

李强, 闫晨兵, 刘勇军, 等. 郴州植烟土壤 pH 空间分布及影响因素初探 [J]. 中国烟草学报, 2019, 25 (3). LI Qiang, YAN Chenbing, LIU Yongjun, et al. Preliminary study on spatial distribution and influencing factors of tobacco-growing soil pH in Chenzhou [J]. Acta Tabacaria Sinica, 2019, 25(3). doi: 10.16472/j.chinatobacco.2018.276

郴州植烟土壤 pH 空间分布及影响因素初探

李强¹, 闫晨兵¹, 刘勇军^{2,3}, 黎娟¹, 穰中文¹,

肖艳松⁴, 李宏光⁴, 彭曙光²

1 湖南农业大学 农学院, 生物科学技术学院, 烟草研究院 长沙 410128;

2 湖南省烟草公司, 长沙 410004;

3 湖南省烟草科学研究所, 长沙 410004;

4 湖南省烟草公司郴州市公司, 湖南郴州 423000

摘 要: 为探明郴州植烟土壤酸碱度状况, 于 2015 年在郴州烟区采集土壤样品 1055 个, 利用多元统计学和地统计学方法分析了郴州植烟土壤 pH 值空间变异及其影响因素。结果表明: 郴州植烟土壤 pH 均值为 7.00, 变幅为 4.47~8.14, pH 值小于 5.5 的植烟土壤占 10.91%, pH 值大于 7.0 的植烟土壤占 62.37%; 各县植烟土壤 pH 均值在 5.58~7.26。植烟土壤 pH 值空间结构为指数模型, 空间变异主要由人为因素决定 (如使用石灰和钙镁磷肥等), 空间分布呈现西南高、东北低的格局。偏最小二乘回归的分析结果表明, 交换性钙、粉粒、全磷、全氮、有机质、碱解氮、阳离子交换量 (CEC) 和交换性镁是影响植烟土壤 pH 值的主要因素, 8 项指标对植烟土壤 pH 值的累计解释能力达 65.2%, 其中以交换性钙的变量投影重要性值 (VIP, Variable Importance Plot) 最大; 这 8 项指标对土壤 pH 值表现为正效应, 土壤 pH 值与交换性钙、全磷、全氮、有机质、碱解氮、阳离子交换量等符合线性加平台模型, 与土壤粉砂粒 (0.02~0.002 mm) 符合线性模型。

关键词: 郴州; 植烟土壤; pH 值; 空间变异; 偏最小二乘回归

酸碱度是评价土壤肥力的一项重要指标^[1], 影响着土壤在农林生态系统中的功能^[2]。有关农田土壤 pH 值的相关研究一直受到国内外研究人员的广泛关注。杨歆歆等^[3]研究了山东省土壤酸碱度变化状况, 26 年间弱碱性和中性土壤面积分别减少了 12.67% 和 4.38%, 而弱酸性和酸性土壤面积比例分别增加了 8.31% 和 8.06%。郭治兴等^[4]在广东省的研究表明, 30 年来广东省土壤 pH 值平均值由 5.70 降至 5.44, 除潮土 pH 值升高以外, 其他类型的土壤 pH 值均呈降低趋势, 尤其以赤红壤、水稻土和红壤最为严重。王寅等^[5]研究表明吉林省各类型农田耕层土壤普遍存在酸化趋势, 其中黑土 pH 值下降约 0.5 个单位, 草甸土和水稻土 pH 值分别下降了 1.4 和 1.6 个单位。有关土壤 pH 值影响因素的研究也有大量报道, 成土母质、高程、坡度、土地利用类型、养分管理和种植

技术, 均是影响土壤 pH 的重要因素^[6,7]。近年来植烟土壤 pH 值的分布与变化也备受关注。周炼川等^[8]在文山烟区的研究表明, 该烟区强酸性和碱性土壤的比例分别为 20.3% 和 12.0%, 随海拔升高土壤 pH 值呈降低趋势。符云鹏等^[9]在毕节的研究表明, 该烟区强酸性和碱性土壤的比例分别为 11.2% 和 6.04%, 土壤 pH 值与全氮、有效硼及有效锌呈显著或极显著正相关, 与铵态氮、有效锰、有效铁的含量呈现极显著负相关。邓小华等^[10]研究了湘西州植烟土壤 pH 值分布特征及其影响因素, 表明土壤 pH 值低于 5.5 的占 37.27%, 土壤 pH 值大于 7.5 的占 18.20%, 成土母岩、土壤类型、水土流失状况、灌溉能力、海拔高度、耕作层厚度、有机质含量、土壤颗粒组成显著影响植烟土壤 pH 值。魏国胜等^[11]研究了咸丰县植烟土壤的酸碱度变化, 结果表明土壤酸化十分严峻, 该县植

基金项目: 郴州市烟草公司项目 (F31262016014) 和湖南省烟草公司科技项目 (湘烟科 (2017) 170)

作者简介: 李 强 (1982—), 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, Email: zqiangli@126.com

通讯作者: 穰中文 (1982—), 博士, 讲师, 主要从事作物栽培生理研究, Email: rzwronger@126.com

收稿日期: 2018-09-10; **网络出版日期:** 2019-04-16

烟土壤主要呈酸性, pH 值平均仅为 4.4, pH 值 <5.0 的强酸性土壤的面积占 80.3%, 30 年间, 强酸性土壤的面积增加了 79.3 个百分点。郴州是我国浓香型烟叶主产区, 是典型的烟稻复种连作烟区, 长期复种连作下植烟土壤 pH 值空间分布及其影响因素的研究未见报道。鉴于此, 本研究利用郴州烟区 2015 年土壤 pH 值数据开展研究, 揭示烟稻复种连作烟区土壤 pH 值的空间变异特征及其影响因素, 以期对郴州烟区土壤改良和烤烟养分管理决策提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 区域自然概况

