

石灰和绿肥对不同种植制度植烟酸性土壤改良效果

李玉辉^{1,2}, 李源环¹, 邓小华¹, 周米良³, 田明慧³, 田峰³, 张明发³, 杨丽丽¹

(1. 湖南农业大学农学院,长沙 410128);2. 湖南省烟草公司,长沙 410007;

3. 湖南省烟草公司湘西自治州公司,湖南 吉首 416000)

摘要: 为寻求酸性植烟土壤可持续改良方法,采用大田试验研究了石灰、石灰+绿肥在烤烟连作、烤烟与玉米轮作方式上对酸性植烟土壤物理特性、主要养分和酸度特征指标的影响,并分析了土壤 pH 与土壤理化指标的相关性。结果表明:在烤烟连作方式下,施用石灰并结合种植绿肥还田改良酸性土壤比单施石灰效果好,能使土壤容重、水解性酸、交换性酸、交换性氢和交换性铝分别降低 11.97%,25.00%,18.46%,21.74%和 16.67%,土壤孔隙度、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量、pH、阳离子交换量、盐基饱和度和土壤缓冲容量分别提高 42.26%,57.02%,11.86%,16.39%,50.65%,5.97%,8.05%,13.17%和 81.90%。施用石灰并结合种植绿肥对烤烟与玉米轮作方式的酸性土壤修复效果较烤烟连作更好,土壤容重、水解性酸、交换性酸、交换性氢和交换性铝可分别降低 4.00%,20.51%,27.92%,10.00%和 37.14%,土壤孔隙度、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量、pH、阳离子交换量、盐基饱和度和土壤缓冲容量可分别提高 9.17%,13.97%,7.22%,12.06%,5.08%,5.15%,35.27%,15.44%和 28.05%。石灰+绿肥协同改良酸性土壤的效果比单施石灰好,烤烟与玉米轮作较烤烟连作更有利于酸化土壤的修复。研究结果为采用石灰和种植绿肥还田改良酸性土壤提供了理论依据和实践指导。

关键词: 石灰;绿肥;酸性土壤;改良效果

中图分类号:S156 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-2242(2018)06-0365-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2018.06.053

Effects of Application of Lime and Green Manure on Acid Soil Improvement in Different Cropping Systems

LI Yuhui^{1,2}, LI Yuanhuan¹, DENG Xiaohua¹, ZHOU Miliang³, TIAN Minghui³,
TIAN Feng³, ZHANG Mingfa³, YANG Lili¹

(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128;2. Hunan Provincial Tobacco

Company, Changsha 410007;3. Xiangxi Autonomous Prefecture Tobacco Company of Hunan Province, Jishou, Hunan 416000)

Abstract: In order to find a sustainable improvement method for acid tobacco-planting soil, afield experiment was conducted to study the effects of lime, lime combined with green manure on the physical properties, nutrients and acidity indexes of acid tobacco-planting soil in flue-cured tobacco continuous cropping and flue-cured tobacco and corn rotation systems. The correlation between soil pH and soil physical and chemical indicators was analyzed. The results were as follows: Under the flue-cured tobacco continuous cropping pattern, combined application of lime with green manure reduced soil bulk density, hydrolyzed acid, exchangeable acid, exchangeable hydrogen and aluminum by 11.97%, 25.00%, 18.46%, 21.74% and 16.67% respectively, and increased soil porosity, organic matter, alkali-hydrolyzable N, available P, available K, pH, cation exchange capacity, base saturation, soil buffer capacity by 42.26%, 57.02%, 11.86%, 16.39%, 50.65%, 5.97%, 8.05%, 13.17% and 81.90% respectively compared to lime application alone. Under combined application, flue-cured tobacco and corn rotation reduced soil bulk density, hydrolyzable acid, exchangeable acid, exchangeable hydrogen and exchangeable aluminum by 4.00%, 20.51%, 27.92%, 10.00% and 37.14% respectively, increased soil porosity, organic matter, alkali-hydrolyzable N, available P,

