

武陵山地植烟土壤酸度特征及影响因素

——以湖南省湘西自治州为例

邓小华¹, 李源环¹, 周米良², 田峰², 张明发², 李海林¹, 石楠¹, 张瑶¹

(1. 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2. 湖南省烟草公司湘西州公司, 湖南 吉首 416000)

摘要: 为了解多年种植烤烟的山地土壤酸度特征, 研究了湘西自治州的土壤酸度指标特征及其关系以及植烟年限和土壤类型、有机质、黏粒对土壤酸度的影响。结果表明: (1) 植烟年限对土壤酸度的影响大于土壤类型; 随植烟年限增加, 土壤 pH 下降, 潜性酸度增加, 黄棕壤土的交换性盐基、阳离子交换量和盐基饱和度下降。 (2) 土壤 pH 与交换性酸为幂函数关系, 交换性铝是土壤交换性酸的主体, 土壤交换性酸强度随交换性铝及其相对比例的增加而增加。 (3) 土壤 pH 与交换性盐基、阳离子交换量、盐基饱和度为二次曲线关系, 当 $\text{pH} < 6$ 时, 随土壤 pH 增加, 交换性盐基和阳离子交换量下降, 盐基饱和度增加; 当 $\text{pH} > 6$ 时, 随土壤 pH 增加, 交换性盐基和阳离子交换量增加, 盐基饱和度变幅小。 (4) 土壤交换性盐基离子主要是交换性钙, 其次是交换性镁; 对土壤 pH 影响较大的盐基离子是交换性钙。 (5) 有机质和黏粒主要影响土壤 pH、阳离子交换量、交换性盐基和交换性钙。

关键词: 武陵山区; 植烟土壤; 土壤酸度; 影响因素

中图分类号: X53; S153

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)04-0304-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.04.048

Acidity Characteristics and Influencing Factors of Tobacco-planting Soils in Wuling Mountains

—A Case Study in Xiangxi Autonomous Prefecture, Hunan Province

DENG Xiaohua¹, LI Yuanhuan¹, ZHOU Miliang², TIAN Feng²,

ZHANG Mingfa², LI Hailin¹, SHI Nan¹, ZHANG Yao¹

(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;

2. Xiangxi Autonomous Prefecture Tobacco Company of Hunan Province, Jishou, Hunan 416000)

Abstract: In order to comprehend the acidity characteristics of mountainous soils planted tobacco for many years, the characteristics of soil acidity index and their relations were studied in Xiangxi Autonomous Prefecture, as well as the effects of planting years, soil types, organic matter and clay on soil acidity were studied. The results were as follows: (1) The effect of tobacco planting years on soil acidity in Wuling mountain area was greater than that of soil types, and with the increasing of planting years, the soil pH, the exchangeable base cations, cation exchange capacity and base saturation of yellow-brown soil decreased, while the potential acidity increased. (2) The relationship between soil pH and exchangeable acid was a power function, and exchangeable Alex was the main body of exchangeable acid in soil, the strength of soil exchangeable acid increased with the increasing of exchangeable Alex and its relative proportion. (3) The relationship between soil pH and exchangeable base cations, cation exchange capacity and base saturation was a quadratic curve, and when the soil pH was less than 6, the exchangeable base cations and cation exchange capacity decreased with the increasing of soil pH, while the base saturation increased; when soil pH was more than 6, the exchangeable base cations and cation exchange capacity increased with the increasing of soil pH, while base saturation fluctuated slightly. (4) Soil exchangeable base ions were mainly exchangeable calcium, followed by exchangeable magnesium, and the exchangeable calcium was the most important factor influenced soil pH. (5) Soil organic matter and clay mainly affected the soil pH, cation exchange capacity, exchangeable base cations and exchangeable calcium.

收稿日期: 2018-03-02

资助项目: 湖南省烟草专卖局科技项目“湘西烟区土壤 pH 变化机制及调控技术研究与应用”(xx15-18Aa01)

第一作者: 邓小华(1965—), 男, 湖南永州人, 博士生导师, 教授, 博导, 主要从事烟草科学与工程技术研究。E-mail: yzdxh@163.com

通信作者: 李海林(1970—), 男, 高级实验师, 主要从事农学实验技术研究。E-mail: 541955845@qq.com

Keywords: Wuling mountain area; tobacco-planting soils; acidity characteristics of soil; influencing factors