郴州位于湖南省东南部, 地处南岭山脉与罗霄山脉交错及长江水系与珠江水系分流的地带。位于东经 $112^{\circ}13' \sim 114^{\circ}14'$, 北纬 $24^{\circ}53' \sim 26^{\circ}50'$ 之间, 全市东西宽约 202 km, 南北长约 217 km, 总面积 1.94 万平方公里。地势自东南向西北倾斜, 最高峰海拔 2061.3 米, 最低处海拔 70 米。全市土壤分为 10 个土类, 23 个亚类, 102 个土属, 343 个土种。其中以红壤、黄壤以及黄棕壤占土壤平面分布中的 70% 以上。

1.2 样品采集和分析

2015 年水稻收获后, 采用 GPS 定位技术, 在郴州烟区进行土壤取样, 采取“X”或“W”形取样法, 取耕层 0~20 cm 的土样, 共采集 1055 份耕层土样(其中安仁 100 个, 北湖 17 个, 桂阳 560 个, 嘉禾 110 个, 临武 12 个, 苏仙 45 个, 宜章 96 个, 永兴 115 个), 每个田块 5~10 个点取样, 混匀后采用四分法取约 500g 土样带回实验室经风干、研磨后过筛制成待测样品, 进行土壤酸碱度、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、有效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁、阳离子交换量(CEC)、粗砂(2~0.2 mm)、细砂(0.2~0.02 mm)、粉砂(0.02~0.002 mm)和粘粒(< 0.002 mm)等指标的测定, 具体测定方法参照鲁如坤^[12]的方法。

1.3 土壤 pH 评价标准

参照《中国烟草种植区划》^[13]和相关文献^[8-10], 制定了郴州烟区土壤 pH 值的评价标准, 具体分为以下 5 个等级, 极低(<5.0)、低(5.0-5.5)、适宜(5.5-7.0)、高(7.0-7.5)、极高(>7.5)。

1.4 数据分析

1.4.1 简单多元统计分析

采用 EXCEL 和 SPSS17.0 进行描述性统计, K-S 检验(Kolmogorov-Smirnov test), 多重比较, 相关分析和平滑回归分析^{[14][15]}。

1.4.2 地统计分析

地统计学是以区域化变量理论为基础, 以半方差函数为基本工具的一种数学方法。半方差函数是描述土壤性质空间变异的一个函数, 反映了不同距离观测值的空间自相关程度, 它是研究土壤特性空间变异性的关系, 同时也是进行空间布局估计的基础^[16]。常用半方差函数模型有环状模型(Circular)、球状模型(Spherical)、高斯模型(Gaussian)和指数模型(Exponential)等, Kriging 插值法是利用区域化变量的原始数据和半方差函数的结构特点, 对未测点的取值进行线性无偏最优估计的一种方法^[17-18]。半方差函数模型拟合和模型参数计算采用 GS+9.0 软件完成, 普通克里格插值(Ordinary-Kriging)和绘图在 ArcGIS 10.2.2 软件中完成^[17-18]。

1.4.3 偏最小二乘回归

偏最小二乘回归(PLS, Partial Least-Squares Regression)是从应用领域产生和发展的一种具有广泛适用性的多元统计分析方法, 由 S.Wold 和 C.Albano 于 1983 年提出^[19]。PLS 具有传统回归方法所不具备的许多优点, 能有效地解决许多用普通多元线性回归无法解决的复杂问题, 可以在观察样本数少以及自变量之间存在多重共线性的情况下, 完成多因变量对多自变量和单因变量对多自变量的回归^[20]。此外, 该方法计算简单, 意义明确, 建模效果好, 更易于辨识系统信息与噪声, 对因变量的解释能力强^[21]。采用 SIMCA-P 11.5 完成主成分提取和偏最小二乘回归建模。

2 结果与分析

2.1 植烟土壤 pH 值状况

2.1.1 植烟土壤 pH 值的基本统计特征

从描述性统计结果来看(表 1), 郴州植烟土壤 pH 值平均为 7.00, 总体上处于适宜水平, 变幅 4.47~8.14, 变异系数为 13.35%, 属中等程度变异, 经 K-S 检验符合对数正态分布。从各植烟县土壤 pH 均值比较的情况来看, 土壤 pH 值在不同植烟县区间存在极显著差异($P<0.001$), 桂阳、嘉禾、临武和宜章土壤显著或极显著高于其他植烟县, 其中桂阳、嘉禾、临武和宜章植烟土壤 pH 值偏高, 其他县区植烟土壤 pH 平均值处于适宜水平; 从各植烟县土壤 pH 值变异情况来看, 除桂阳县植烟土壤 pH 值为弱变异外, 其他植烟县区土壤 pH 值均为中等程度变异。

从样本分布情况来看(表 1), 郴州植烟土壤 pH 值“低”和“极低”的样本分别占 6.64% 和 4.27%, pH 适宜的样本占 26.73%, pH 值“高”和“极高”的样本分别占 12.70% 和 49.67%; 各县土壤 pH 值适

表 1 郴州植烟土壤 pH 值及其分布状况
Tab. 1 pH value distribution of tobacco-planting soil in Chenzhou