收稿日期:2018-07-11

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),“基于微生物组学的湘西山地烟叶品质提升技术研究及应用”(18-21Aa04)

第一作者:李玉辉(1976—),女,湖南宁远人,硕士研究生,农艺师,主要从事烟草栽培生理研究。E-mail:525745958@qq.com

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

available K, pH, cation exchange capacity, base saturation, and soil buffer capacity by 9.17%, 13.97%, 7.22%, 12.06%, 5.08%, 5.15%, 35.27%, 15.44%, and 28.05%, respectively compared to flue-cured tobacco continuous cropping. The effects of combined application on the improvement of acid soil were better than those of single application of lime. The flue-cured tobacco and corn rotation system was more conducive to the improvement of acidified soil. The results of this experiment provided theoretical basis and practical guidance for the use of lime and planting green manure to improve the acid soil.

Keywords: lime; green manure; acid soil; improvement effect

适宜的土壤酸度是作物正常生长的基础。但大气酸沉降和不合理的农业措施^[1-3],使农田土壤酸化严重,酸化土壤面积逐年增加^[4-5],导致农作物减产^[6-7],制约农业生产可持续发展。对酸性土壤的修复,以石灰作为改良剂应用最为广泛,胡敏等^[8]研究表明,在酸性土壤上施用 4 t/hm² 生石灰能明显中和土壤酸性,显著促进大麦幼苗生长;郭豪等^[9]采用白云石粉、生石灰和秸秆碳化粉等对酸性植烟土壤进行改良,结果表明,白云石粉和石灰的效果最好;方克明等^[10]在酸性稻田中施用石灰明显提高土壤 pH。但长期施用石灰易造成土壤板结,甚至复酸化^[11],而施用有机物料可以提高土壤对酸的缓冲性能,缓解土壤的酸化^[12-13]。

此外,有研究^[14-15]表明,烤烟不耐连作,与玉米轮作能够提高土壤 pH 和土壤酶活性,抑制作物病害的发生,保持土壤生态环境的健康稳定^[16-17]。但是,有关施用石灰配合种植绿肥还田对酸性土壤的改良效果,特别是在烤烟连作、烤烟与玉米轮作条件下,施用石灰配合种植绿肥对酸性土壤的改良的相关报道较少。因此,本研究采用大田试验研究了石灰、石灰+绿肥在烤烟连作、烤烟与玉米轮作方式上对酸性植烟土壤修复效果,为酸性植烟土壤可持续改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验于 2015—2017 年在湘西花垣县科技示范园(28°31'35"N,109°27'04"E)进行。试验地海拔平均 530.0 m,年平均气温 15.0 °C,年降水量 1 363.8 mm,无霜期 279.0 d,年日照时间 1 219.2 h,属亚热带季风山地湿润气候区^[18]。试验地土壤类型为黄红壤,其容重 1.35 g/cm³,孔隙度 42.8%,有机质含量 19.34 g/kg,碱解氮、有效磷、有效钾含量分别为 108.24,21.33,187.41 mg/kg,土壤 pH 5.35,水解性酸、交换性酸、交换性氢和交换性铝含量分别为 3.12,5.32,0.97,4.35 cmol/kg,阳离子交换量 8.38 cmol/kg,盐基饱和度 58.22%,土壤缓冲容量 9.44 mmol/kg。烤烟品种为云烟 87;玉米为金湘甜玉 3 号鲜食甜玉米;石灰为当地市售;绿肥品种为箭舌豌豆。