土壤酸度是指土壤酸性强弱程度^[1],它对土壤理化性质^[2]、微生物^[3]以及植物生长^[4]都有重要影响。土壤酸度特征决定于区域生态环境^[5-6],也受种植作物种类^[7-9]、种植模式^[10-11]的影响;长期施用化肥导致土壤酸化加剧^[12-14],但施用石灰^[15-16]、作物根茬^[17]、秸秆生物有机肥^[18]等可改良酸化土壤。优质烤烟适宜种植在 pH 为 5.5~7.0 的土壤^[16],但长期大量施化肥^[2]可加剧植烟土壤酸化,而关于长期种植烤烟土壤酸度特征的研究报道较少。本研究以我国典型烤烟产区武陵山地为例,研究了湘西自治州植烟土壤酸度特征,探讨其土壤 pH 与交换性酸、交换性盐基、有机质、黏粒的关系,以期为武陵山区酸化植烟土壤的改良和修复提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

武陵山区是我国烤烟醇甜香型生态区(27°10′—31°28′N,106°56′—111°49′E),平均海拔 1 000 m。湘西自治州作为武陵山区的醇甜香烤烟典型生态区,以山地为主,山地山原约占 81.5%,丘陵占 10.3%,平原占 4.1%;年均气温 15.8~16.9℃,年均降水量 1 300~1 500 mm,无霜期 250~280 d,属中亚热带山区季风湿润气候区^[19];烤烟种植有 60 余年历史,主要是一年一熟,与玉米、甘薯等作物轮作。

1.2 土壤样品采集

于 2016 年在湘西州主产烟县,依据湖南省烟草公司 2001 年第 2 次土壤普查资料,结合湘西州烤烟种植区划,按地形地貌、成土母质、土壤条件的空间差异,确定典型烟田,包括植烟 20 年以上和植烟 4~6 年的土样分别取 17,11 个。在烤烟拔秆后,在典型烟田按蛇形取样法取 10 个点,采集 0—20 cm 耕层混合土样,带回实验室自然风干、研磨,过孔径 1 mm 土壤筛备用。

1.3 土壤检测指标及方法

土壤 pH 采用电位法测定^[20];交换性酸(EA)、交换性氢(EH⁺)、交换性铝(EAl³⁺)采用氯化钾—中和滴定法测定^[20];土壤阳离子交换量(CEC)、交换性盐基总量(EB)采用醋酸铵法测定,并计算盐基饱和度[BS(%)=EB/CEC×100%]^[20];中性乙酸铵浸提液中的交换性钙(1/2 Ca²⁺)和交换性镁(1/2 Mg²⁺)含量采用原子吸收分光光度法测定^[20];乙酸铵浸提液中的交换性钾(K⁺)和交换性钠(Na⁺)含量采用火焰光度法测定^[20];土壤有机质(SOM)采用重铬酸钾容量法测定^[20];土壤机械组成采用吸管法测定,计算黏粒含量百分比(直径<0.002 mm)^[20]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 20.0 等软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 植烟土壤 pH 与潜性酸

2.1.1 土壤 pH 与潜性酸特征 土壤 pH 可用来表示土壤活性酸度。土壤潜性酸度主要为交换性酸(EA),是指吸附在土壤胶粒表面的交换性氢(EH⁺)和交换性铝的数量(EAl³⁺)。从表 1 可以看出,无论黄壤还是黄棕壤植烟土壤,“4~6 年”植烟土壤 pH 显著高于“>20 年”,“4~6 年”植烟土壤交换性酸、交换性氢、交换性铝显著低于“>20 年”。从植烟年份“>20 年”来看,黄棕壤的交换性酸和交换性铝显著低于黄壤植烟土,但不同类型土壤 pH 和交换性氢差异不显著;从植烟年份“4~6 年”来看,不同类型土壤 pH、交换性酸、交换性氢和交换性铝差异不显著。从方差分析的 *F* 值看,年度之间的 *F* 值高于土壤类型之间。可见,烤烟种植年限对土壤酸度的影响远大于土壤类型;随植烟年限增加,土壤 pH 下降,潜性酸度增加。