县名	样本数	均值	标准差	变异系数 /%	最小值	最大值	土壤酸碱度分布频率 /%				
							极低	低	适宜	高	极高
安仁	100	5.58Ce	0.90	16.11	4.47	7.75	36.00	26.00	29.00	2.00	7.00
北湖	17	6.79ABc	0.70	10.30	5.54	7.58	0.00	0.00	52.94	29.41	17.65
桂阳	560	7.35Aa	0.63	8.59	4.88	8.14	0.36	1.25	21.25	15.71	61.43
嘉禾	110	7.21Aab	0.75	10.34	5.22	7.89	0.00	3.64	25.45	10.00	60.91
临武	12	7.26Aa	0.74	10.18	5.63	7.72	0.00	0.00	16.67	25.00	58.33
苏仙	45	5.91Cd	0.90	15.26	4.64	7.75	11.11	31.11	37.78	8.89	11.11
宜章	96	7.14Ab	0.81	11.32	5.03	8.00	0.00	3.13	29.17	12.50	55.21
永兴	115	6.64Bc	0.93	14.03	4.91	7.96	1.74	13.91	43.48	7.83	33.04
全市	1055	7.00	0.93	13.35	4.47	8.14	4.27	6.64	26.73	12.70	49.67

注：同列不标有相同大写字母者表示区间差异达极显著水平，不标有相同小写字母者表示区间差异达显著水平。

宜样本比例差异较大，在 16.67%~52.94%，各县土壤 pH 适宜比例从高到低依次为：北湖区、永兴县、苏仙区、宜章县、安仁县、嘉禾县、桂阳县和临武县。

2.1.2 植烟土壤 pH 值空间分布

采用不同函数模型对土壤 pH 值空间结构特征进行拟合，获得最佳函数模型及其相关参数（表 2），土壤 pH 值最佳函数模型为指数模型，模型具有较高的拟合精度（RMSSE 接近 1，MSE 接近 0），能够很好地反映土壤 pH 值空间结构特征。土壤 pH 值的块金效应值 $C/(C_0+C)$ 达 98.18%，表明人为因素对土壤 pH 值空间变异的贡献率达 98.18%，说明土壤 pH 值更多地受到人为因素的影响^[22, 23]。利用得到的半方差函数，采用普通克里格插值法获得郴州植烟土壤 pH 值的空间分布图，发现郴州植烟土壤 pH 值总体上呈现西南高、东北低的格局。

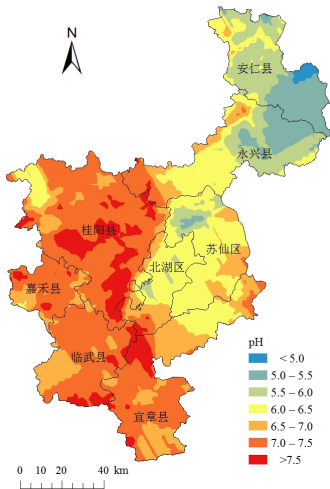


图 1 郴州植烟土壤 pH 值空间分布
Fig. 1 Spatial distribution of soil pH value in Chenzhou

表 2 土壤 pH 值半方差函数模型及其插值精度
Tab. 2 Soil pH value semivariance function model and interpolation accuracy

指标	模型	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金值 / 基台值 / % $C_0/(C_0+C)$	变程	决定系数	插值精度	
							RMSSE	MSE
pH 值	指数模型	0.350	0.356	98.18	0.004	0.898	1.117	-0.012

注：RMSSE 为标准化均方根误差 Root-Mean-Square Standardized error；MSE 为 Mean Standardized error 标准化平均误差 (n=1055)。

2.2 土壤 pH 的影响因素

空间结构分析表明植烟土壤 pH 值主要受人为因素（生石灰、钙镁磷肥，火土灰的长期使用等）的影响，因而此部分着重研究受人为因素干扰较大的土壤有机质含量、大量元素含量、土壤盐基阳离子含量和土壤阴离子含量等土壤化学因素对土壤 pH 值的影响；

此外兼顾到海拔高度、土壤机械组成、地形地貌、成土母质和成土母岩这 5 个自然因素对土壤理化性状的重要影响，因此在研究的过程中一并考虑这 5 个因素。对于连续变量采用相关和 PLS 进行分析，而对地形地貌、成土母质和成土母岩等类别变量采用多重比较的方法进行分析。

2.2.1 各因素对土壤 pH 值影响的偏最小二乘回归分析

首先对所选指标进行相关分析，发现在所选取的指标中，除有效磷、有效硫和氯离子外，其他各项指标均与土壤 pH 值存在显著或极显著相关，各影响指标之间也存在不同程度的相关性。说明选取的指标之间存在多重共线性关系，因此采用偏最小二乘回归方法对土壤理化参数与土壤 pH 值的关系进行分析。

根据偏最小二乘回归分析方法的要求，选取第 3 个 PLS 主成分时 $Q^2=0.0282$ 小于临界值 0.0975，因此，选取 2 个 PLS 主成分成分即可满足分析精度要求（表 3）。表 3 可见，当选择 2 个 PLS 主成分时， Q^2 （cum）达到 0.644；根据 PLS 的精度分析，测得 2 个 PLS 主成分对来自变量 X 的累计信息利用率仅为 0.339，反映出选取的指标中有部分指

标与土壤 pH 值关系较弱； R^2Y （cum）为 0.652 大于 0.6， Q^2 （cum）为 0.644 大于 0.5，说明自变量对因变量解释能力较强，累计交叉效性较高，模型拟合效果较好。

偏最小二乘回归在计算 PLS 模型主成解释能力和交叉有效性的同时，也对土壤理化指标对土壤 pH 值作用大小的变量投影重要性（VIP，Variable Importance Plot）进行了评价（图 1）。由图 3 可知 16 项土壤理化指标中 8 项在偏最小二乘回归模型中的 VIP 值均超过 0.8，分别是交换性钙、粉粒、全磷、全氮、有机质、碱解氮、阳离子交换量（CEC）和交换性镁，说明这 8 项指标均对土壤 pH 值具有重要影响，其中交换性钙、粉粒、全磷、全氮、有机质和碱解氮的 VIP 值超过 1，对土壤 pH 值起着显著重要作用。

