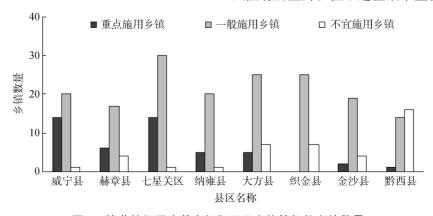


图 4 毕节植烟区炭基有机肥不同官施等级的乡镇数量

Fig. 4 Village and town numbers with different suitable application grades of carbon-based organic fertilizer in Bijie tobacco planting area

加,这必然对该地区烟草生产带来不利影响。各县区 土壤 pH 及各等级对比结果表明,8 个县区间土壤 pH 存在较大差异,较强的土壤 pH 空间变异性给毕节烟 区制定科学的土壤和环境管理措施带来挑战。

土壤 pH 的空间变异受到多种因子的制约。首先, 由于钾、钙、镁等碱性盐基离子的大量流失, 加之化 肥的不合理施用,导致黄棕壤和黄壤的酸化相对严 重,而石灰土的钙、镁盐基离子含量较高,使其 pH 较高和极高等级的比例明显高于其他土壤类型。可见 土壤类型对毕节烟区土壤 pH 具有重要影响, 阙劲松 等[23]在云南红河州弥勒市的研究也证实了不同土壤 类型间的 pH 可存在较大差异。其次,成土母岩对 pH 存在极大影响,砂岩发育土壤偏酸的比例最高,其次 为砂页岩和页岩,而碳酸盐岩发育的土壤基本上不存 在酸化状况,这主要是由于各母岩发育土壤盐基离子 淋失差异造成盐基饱和度不同[24]。再者,不同地形 因子对土壤 pH 的影响有所差异。海拔对土壤 pH 的 影响达到显著水平,高海拔地区植烟土壤的pH较低, 酸化土壤分布较广。这主要是由于高海拔地区的降水 略高,土壤盐基离子淋溶强度大于低海拔地区。这与 唐韵等人[25]在湖南省龙山县烟区的研究结果较为一 致。周炼川等[26]在云南省文山植烟区的研究也发现 了随着海拔升高土壤 pH 呈降低趋势。坝地与坡地等 地形位置之间的土壤 pH 差异未达到显著水平, 尽管 坡地的中、下坡与其他部位的土壤pH达到了显著差 异(P<0.05), 但各部位土壤 pH 整体差异不大。对比 分析表明,母岩和土壤类型是影响毕节烟区土壤 pH 分布特征的主控因子。因此, 在对土壤 pH 偏高和偏 低的区域进行改良时,应充分考虑母岩和土壤类型的 空间分布特征, 进而采取有针对性的农业管理措施。

从空间分布格局看, 毕节东部地区的 pH 略高于中西部地区, 大致上呈现东部高西部低的整体格局。这与土壤 pH 主要影响因子的空间分布特征密切相关。西部地区的土壤多为基于砂岩、砂页岩等母岩类型发育而来, 以黄棕壤和黄壤等土壤类型为主, 而碳酸盐岩发育的土壤分布相对较少, 这与遵义烟区相同母岩的土壤较为相似^[9]。由于该地区处于亚热带海拔较高地区, 降雨频繁, 有利于黄棕壤和黄壤的累积黏化过程, 同时具有硅、铁淋溶的富铝化特征, 土壤多呈酸性反应。同时, 考虑到该地区气候较为湿冷, 土壤水分蒸发弱而入渗作用强, 土壤依然存在酸化趋势。因此, 这些地区应成为今后酸化土壤调节和治理的重点区域。东部地区多为碳酸盐岩发育的石灰土比例较高, 脱钙程度低, 盐基含量丰富而维持较高

的 pH, 甚至部分地区的 pH 已超过了 7.5, 这与刘 杰等[27]在铜仁烟区的研究结果以及蔡凯等[28]在贵州 全省植烟区的研究结果一致,较高的土壤 pH 将对烟 草的牛长发育及烟叶品质产牛不利影响。分析表明, 毕节植烟区土壤 pH 偏低和偏高均大面积存在, 在制 定土壤管理措施时应区别对待。近几年来, 毕节植烟 区开始试点炭基有机肥以改善土壤条件,由于炭基有 机肥偏碱性, 因此在进行以提升酸化土壤 pH 为目的 而施用炭基有机肥时,并不适合在全部植烟区共同施 用, 而是要开展有针对性地科学施用。在土壤 pH 较 低(pH<5.5)和有机质含量也较低(SOM<25 g/kg)的乡 镇可大量施用炭基有机肥,作为炭基有机肥的重点施 用区;对于土壤 pH(5.5<pH<7.0)和有机质含量适中 (25<SOM<35 g/kg)的乡镇,不宜大量施用炭基有机 肥,建议酌情少量施用;而对于土壤 pH 偏高(pH>7.0) 及有机质含量也较高(SOM>35 g/kg)的乡镇则不宜施 用炭基有机肥,不建议施用,以免由于炭基有机肥施 用造成 pH 和有机质含量进一步升高,对烟草生长造 成不利影响。