表 1 植烟土壤 pH 与潜性酸含量

土壤类型	植烟年限	pH	EA/ (cmol·kg ⁻¹)	EH ⁺ / (cmol·kg ⁻¹)	EAl ³⁺ / (cmol·kg ⁻¹)
黄壤(<i>n</i> =13)	>20 年(<i>n</i> =8)	5.02±0.75	2.26±1.83	0.32±0.11	1.94±1.75
	4~6 年(<i>n</i> =5)	6.81±0.24	0.28±0.25	0.19±0.09	0.09±0.16
黄棕壤(<i>n</i> =15)	>20 年(<i>n</i> =9)	5.37±0.35	0.83±0.63	0.25±0.12	0.57±0.55
	4~6 年(<i>n</i> =6)	7.29±0.68	0.21±0.08	0.18±0.05	0.04±0.07
<i>F</i> (黄壤·年)		26.31**	5.62*	4.69*	5.36*
<i>F</i> (黄棕壤·年)		53.38**	5.56*	5.92*	5.60*
<i>F</i> (>20 年·土壤类型)		1.62	4.89*	1.41	4.98*
<i>F</i> (4~6 年·土壤类型)		2.28	0.42	0.11	0.59

注:表中数据为均值±标准差;*n* 为样品数;* 表示差异在 0.05 显著水平;** 表示差异在 0.01 显著水平。下同。

2.1.2 土壤交换性 H⁺、Al³⁺ 与交换性酸的关系 从图 1 可以看出,土壤交换性酸含量为 0.10~5.45 cmol/kg,交换性氢含量为 0.09~0.56 cmol/kg,占交换性酸比例为 8.67%~96.77%;交换性铝含量为

0.01~4.89 cmol/kg, 占交换性酸比例为 3.23%~91.33%。从图 1a 可以看出, 当交换性酸含量较低时, 交换性氢和交换性铝提供的致酸氢离子数量差异较少; 但随着交换性酸含量的升高, 交换性铝随着交换性酸的增加而增加, 而交换性氢虽略有增加, 但增幅小, 基本在一个恒定的范围内(0.09~0.56 cmol/kg)。从图 1b 来看, 当交换性酸在 0.50 cmol/kg 时, 土壤交换性氢和交换性铝占交换性酸的比例曲线相交, 随后交换性氢的比例随交换性酸含量增加而急剧

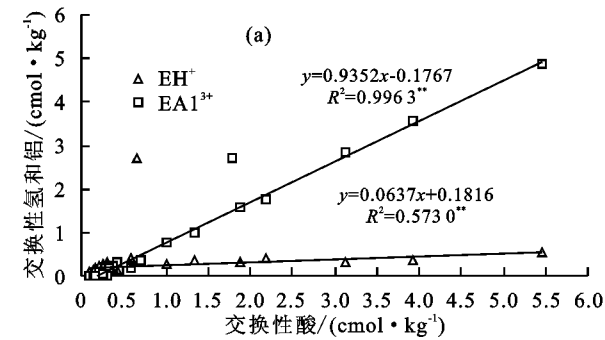


图 1 土壤交换性氢和交换性铝与交换性酸的关系

2.1.3 土壤 pH 与交换性酸的关系 将土壤 pH 与交换性酸含量作回归分析, 得方程: $y=9641.7x^{-5.591}$ ($R^2=0.7534^{**}$, y 为交换性酸含量, x 为土壤 pH)。从图 2 可以看出, 随着土壤 pH 升高, 土壤交换性酸含量下降; 当土壤 pH 为 6.5 时, 土壤交换性酸含量趋于稳定。土壤 pH 主要受控于交换性酸, 而交换性酸又主要受控于交换性铝, 说明土壤 pH 与交换性铝具有紧密联系。