表 3 表 PLS 模型主成分的解釋能力及交叉有效性

Tab. 3 Interpretation ability and cross-validity of principal components in PLS model

主成分	R^2X （cum）	R^2Y （cum）	Q^2	Q^2 （cum）
1	0.248	0.492	0.487	0.487
2	0.339	0.652	0.305	0.644
3	0.397	0.669	0.0282	0.654

注： R^2X （cum）是各主成分对自变量累计解释能力； R^2Y （cum）是主成分对因变量信息的累计解释能力； Q^2 为交叉有效性； Q^2 （cum）为累计交叉有效性。

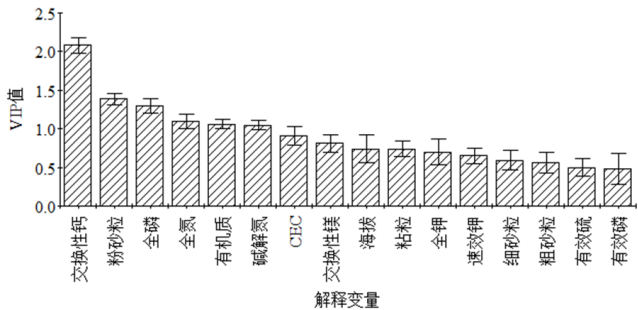


图 2 土壤理化因素对土壤 pH 影响的投影重要性（VIP）

Fig. 2 VIP value of soil physical and chemical indexes on soil pH

2.2.2 各因素对土壤 pH 值影响的平滑回归分析

在明确土壤理化指标对土壤 pH 值影响相对重要性的基础上，进一步采用平滑回归的方法研究 VIP 值大于 0.8 的土壤理化指标对土壤 pH 值的影响（图 2）。结果表明，土壤 pH 值与交换性钙含量符合线性加平台模型（ $R^2=0.986$ ， $P=0.001$ ），随土壤交换性钙增加，土壤 pH 值先升高后趋于稳定，土壤交换性钙平台值为 25.098 cmol/kg；土壤 pH 值与粉砂粒含量符合线

性模型，随土壤粉砂粒含量增加，土壤 pH 值表现为直线上升趋势；土壤 pH 与全磷符合线性加平台模型（ $R^2=0.9573$ ， $P=0.001$ ），即随全磷含量增加，土壤 pH 值先升高后趋于稳定，土壤全磷平台值为 0.94 mg/kg；土壤 pH 值与全氮符合线性加平台模型（ $R^2=0.9514$ ， $P=0.001$ ），即随全氮含量增加，土壤 pH 值先升高后趋于稳定，土壤全氮平台值为 3.31 g/kg；土壤 pH 值与土壤有机质含量符合线性加平台模型（ $R^2=0.915$ ， $P=0.001$ ），有机质升高至 60.051 g/kg 后，土壤 pH 值趋于稳定；土壤 pH 值与碱解氮含量符合线性加平台模型（ $R^2=0.6391$ ， $P=0.001$ ），即随碱解氮含量增加，土壤 pH 值先升高后趋于稳定，土壤碱解氮平台值为 239.34 mg/kg；土壤 pH 值与交换性镁含量符合线性加平台模型（ $R^2=0.812$ ， $P=0.001$ ），随土壤交换性镁增加，土壤 pH 值表现为先升高后保持稳定，平台值为 2.871 cmol/kg。