4 结论

本研究基于毕节烟区 2 059 个土壤采样点,分析了该烟区土壤 pH 现状、空间分布格局及影响土壤 pH 空间变异的主要因子,并由此确定了炭基有机肥施用适宜性的空间分区。毕节烟区 pH 平均值为 6.5,空间分异较大,pH 偏高和偏低的烟区比较均较大。母岩对土壤 pH 的空间分布起到决定性影响,其次为土壤类型。土壤 pH 在空间分布上大致呈现东部高西部低的整体格局,毕节植烟区的中部和西部的部分区域适宜施用炭基有机肥重点施用乡镇多集中在威宁、七星关和赫章等县区,不宜施用区主要分布在大方、黔西、金沙和织金等县区。

参考文献:

- [1] 陈江华, 刘建利, 李志宏. 中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 董丽, 史学正, 杨曙方, 等. 蓝莓对土壤酸碱敏感性的 量化表征研究[J]. 土壤, 2022, 54(1): 80-87.
- [3] 许自成, 王林, 肖汉乾. 湖南烟区土壤 pH 分布特点及其与土壤养分的关系[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 830-834.
- [4] 符云鹏, 王小翠, 陈雪, 等. 毕节烟区土壤 pH 值分布状况及与土壤养分的关系[J]. 土壤, 2013, 45(1): 46-51.
- [5] 余颖, 罗建新, 孟凡, 等. 湖南主要植烟土壤磷的吸附与解吸特征研究[J]. 河南农业大学学报, 2021, 55(1):

- 115-122.
- [6] Chen Y F, Ouyang A L, Qiang J Y. Analysis on the change of soil pH in tobacco fields during the cultivation of flue-cured tobacco[J]. Agricultural Biotechnology, 2020, 9(3): 113–114, 118.
- [7] 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.
- [8] 钱笑杰, 肖靖, 洪雅芳, 等. 福建龙岩烟区植烟土壤 pH 时空变异研究[J]. 热带作物学报, 2019, 40(10): 2061–2067.
- [9] 彭玉龙,郑梅迎,刘明宏,等. 遵义烟田土壤 pH 的空间 分布与演变特征[J]. 中国烟草科学, 2019, 40(3): 47-54.
- [10] 魏国胜. 植烟土壤酸化机理及调控技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.
- [11] 王晖, 邢小军, 许自成. 攀西烟区紫色土 pH 值与土壤养分的相关分析[J]. 中国土壤与肥料, 2007(6): 19–22, 49.
- [12] 欧阳磊, 周冀衡, 段志超, 等. 云南沾益植烟土壤 pH 分布特征及其与土壤养分关系[J]. 江西农业大学学报, 2013, 35(4): 692-697.
- [13] Zhang Y T, He X H, Liang H, et al. Long-term tobacco plantation induces soil acidification and soil base cation loss[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(6): 5442–5450.
- [14] Li Q Q, Li S, Xiao Y, et al. Soil acidification and its influencing factors in the purple hilly area of southwest China from 1981 to 2012[J]. CATENA, 2019, 175: 278–285.
- [15] 朱经伟, 李志宏, 刘青丽, 等. 石灰对酸化黄壤整治烟田土壤酸度的影响及其应用效果[J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 43-48.
- [16] 徐仁扣, 李九玉, 周世伟, 等. 我国农田土壤酸化调控的 科学问题与技术措施[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33(2): 160-167.
- [17] 胡菏, 李胜君, 王蕊, 等. 氮肥配施秸秆对土壤原生生

- 物群落的影响 [J/OL]. 土壤学报. http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20220509.1653.008.html.
- [18] 杨彩迪, 刘静静, 卢升高. 生物质炭改良酸性土壤的电化学特性研究 [J/OL]. 土壤学报. https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1119.P.20220329.1128.002.html.
- [19] 亢贵霞,徐宇航,王玉川,等. 毕节市植烟土壤分析与 区划研究[J]. 安徽农业科学,2013,41(20):8496-8500.
- [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] 吴杰, 李向鹏, 陈鑫, 等. 重庆市涪陵区植烟土壤养分的适宜性评价及变异分析[J]. 土壤, 2020, 52(1): 106-112.
- [22] Zhang Z Q, Yu D S, Shi X Z, et al. Effects of prediction methods for detecting the temporal evolution of soil organic carbon in the Hilly Red Soil Region, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(2): 319–328.
- [23] 阙劲松, 唐佐芯, 李贤峰, 等. 红河州弥勒市植烟土壤 pH 和有机质分析[J]. 西南农业学报, 2019, 32(7): 1633-1638.
- [24] 周碧青, 邱龙霞, 张黎明, 等. 基于灰色关联-结构方程模型的土壤酸化驱动因子研究[J]. 土壤学报, 2018, 55(5): 1233-1242.
- [25] 唐韵,向德明,周清明,等. 龙山县植烟土壤 pH 时空变异与影响因子研究[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 100-106.
- [26] 周炼川, 徐天养, 张家征, 等. 文山烟区植烟土壤 pH 分布特点及其与主要养分的相关关系[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(1): 61-64.
- [27] 刘杰,谭智勇,周兴华,等.铜仁市植烟土壤交换性钙 镁空间分布特征及其影响因素分析[J].核农学报,2022,36(4):812-819.
- [28] 蔡凯,高维常,潘文杰,等.贵州烟田土壤 pH、交换性钙 镁和 CaCO₃ 含量分布特征及其相互关系[J].土壤通报, 2022, 53(3): 532-539.