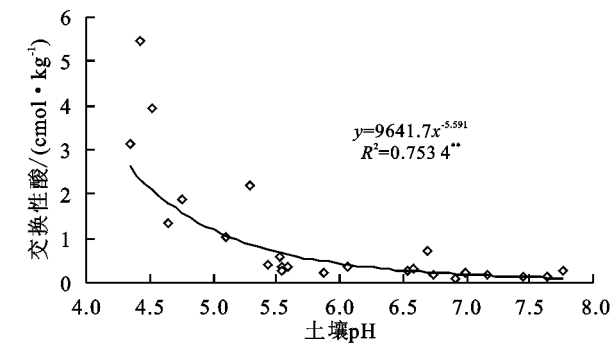


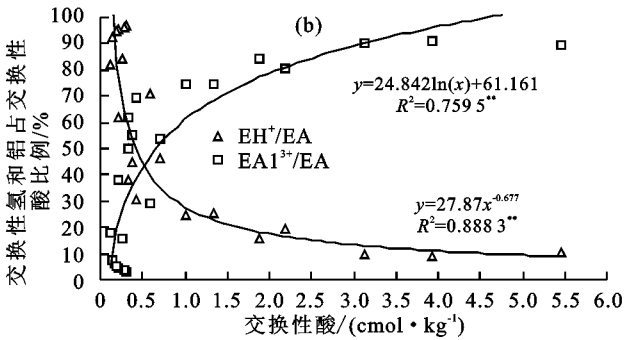
图 2 土壤交换性酸与土壤 pH 的关系

2.2 植烟土壤交换性盐基

2.2.1 土壤交换性盐基参数特征 从表 2 可以看出, 黄壤土不同植烟年限的交换性盐基(EB)参数差异不显著; 黄棕壤土“4~6 年”植烟土壤交换性盐基、阳离子交换量(CEC)和盐基饱和度(BS)显著高于“>20 年”。从植烟年份“>20 年”来看, 黄棕壤的阳离子交换量显著低于黄壤植烟土, 但不同类型土壤交换性盐基和盐基饱和度差异不显著; 从植烟年份“4~6 年”来看, 黄棕壤的交换性盐基和阳离子交换量显著高于黄壤植烟土, 但不同类型土壤盐基饱和度差异不显著。可见, 随植烟年限增加, 黄棕壤土的交换性

降低($y=27.87x^{-0.677}$, $R^2=0.8833^{**}$, y 为交换性氢相对比例, x 为交换性酸含量), 交换性铝比例随着交换性酸含量增加而迅速升高($y=24.842\ln(x)+61.161$, $R^2=0.7595^{**}$, y 为交换性铝相对比例, x 为交换性酸含量)。

表明交换性铝是植烟土壤交换性酸的主体, 土壤交换性酸强度随交换性铝及其相对比例的增加而加强, 这与吴志丹等^[7]、孙海东等^[9]和范庆锋等^[11]的研究基本一致。



盐基、阳离子交换量和盐基饱和度下降。

表 2 植烟土壤交换性盐基主要参数

土壤类型	植烟年限	EB/ (cmol·kg ⁻¹)	CEC/ (cmol·kg ⁻¹)	BS/ %
黄壤	>20 年	9.07±3.55	11.33±2.85	79.10±15.40
	4~6 年	8.64±0.61	8.92±0.49	96.86±2.97
黄棕壤	>20 年	7.72±1.14	8.55±0.76	90.09±8.09
	4~6 年	12.49±3.67	12.69±3.65	98.23±0.90
F(黄壤·年)		0.07	3.42	6.29*
F(黄棕壤·年)		13.67**	11.25**	5.87*
F(>20 年·土壤类型)		1.17	8.01*	3.51
F(4~6 年·土壤类型)		5.28*	5.17*	1.16

2.2.2 土壤 pH 与交换性盐基的关系 土壤 pH 与交换性盐基、阳离子交换量、盐基饱和度的简单相关系数分别为 $r_1=0.573^{**}$, $r_2=0.301$, $r_3=0.744^{**}$, 说明随土壤 pH 增加, 土壤交换性盐基和盐基饱和度增加。将土壤 pH 与交换性盐基、阳离子交换量、盐基饱和度作图并做回归分析(图 3), 土壤 pH 与交换性盐基、阳离子交换量、盐基饱和度为二次曲线关系; 当 $pH<6$ 时, 随土壤 pH 增加, 交换性盐基和阳离子交换量下降, 盐基饱和度增加; 当 $pH>6$ 时, 随土壤 pH 增加, 交换性盐基和阳离子交换量增加, 盐基饱和度趋于恒定。表明土壤 pH 与交换性盐基、阳离子交换量、盐基饱和度不能简单地用线性关系进行判断, 其关系为二次曲线关系。

2.3 植烟土壤交换性盐基离子组成

2.3.1 土壤交换性盐基离子组成特征 土壤阳离子包括致酸离子(H^+ 、 Al^{3+})和交换性盐基离子(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+)。从表 3 可以看出, 植烟土壤交换

性盐基以交换性 Ca^{2+} 为主,占交换性盐基离子总量的 68.97%~78.04%;其次是交换性 Mg^{2+} ,占 11.85%~17.64%;交换性 K^{+} 、交换性 Na^{+} 所占比例相对较低,分别占 5.68%~8.38%和 3.59%~7.90%。从黄壤植烟土壤来看,不同植烟年份的交换性盐基离子差异不显著;从黄棕壤植烟土壤来看,“4~6 年”植烟土壤交换性钙显著高于“>20 年”,但不同植烟年份的其他交换性盐基离子差异不显著;从植烟年份来看,不同植烟土壤类型的交换性盐基离子差异不显著。表明植烟土壤交换性盐基离子主要是交换性钙,其次是交换性镁。