2.2.3 其他因素对土壤 pH 值的影响

由前文的偏最小二乘回归分析结果可知，交换性钙、粉砂粒、全磷、全氮、有机质、碱解氮、阳离子交换量（CEC）等因素解释了土壤 pH 值变异的

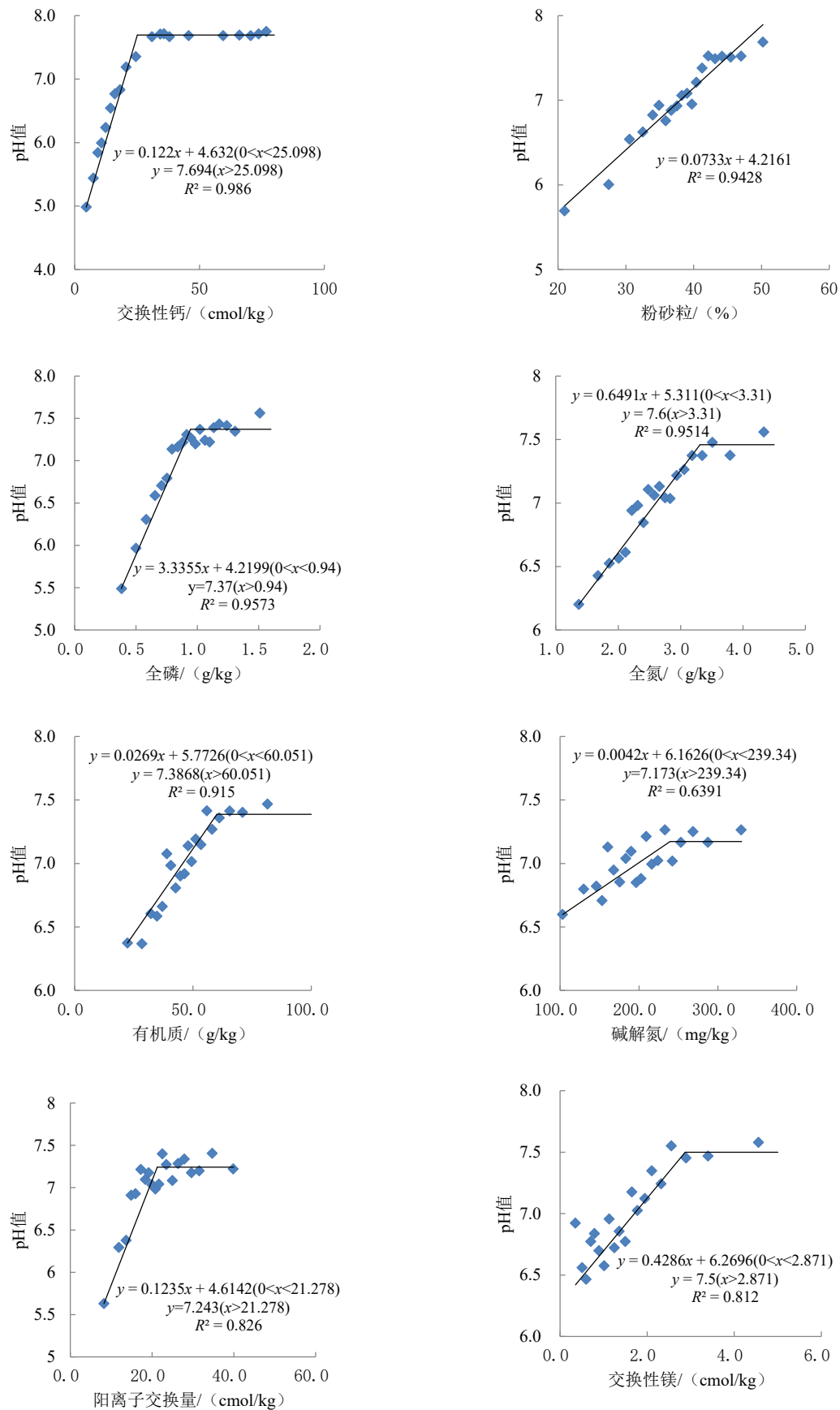


图3 土壤pH值与其主控因素的平滑回归分析

Fig. 3 Smooth regression analysis of soil pH value and its main controlling factors

65.2%，但仍有 34.8% 的变异未得到解释，这也印证了土壤 pH 值影响因素的复杂性。因而进一步采用方差分析和多重比较分析地形地貌、成土母质和成土母岩对土壤 pH 值的影响。

地形地貌 郴州烟区的地形地貌主要有山地、丘陵和平原，土壤 pH 值在不同地形地貌间存在显著差异（表 4），其中山地最高，其次是丘陵，均极显著高于平原土壤的 pH 值。

表 4 地形对土壤 pH 值的影响
Tab. 4 The effect of topography on soil pH value

地形	样本数	均值	变异系数 /%	最小值	最大值
平原	26	5.98±1.03Bb	17.25	4.58	7.91
丘陵	983	7.02±0.93Bb	13.18	4.47	8.14
山地	46	7.17±0.74Aa	10.28	5.14	7.98

注：同列不标有相同大写字母者表示区间差异达极显著水平，不标有相同小写字母者表示区间差异达显著水平。

成土母质 郴州植烟土壤主要成土母质为坡积物、洪积物、残积物和冲积物，土壤 pH 值在 4 种成土母质间存在极显著差异（表 5），最高的是洪积物，最低的是冲积物，其中洪积物和坡积物为“高”等级，冲积物和残积物为“适宜”等级。从变异程度来看，4 种土壤母质均表现为中等程度变异。

成土母岩 郴州植烟土壤主要成土母岩为紫色砂页岩、石灰岩、第四季红壤和板页岩，土壤 pH 值在 4 种成土母岩间存在极显著差异（表 6），由高到低依次为石灰岩、板页岩、紫色砂页岩和第四季红壤，其中石灰岩为“高”等级，其他土壤母岩为“适宜”等级。从变异程度来看，4 种土壤母质均表现为中等程度变异。

表 5 成土母质对土壤 pH 值的影响
Tab. 5 The effect of parent material on soil pH value

成土母质	样本数	均值	变异系数 /%	最小值	最大值
残积物	199	6.81±0.97Bb	14.20	4.64	8.00
冲积物	174	6.33±1.05Cc	16.61	4.52	7.92
洪积物	544	7.23±0.74Aa	10.26	4.91	8.14
坡积物	138	7.12±0.83Aa	11.61	5.22	8.00

注：同列不标有相同大写字母者表示区间差异达极显著水平，不标有相同小写字母者表示区间差异达显著水平。

表 6 成土母质和成土母岩对土壤 pH 值的影响
Tab. 6 The effect of parent rock on soil pH value

成土母岩	样本数	均值	变异系数 /%	最小值	最大值
紫色砂页岩	115	5.92±1.13Bc	19.04	4.47	8.10
石灰岩	749	7.26±0.7Aa	9.60	4.88	8.14
第四纪红壤	101	5.89±0.79Bc	13.34	4.52	7.82
板页岩	90	6.22±1.04Bb	16.69	4.64	7.93

注：同列不标有相同大写字母者表示区间差异达极显著水平，不标有相同小写字母者表示区间差异达显著水平。

3 讨论

烤烟对土壤酸碱度的适应能力较强，在 pH 值 4~9 的土壤上均能正常完成其生长和繁殖，但要获得品质优良的烟叶，烟草须种植在特定的 pH 值范围的

土壤上^[24]。烤烟种植的最佳土壤 pH 值虽因地域的不同而略有差异^[25]，但国内外学者均普遍认为弱酸性到中性的土壤利于获得优质烟叶。从均值来看，郴州植烟土壤 pH 值平均为 7.00，总体处于适宜水

平;但从样本分布情况来看,pH 值适宜的样本仅占 26.73%,pH 值过高和过低的样本比例分别占 62.37% 和 10.91%。半方差函数和空间插值的结果表明,土壤 pH 值主要受人为因素的影响,郴州植烟土壤 pH 值总体上呈现西南高、东北低的格局。郴州烟区土壤 pH 值表现出偏高的现象,这与多个其他烟区土壤酸化严重的现状存在一定差异^[8-11]。在对郴州烟区的生产技术进行调查后发现,当地有施用生石灰、钙镁磷肥、火土灰以及稻草还田进行土壤改良的习惯,可能是当地植烟土壤 pH 值较高的一个原因^[26-28];当地采取的种植制度主要是烟稻轮作,水稻种植中的淹水过程对土壤中 H^+ 有一定的消减作用,可能也是当地植烟土壤 pH 值较高的另一个重要原因^[29,30];此外,当地有将烟草和水稻秸秆粉碎还田的习惯,使得当地植烟土壤有机质稳定在较高水平,也是植烟土壤较高的原因之一^[10],这与土壤有机质中腐殖质具有强大的吸附能力和缓冲性能有关^[31]。

偏最小二乘回归分析结果表明交换性钙、粉砂粒、全磷、全氮、有机质、碱解氮、阳离子交换量(CEC)和交换性镁等 8 项指标对土壤 pH 值的累计解释能力达 65.2%,其中全磷、全氮、有机质、碱解氮、阳离子交换量(CEC)和交换性镁等土壤化学因素的累计 VIP 值达 8.30,自然因素中粉砂粒的 VIP 值为 1.39,与前文的空间结构结果分析一致。值得注意的是交换性钙对土壤 pH 值影响较大(VIP 值达 2.08),这与 Drohan 等人的研究结果一致^[32];但本研究中有氮素对植烟土壤 pH 值的影响表现为正效应,这与 Guo 等人的研究得到的氮肥过量施用是土壤酸化的主要因素这一观点不一致^[33],这一现象值得深入研究。偏最小二乘回归分析未能解释的变异,可能来自于地形地貌、成土母质、成土母岩的等自然因素的作用^[34-38]。

综上,和众多烟区土壤发生酸化不同^[8-11],郴州植烟土壤 pH 值有升高的趋势,这与当地长期推行石灰、钙镁磷肥和火土灰施用,以及水旱轮作,稻草还田等技术措施有关。目前尚未有来自工业企业的关于烟叶质量变差的反馈,但土壤 pH 值进一步升高后是否会否对烟叶品质造成不良影响尚不得而知,土壤 pH 值升高的问题应当引起足够关注。一方面应继续关注土壤 pH 值变化,开展碱性土壤对烟叶品质影响的研究,为植烟土壤管理决策提供参考。另一方面,应针对不同植烟土壤酸碱度状况采取差异化管理方案,针对 pH 值“极高”的区域,应暂时停止施用石灰,适当降低土壤 pH 值;针对 pH 值“高”的区域,应采取

隔年施用石灰或减少石灰用量办法,稳定土壤 pH 值;针对 pH 值“适宜”的区域,应维持当前石灰用量,稳步降低土壤 pH 值;而针对土壤 pH 值“低”和“极低”的区域应适当增加石灰和钙镁磷肥的投入,适当提高土壤 pH 值。

4 结论

郴州植烟土壤 pH 值平均为 7.00,pH 适宜的样本仅占 26.73%,pH 值过高和过低的样本比例分别占 62.37% 和 10.91%;植烟土壤 pH 值空间结构为指数模型,空间变异主要由土壤化学因素决定,化学因素中的全磷、全氮、有机质、碱解氮、阳离子交换量(CEC)和交换性镁等对土壤 pH 值均表现为正效应,偏最小二乘回归的累计 VIP 值达 8.30,其中交换性钙的 VIP 值最大达 2.08。今后应根据土壤 pH 值区域差异,重点从生石灰施用及钙镁元素投入,有机物料输入等方面进行土壤酸碱度分类调控方面的研究。

参考文献

- [1] 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.
XU Renkou, LI Jiuyu, ZHOU Shiwei, et al. Scientific issues and controlling strategies of soil acidification of croplands in China[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 160-167.
- [2] 黄来明,邵明安,贾小旭,等.不同利用方式下亚热带花岗岩流域元素收支平衡及其对土壤酸化的影响[J].土壤,2017,49(3):592-600.
HUANG Laiming, SHAO Ming'an, JIA Xiaoxu, et al. Element budgets and their impacts on soil acidification in granitic watersheds under different land uses in subtropical China[J]. Soils, 2017, 49(3): 592-600.
- [3] 杨歆歆,赵庚星,李涛,等.山东省土壤酸化特征及其影响因素分析[J].农业工程学报,2016,32(S2):155-160.
YANG Xinxin, ZHAO Gengxing, LI Tao, et al. Characteristics of soil acidification and its influencing factors in Shandong province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(S2): 155-160.
- [4] 郭治兴,王静,柴敏,等.近 30 年来广东省土壤 pH 值的时空变化[J].应用生态学报,2011,22(2):425-430.
GUO Zhixing, WANG Jing, CHAI Min, et al. Spatiotemporal variation of soil pH in Guangdong province of China in past 30 years[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(2): 425-430.
- [5] 王寅,张馨月,高强,等.吉林省农田耕层土壤 pH 的时空变化特征[J].土壤通报,2017,48(2):387-391.
WANG Yin, ZHANG Xinyue, GAO Qiang, et al. Temporal and spatial variability of soil pH in the cropland of Jilin Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(2): 387-391.
- [6] 王亚男,徐梦洁,代圆凤,等.毕节市耕地土壤 pH 的空间变异特征与影响因素[J].土壤,2018,50(2):385-390.
WANG Yanan, XU Mengjie, DAI Yuanfeng, et al. Spatial characteristics and influential factors of arable soil pH in Bijie, Guizhou[J]. Soils, 2018, 50(2): 385-390.
- [7] 胡敏,向永生,张智,等.恩施州耕地土壤 pH 近 30 年变化特