2.3.2 土壤 pH 与交换性盐基离子的关系 将所有样本的土壤 pH 与盐基离子含量进行多元回归分析,得到回归方程为:

$$\text{pH}=4.027+0.309x_1-0.357x_2+0.454x_3-0.055x_4$$

(1)

式中: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别为 $1/2 \text{Ca}^{2+}$ 、 $1/2 \text{Mg}^{2+}$ 、 K^{+} 、 Na^{+} 含量;方程 $R^2=0.483$, $F=5.362$, $P=0.003$ 。

方程(1)中 $1/2 \text{Ca}^{2+}$ 、 $1/2 \text{Mg}^{2+}$ 、 K^{+} 、 Na^{+} 的标准化系数分别为 0.760,−0.246,0.141,−0.026,表明对土壤 pH 的影响大小为: $1/2 \text{Ca}^{2+}>1/2 \text{Mg}^{2+}>\text{K}^{+}>\text{Na}^{+}$,其中交换性钙和钾对土壤 pH 为正影响,交换性镁和钠对土壤 pH 为负影响。

方程(1)中只有交换性钙的系数达到显著水平($t=6.322$, $P=0.000$),故采用逐步回归分析得到方程为:

$$\text{pH}=4.158+0.262x$$

(2)

式中: x 为 $1/2 \text{Ca}^{2+}$ 含量;方程 $R^2=0.415$, $F=18.430$, $P=0.000$ 。

以上分析表明对影响土壤 pH 的主要盐基离子是交换性钙。

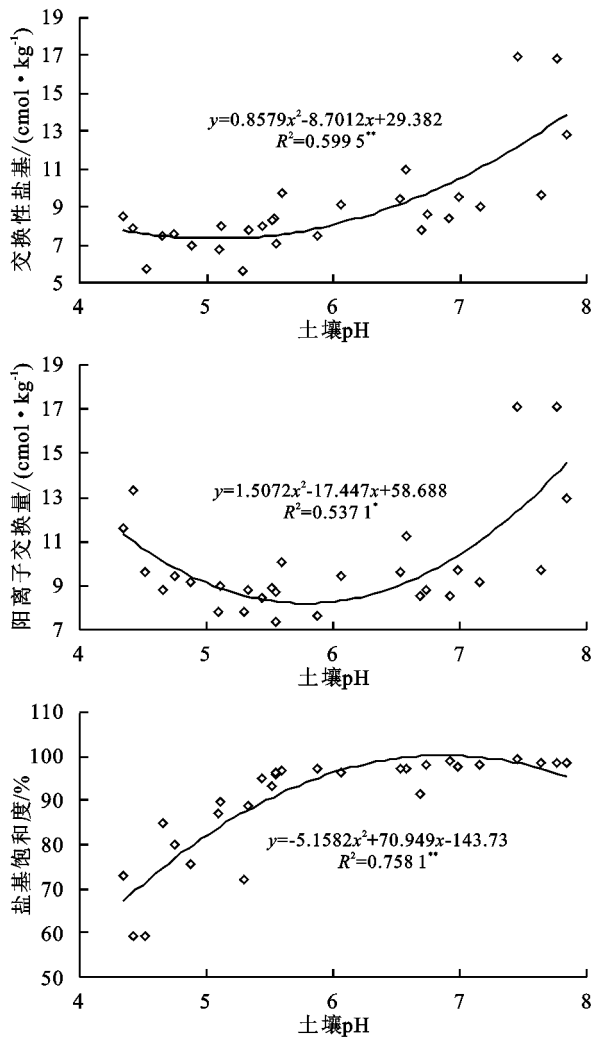


图 3 土壤交换性酸与交换性盐基参数的关系

表 3 植烟土壤交换性盐基离子含量及比例

土壤类型	植烟年限	1/2 Ca^{2+}		1/2 Mg^{2+}		K^{+}		Na^{+}	
		含量/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/ %	含量/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/ %	含量/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/ %	含量/ ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	比例/ %
黄壤	>20 年	6.34±2.69	69.94	1.60±0.86	17.64	0.71±0.38	7.83	0.42±0.40	4.63
	4~6 年	6.64±0.72	76.85	1.02±0.18	11.85	0.67±0.36	7.73	0.31±0.38	3.59
黄棕壤	>20 年	5.32±0.98	68.97	1.14±0.48	14.81	0.65±0.36	8.38	0.61±0.60	7.90
	4~6 年	9.75±3.42	78.04	1.49±1.14	11.89	0.71±0.30	5.68	0.55±0.61	4.38
$F(\text{黄壤} \cdot \text{年})$		0.06		2.14		0.04		0.24	
$F(\text{黄棕壤} \cdot \text{年})$		13.82**		0.66		0.12		0.04	
$F(>20 \text{ 年} \cdot \text{土壤类型})$		1.13		1.90		0.12		0.57	
$F(4\sim6 \text{ 年} \cdot \text{土壤类型})$		3.91		0.79		0.05		0.57	