- 征[J]. 应用生态学报, 2017, 28(4): 1289-1297.
- HU Min, XIANG Yongsheng, ZHANG Zhi, et al. Variation characteristics of farmland soil pH in the past 30 years of Enshi autonomous prefecture, Hubei, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(4): 1289-1297.
- [8] 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.
- ZHOU Lianchuan, XU Tianyang, ZHANG Jiazheng, et al. Soil pH value distribution and its correlation with nutrients in Yunnan's Wenshan tobacco growing area[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2014, 20(1): 61-64.
- [9] 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.
- FU Yunpeng, WANG Xiaocui, CHEN Xue, et al. Distribution of soil pH and its relationships with soil nutrients in bijie tobacco-growing area[J]. Soils, 2013, 45(1): 46-51.
- [10] 邓小华, 蔡兴, 张明发, 等. 喀斯特地区湘西州植烟土壤 pH 分布特征及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2016, 30(6): 308-313.
- DENG Xiaohua, CAI Xin, ZHANG Mingfa, et al. Distribution characteristics of tobacco-growing soil pH and its influencing factors in karst region of Xiangxi[J]. Journal of Soil & Water Conservation, 2016, 30(6): 308-313.
- [11] 魏国胜. 植烟土壤酸化机理及调控技术研究[D]. 中国农业科学院, 2014.
- WEI Guosheng. Study on acidification mechanism and regulation technology of tobacco-growing soil[D]. Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [12] 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.
- LU Rukun. Soil agrochemistry analysis method[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [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, 王彦亭, 2010.
- WANG Yanting, XIE Jianping, LI Zhihong. China tobacco growing area[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [14] 张文彤. SPSS 统计分析高级教程[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- ZHANG Wentong. Advanced tutorial of spss statistical analysis. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [15] 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.
- LI Qiang, ZHANG Yiyang, CHENG Changxin, et al. Characteristics of potassium content in flue-cured tobacco and its relationship with main ecological factor in Qujing, China[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(5): 918-926.
- [16] 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.
- WANG Zhengqua. Geo-statistics and its application in ecology[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [17] 李强, 李志伟, 王全, 等. 云南陆良植烟土壤粒径分布及其分形维数空间变异研究[J]. 山地学报, 2017, 35(1): 23-31.
- LI Qiang, LI Zhiwei, WANG Quan, et al. Spatial variation of soil particle distribution and its fractal dimensions in a tobacco planting area—a case study of Luliang tobacco growing area[J]. Mountain Research, 35(1): 23-31.
- [18] 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.
- WU Xiuqin, ZHANG Hongyan, LI Ruigai, et al. Application and practice of ArcGIS9 geographic information system(2) [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007: 463-517.
- [19] 王惠文. 偏最小二乘回归方法及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- WANG Huiwen. Partial least squares regression method and its application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1999.
- [20] 张一扬, 周冀衡, 周清明. 影响我国卷烟消费需求的主要经济指标分析[J]. 中国烟草学报, 2008, 14(4): 44-48.
- ZHANG Yiyang, ZHOU Jiheng, ZHOU Qingming. Analysis of the main economic index affecting demand of cigarettes in China[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2008, 14(4): 44-48.
- [21] 王惠文. 偏最小二乘回归的线性与非线性方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.
- WANG Huiwen. Linear and nonlinear methods of partial least square regression[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.
- [22] 王甜, 康峰峰, 韩海荣, 等. 山西太岳山小流域土壤水分空间异质性及其影响因子[J]. 生态学报, 2017, 37(11): 3902-3911.
- WANG Tian, KANG Fengfeng, HAN Hairong, et al. Factors influencing spatial heterogeneity of soil moisture content in a small catchment of Mount Taiyue, Shanxi Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(11): 3902-3911.
- [23] 李强, 周冀衡, 杨荣生, 等. 曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价[J]. 应用生态学报, 2011, 22(4): 950-956.
- LI Qiang, ZHOU Jiheng, YANG Rongsheng, et al. Soil nutrients spatial variability and soil fertility suitability in Qujing tobacco-planting area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(4): 950-956.
- [24] 胡国松, 郑伟, 王震东, 等. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 125-127.
- HU Guosong, ZHENG Wei, WANG Zhengdong, et al. Nutrition principle of flue-cured tobacco[M]. Beijing: Science Press, 2000: 125-127.
- [25] 曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991: 38-43.
- CAO Zhihong. The soil and fertilization of flue-cured tobacco production[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1991: 38-43.
- [26] 熊德中, 李春英, 黄光伟, 等. 施用石灰对福建低 pH 植烟土壤的效应[J]. 中国烟草学报, 1999, 5(1): 28-29, 32.
- XIONG Dezhong, LI Chunying, HUANG Guangwei, et al. Effects of Applying Lime on Low pH Soils for Planting Tobacco in Fujian[J]. Acta Tabacaria Sinica, 1999, 5(1): 28-29, 32.
- [27] 吕永华, 詹寿, 马武军, 等. 石灰、钙镁磷肥对烤烟生产及土壤酸度调节的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(3): 379-381.
- LV Yonghua, ZHAN Shou, MA Wujun, et al. Influence of lime and serpentine-fused phosphate on tobacco production and soil acidity regulation[J]. Ecology and Environment, 2004, 13(3): 379-381.
- [28] 匡传富, 李宏光, 许清孝, 等. 施用火土灰改良烤烟根际环境技术研究[J]. 农业开发与装备, 2013(9): 52-53.
- KUANG Chuanfu, LI Hongguang, XU Qingxiao, et al. Study on improving rhizosphere environment of flue-cured tobacco with fire soil ash[J]. Agricultural Development and Equipment, 2013(9): 52-53.
- [29] 朱丹妹, 刘岩, 张丽, 等. 不同类型土壤淹水对 pH、Eh、Fe 及有效态 Cd 含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(8): 1508-1517.
- ZHU Danmei, LIU Yan, ZHANG Li, et al. Effects of pH, Eh, Fe, and flooded time on available-Cd content after flooding of different kinds of soil[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(8): 1508-1517.