2.4 植烟土壤有机质、黏粒与酸度主要参数的关系

从表 4 可以看出,总体上植烟土壤有机质与土壤 pH、交换性盐基、阳离子交换量、 $1/2 \text{Ca}^{2+}$ 含量呈显著正相关,土壤黏粒与交换性盐基、阳离子交换量、 $1/2 \text{Ca}^{2+}$ 、 $1/2 \text{Mg}^{2+}$ 含量呈显著正相关;土壤有机质和黏粒与交换性酸、交换性氢、交换性铝、盐基饱和度和 K^{+} 、 Na^{+} 含量无显著相关性。对不同类型土壤,黄棕壤的有机质与 pH、交换性盐基、阳离子交

换量、 $1/2 \text{Ca}^{2+}$ 含量呈显著正相关,土壤黏粒与 pH、交换性盐基、阳离子交换量、 $1/2 \text{Ca}^{2+}$ 、 $1/2 \text{Mg}^{2+}$ 含量呈显著正相关;黄壤的有机质和黏粒均与交换性盐基呈显著正相关。可见,土壤交换性酸与有机质和黏粒组成的土壤有机胶体并无明显的相关性,有机质和黏粒主要影响的是土壤的 pH、阳离子交换量和交换性盐基,这与刘世全等^[5]和张宗锦等^[21]研究结果基本一致。

表 4 植烟土壤有机质和黏粒与酸度主要参数的相关系数

酸度 参数	有机质			黏粒		
	黄壤	黄棕壤	总体	黄壤	黄棕壤	总体
pH	0.364	0.787**	0.645**	0.076	0.622**	0.300
EA	-0.436	-0.276	-0.357	-0.155	-0.262	-0.065
EH ⁺	-0.066	-0.119	-0.153	0.109	-0.205	0.007
EAl ³⁺	-0.455	-0.293	-0.366	-0.171	-0.259	-0.070
EB	0.678*	0.673**	0.692**	0.547*	0.759**	0.531**
CEC	0.072	0.684**	0.561**	0.275	0.781**	0.541**
BS	0.432	0.288	0.372	0.228	0.298	0.145
1/2 Ca ²⁺	-0.003	0.709**	0.533**	0.220	0.706**	0.466*
1/2 Mg ²⁺	-0.143	0.273	0.110	0.242	0.519*	0.398*
K ⁺	0.294	-0.017	0.078	0.455	-0.064	0.193
Na ⁺	-0.034	-0.263	-0.129	-0.027	-0.056	-0.092

3 讨论

土壤酸化本身是一个自然过程,主要有自然原因和人为因素两个方面,但施肥等人为因素对其影响更大^[12-14]。随烤烟种植年限的增加,土壤 pH 降低,其主要原因:(1)在烤烟栽培过程中,为了追求产量,长期大量施用氮肥、硫酸钾等生理酸性肥料,忽视了有机肥使用,使土壤盐基饱和度下降,土壤酸度发生变化;(2)随着种植年限的增加,土壤初级缓冲体系的缓冲能力减弱,土壤中铝的饱和度增加,交换性酸逐年增加,导致土壤酸缓冲能力下降,易被酸化^[22];(3)烤烟在自身生长过程中,其根系和土壤微生物分泌的酸性物质会使土壤交换性阳离子中致酸离子(H⁺、Al³⁺)饱和度增大^[23-24],从而影响土壤酸度;(4)烤烟在收获时,会带走土壤中大量的盐基离子,导致土壤酸度发生变化^[12]。所以,长期种植烤烟而忽视土壤保育,会加重土壤酸化。不同的土壤类型通过成土母质的不同影响土壤理化性质^[24],使土壤缓冲容量发生改变,从而影响土壤酸度,这属于自然原因。因此,对植烟土壤酸度的影响,烤烟种植年限要大于土壤类型;无论是黄壤还是黄棕壤,长期种植烤烟均会导致土壤酸化。