- [30] 袁建玉, 周增辉, 张娜, 等. 设施蔬菜水旱轮作前后耕作层土壤盐分和 pH 值的变化 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42(3): 301-303.
YUAN Jianyu, ZHOU Zenghui, ZHANG Na, et al. Changes of soil salinity and pH value in tillage layer before and after Water-Dry rotation of protected vegetable[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2014, 42(3): 301-303.
- [31] 窦森. 土壤有机质 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
DOU Sen. Soil organic matter [M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [32] DROHAN J R, Sharpe W E. Long-term changes in forest soil acidity in Pennsylvania, U.S.A[J]. Water Air & Soil Pollution, 1997, 95(1-4): 299-311.
- [33] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [34] 张群英, 卢兰, 喻记新, 等. 贵州喀斯特地貌区三种类型耕地土壤性状分析——以贵阳市乌当区新场镇杨梅村为例 [J]. 贵州科学, 2017, 35(5): 53-58.
ZHANG Qunying, LU Lan, YU Jixin, et al. Soil properties of three types of farmland in karst area in Guizhou: A case study on Yangmei Village, Xinchang Town, Wudang District, Guiyang City[J]. Guizhou Science, 2017, 35(5): 53-58.
- [35] 简尊吉, 裴顺祥, 郭泉水, 等. 三峡水库峡谷地貌区消落带土壤氮磷钾、有机质含量和 pH 值的时空动态 [J]. 应用生态学报, 2017, 28(9): 2778-2786.
JIAN Zunji, PEI Shunxiang, GUO Quanshui, et al. Temporal and spatial dynamics of soil nitrogen, phosphorus, potassium, organic matter and pH in the water level fluctuation zone of canyon landform area of the Three Gorges Reservoir, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(9): 2778-2786.
- [36] 梁文君, 蔡泽江, 宋芳芳, 等. 不同母质发育红壤上玉米生长与土壤 pH、交换性铝、交换性钙的关系 [J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(8): 1544-1550.
LIANG Wenjun, CAI Zejiang, SONG Fangfang, et al. Relationships between maize growth and the pH, exchangeable aluminum and calcium of red soils derived from different parent materials[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(8): 1544-1550.
- [37] 董玲玲, 何腾兵, 刘元生, 等. 喀斯特山区不同母质 (岩) 发育的土壤主要理化性质差异性分析 [J]. 土壤通报, 2008(3): 471-474.
DONG Lingling, HE Tengbing, LIU Yuansheng, et al. Changes of soil physical- chemical properties derived from different parent materials/rocks in karst mountain[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008(3): 471-474.
- [38] 何腾兵, 董玲玲, 刘元生, 等. 贵阳市乌当区不同母质发育的土壤理化性质和重金属含量差异研究 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 157-162.
HE Tengbing, Dong Lingling, Liu Yuansheng, et al. Change of physical-chemical properties and heavy metal element in soil from different parent material/rock[J]. Journal of Soil & Water Conservation, 2006, 20(6): 157-162.

Preliminary study on spatial distribution and influencing factors of tobacco-growing soil pH in Chenzhou

LI Qiang¹, YAN Chenbing¹, LIU Yongjun^{2,3}, LI Juan¹, RANG Zhongwen¹,
XIAO Yansong⁴, LI Hongguang⁴, PENG Shuguang²

¹ College of Agronomy, College of Bioscience and Biotechnology, Institute of Tobacco,
Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

² Hunan Provincial Tobacco Company, Changsha 410007 China;

³ Hunan Tobacco Science Institute, Changsha 410007 China;

⁴ Chenzhou Branch of Hunan Provincial Tobacco Company, Chenzhou, Hunan 423000, China

Abstract: To better understand the status of tobacco-growing soil pH in Chenzhou, 1055 soil samples were collected in 2015, and the spatial variability of soil pH and its influencing factors were analyzed by multivariate statistics and geostatistics. Results showed that the average pH value of tobacco planting soil in Chenzhou was 7.00, ranging from 4.47 to 8.14; 10.91% of tobacco planting soil had pH less than 5.5, 62.37% of tobacco planting soil had pH greater than 7; the mean pH value of tobacco planting soil in each county ranged from 5.58 to 7.26. Results of geostatistical analysis showed that the spatial structure of soil pH followed an exponential model, and the spatial variability was mainly determined by human factors. The spatial distribution of soil pH was high in southwest and low in Northeast. Partial least squares regression analysis showed that exchangeable calcium, silt, total phosphorus, total nitrogen, organic matter, alkali hydrolyzed nitrogen, cation potassium exchange capacity (CEC) and exchangeable magnesium were the main factors affecting the pH of tobacco-growing soil. The accumulative explanatory ability of the eight indicators to the pH of tobacco-growing soil reached 65.2%, among which the VIP (Variable Importance Plot) value of exchangeable calcium was the largest. Soil pH vs. exchangeable calcium, total phosphorus, total nitrogen, organic matter, alkali-hydrolyzed nitrogen, cation potassium exchange capacity were in line with the linear plus platform model; while that vs. silt grains (0.02-0.002 mm) followed the linear model. The results of this study provide a theoretical reference for the improvement of acid tobacco planting soil, and is conducive to the sustainable use of tobacco planting soil in Chenzhou.

Keywords: Chenzhou; tobacco planting soil; soil pH; spatial distribution; partial least-square regression