影响土壤 pH 的主要盐基离子是 Ca²⁺,随着 pH 的升高,Ca²⁺ 含量升高,这与范庆锋等^[11]和张宗锦等^[21]研究结果一致。若土壤中 Ca²⁺ 含量过低会导致土壤中阳离子交换量降低,从而使 H⁺ 含量增加,导致土壤酸化^[13]。有机质和黏粒构成的有机胶体对植烟土壤的酸度参数影响较大,李阳等^[15]研究表明,土壤中有机质含量的提高会使土壤腐殖质总量增加,而腐殖质中的酸性基团(-COOH)会使土壤阳离子交换量增加,从而提高土壤对酸的缓冲能力;施河丽等^[18]研究表明,土壤 pH 和盐基饱和度存在显著的正相关性,随着土壤中有机质含量提高,盐基饱和度也会随之提高;苏有健等^[22]研究表明,土壤的物理性黏粒含量与土壤的酸碱缓冲容量呈显著的正相关性,良好的土壤质地能起到抵御土壤酸化的作用。因此,

针对植烟土壤不同酸化程度,施用石灰,增施有机肥,改善土壤耕性,可调控植烟土壤 pH。

陈玉蓝^[25]认为交换性盐基、阳离子交换量、盐基饱和度都与土壤 pH 有极显著线性正相关性;吴志丹等^[7]和范庆锋等^[11]研究结果表明,土壤 pH 和盐基饱和度呈显著正相关性,这些与本研究结果不同。本研究认为,土壤 pH 与交换性盐基、阳离子交换量、盐基饱和度不能简单地用线性关系进行判断,更适合于用二次曲线关系来分析。当 pH<6 时,随土壤 pH 增加,交换性盐基和阳离子交换量下降,盐基饱和度增加;当 pH>6 时,随土壤 pH 增加,交换性盐基和阳离子交换量增加,但盐基饱和度差异较小。这可能是由于不同研究者所选取的土壤类型及对土壤人为影响行为不同所导致。

4 结论

武陵山区烤烟种植年限对土壤酸度的影响大于土壤类型之间的差异;随植烟年限增加,土壤 pH 下降,潜性酸度增加,黄棕壤土的交换性盐基、阳离子交换量和盐基饱和度下降。土壤交换性铝是交换性酸的主体,土壤交换性酸强度随交换性铝及其相对比例的增加而加强;土壤 pH 与交换性酸为幂函数关系,当土壤 pH<6.5 时,随着土壤 pH 升高,土壤交换性酸含量下降;当土壤 pH>6.5 时,土壤交换性酸含量变化较小。土壤 pH 与交换性盐基、阳离子交换量、盐基饱和度的关系为二次曲线关系,当 pH<6 时,随土壤 pH 增加,交换性盐基和阳离子交换量下降,盐基饱和度增加;当 pH>6 时,随土壤 pH 增加,交换性盐基和阳离子交换量增加,盐基饱和度趋于恒定。土壤交换性盐基离子主要是交换性钙,其次是交换性镁;影响土壤 pH 的主要盐基离子是交换性钙。有机质和黏粒显著影响土壤 pH、阳离子交换量、交换性盐基和交换性钙。

参考文献:

[1] 徐仁扣. 土壤酸化及其调控研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 238-244.

- [2] 邓小华,张瑶,田峰,等.湘西植烟土壤 pH 和主要养分特征及其相互关系[J].土壤,2017,49(1):49-56.
- [3] 施河丽,向必坤,彭五星,等.调节植烟土壤酸度防控烤烟青枯病[J].中国烟草学报,2015,21(6):50-53.
- [4] 胡敏,向永生,鲁剑巍.石灰用量对酸性土壤酸度及大麦幼苗生长的影响[J].中国农业科学,2016,49(20):3896-3903.
- [5] 刘世全,张宗锦,王昌全,等.西藏酸性土壤的酸度特征[J].土壤学报,2005,42(2):211-218.
- [6] 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.
- [7] 吴志丹,江福英,尤志明,等.亚热带茶园土壤酸度特征研究:以福建省武夷山市为例[J].中国环境科学,2016,36(1):181-189.
- [8] 吴士文,索炎炎,张峥嵘,等.南方茶园土壤酸化特征及交换性酸在水稳性团聚体中的分布[J].水土保持学报,2012,26(1):195-199.
- [9] 孙海东,刘备,吴炳孙,等.橡胶树人工林地土壤酸度特征及酸化原因分析[J].西北林学院学报,2016,31(2):49-54.
- [10] 杨甲华,张杨珠,高菊生,等.不同种植模式下丘岗红壤的酸性和交换性能研究[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2012,38(5):526-529.
- [11] 范庆锋,张玉龙,陈重,等.保护地土壤酸度特征及酸化机制研究[J].土壤学报,2009,46(3):466-471.
- [12] 周晓阳,徐明岗,周世伟,等.长期施肥下我国南方典型农田土壤的酸化特征[J].植物营养与肥料学报,2015,21(6):1615-1621.
- [13] 李玲,王继红,兰丽丽,等.长期施肥条件下土壤养分变化及其与土壤酸度的关系[J].吉林农业大学学报,2017,39(1):55-59.
- [14] 袁大刚,陈旋,孙健,等.川西 3 种茶园土壤的酸度和酸碱缓冲能力及石灰需要量比较[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2014,40(4):409-415.
- [15] 李阳,王继红.长期施肥土壤腐殖质变化及其与土壤酸度变化的关系[J].南京农业大学学报,2016,39(1):114-119.
- [16] 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.
- [17] 孙越,王继红,安羿衡,等.不同作物根茬对土壤酸度的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):220-225.
- [18] 施河丽,谭军,王兴斌,等.烟草秸秆生物有机肥对植烟土壤交换性盐基的影响[J].中国烟草科学,2015,36(4):80-84.
- [19] 邓小华,周米良,田茂成,等.湘西州植烟气候与国内外主要烟区比较及相似性分析[J].中国烟草学报,2012,18(3):28-33.
- [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] 张宗锦,刘世全,张世熔,等.西藏酸性土壤的分布和酸度特征[J].四川农业大学学报,2003,21(4):322-327.
- [22] 苏有健,王焯军,张永利,等.不同植茶年限茶园土壤 pH 缓冲容量[J].应用生态学报,2014,25(10):2914-2918.
- [23] 王富国,宋琳,冯艳,等.不同种植年限酸化果园土壤微生物学性状的研究[J].土壤通报,2011,42(1):46-50.
- [24] 尚斌,李德成,徐宜民,等.武陵山烤烟产区土壤有机质与 pH 特征研究[J].土壤通报,2015,46(3):590-596.
- [25] 陈玉蓝.四川省植烟土壤酸度特征及其影响因素研究[D].四川雅安:四川农业大学,2014.

(上接第 303 页)

- [17] 柴一新,祝宁,韩焕金.城市绿化树种的滞尘效应:以哈尔滨市为例[J].应用生态学报,2002,13(9):1121-1126.
- [18] 谢滨泽,王会霞,杨佳,等.北京常见阔叶绿化植物滞留 PM_{2.5} 能力与叶面微结构的关系[J].西北植物学报,2014,34(12):2432-2438.
- [19] 周蕴薇,田忠平,苏欣.哈尔滨市常见绿化树种叶表面形态与滞尘能力的关系[J].西北林学院学报,2017,32(1):287-292.
- [20] 张维康,王兵,牛香.北京市常见树种叶片吸滞颗粒物能力时间动态研究[J].环境科学学报,2016,36(10):3840-3847.
- [21] 程政红,吴际友,刘云国,等.岳阳市主要绿化树种滞尘效应研究[J].城市林业,2004,2(2):37-40.
- [22] 戴斯迪,马克明,宝乐.北京城区行道树国槐叶面尘分布及重金属污染特征[J].生态学报,2012,32(16):5095-5102.
- [23] 殷彬,蔡静萍,陈丽萍,等.交通绿化带植物配置对空气颗粒物的净化作用[J].生态学报,2007,27(11):4590-4595.
- [24] 齐飞艳,朱彦锋,赵勇,等.郑州市园林植物滞留大气颗粒物能力的研究[J].河南农业大学学报,2009,43(3):256-259.
- [25] 王蕾,高尚玉,刘连友,等.北京市 11 种园林植物滞留大气颗粒物能力研究[J].应用生态学报,2006,17(4):597-601.
- [26] 潘瑞,涂志华,李炎梅,等.人面竹等 10 种观赏竹冬季滞尘效应与规律研究[J].中国农学通报,2012,28(7):270-275.
- [27] 张景,吴祥云.阜新城区园林绿化植物叶片滞尘规律[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2012,30(6):905-909.
- [28] 王亚军,郁珊珊.厦门市常见园林树种滞尘效应及生态特性研究[J].西南农业学报,2016,29(8):1987-1992.