1.2 试验设计

2015 年全田种植烤烟。2016 年和 2017 年开展小区试验,设 4 个处理:T1,不施石灰+冬闲+2 年种植烤烟(烤烟连作);T2,施石灰+冬闲+2 年种植烤烟(烤烟连作);T3,施石灰+冬种绿肥+2 年种植烤烟(烤烟连作);T4,施石灰+冬种绿肥+2 年种植玉米(烤烟和玉米轮作)。T1、T2、T3 主要用来分析连作条件下,连续施用石灰、种植绿肥对酸性植烟土壤的改良效果,T3、T4 主要用来比较石灰配种绿肥对烤烟连作、烤烟与玉米轮作 2 种植方式的酸性植烟土壤改良效果。小区面积为 72 m²。每个处理 3 次重复,随机排列。烤烟每垄单行,株行距为 1.2 m×0.5 m,烤烟施肥与大田管理按当地烤烟种植规范进行。玉米为每垄双行,株行距为 0.6 m×0.25 m。绿肥播种在烤烟或玉米收获后,播种量 60 kg/hm²,绿肥鲜草翻压量 30 000 kg/hm²。每年冬种绿肥翻耕前均匀撒施石灰 1 500 kg/hm²。烤烟、玉米施氮量 109.5 kg/hm²,氮磷钾比例为 1:1.27:2.73。为保证田间管理和生产措施一致,玉米施肥种类、施肥量与施肥时间与烤烟保持基本一致。

1.3 测定项目与方法

2015 年秋的绿色肥种植前、每年烤烟收获后采用五点取样法,在两烟株(或玉米)的垄中间取 0—20 cm 耕层土壤,制成混合土样,分析土壤物理性状、养分和酸度指标。土壤容重(SBD)和孔隙度(SP)采用环刀法^[19]测定;重铬酸钾容量法测定土壤有机质(SOM)^[19]测定;碱解氮(AN)采用碱解扩散法^[19]测定;速效磷(AP)采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法^[19]测定;速效钾(AK)采用醋酸铵浸提—火焰光度法^[19]测定;采用电位法测定土壤 pH^[19];NaAC 浸提—NaOH 滴定法测定水解性酸(HA)^[19];氯化钾—中和滴定法测定交换性酸(EA)、交换性氢(EH⁺)和交换性铝(EAl³⁺)^[19];醋酸铵法测定土壤阳离子交换量(CEC)、交换性盐基总量(EB)并计算盐基饱和度[BS(%)=EB/CEC×100]^[19];参照成杰明等^[20]的方法测定土壤缓冲容量(pHBC)。

1.4 数据处理

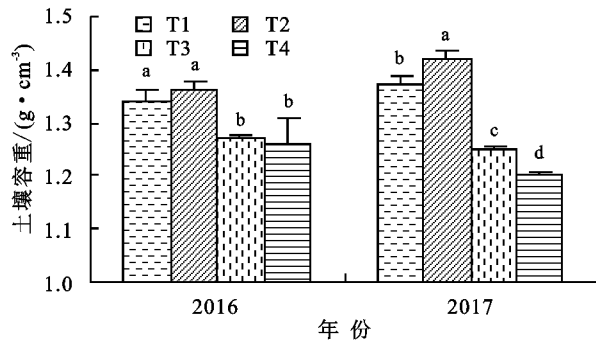
采用 Excel 2010 及 SPSS 20.0 等软件进行统计分析。新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤物理性状的影响

由图 1 可知,从施用石灰和石灰+绿肥的效果看,2016 年 T3 的土壤容重较 T1 显著下降 5.22%, T3 的土壤容重较 T2 显著降低 6.62%;2017 年, T2 土壤容重较 T1 显著提高 3.65%, T3 土壤容重较 T1 显著下降 8.76%; T3 的土壤容重较 T2 显著降低 11.97%。从不同种植方式的效果看,只在 2017 年 T4 的土壤容重较 T3 显著降低 4.00%。

由图 1 还可看出,从施用石灰和石灰+绿肥的效果



注:图中不同字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

图 1 不同处理土壤容重和孔隙度比较

2.2 不同处理对土壤主要养分的影响

由表 1 可知,从施用石灰和石灰+绿肥的效果看,2016 年的 T3 土壤有机质含量较 T1、T2 分别显著提高 31.46%和 34.69%;2017 年 T2 土壤有机质含量较 T1 显著降低 7.12%, T3 的土壤有机质含量较 T1、T2 分别显著提高 45.84%和 57.02%。2016 年和 2017 年 T3 土壤碱解氮含量较 T1 分别显著提高 4.56%和 8.39%,较 T2 分别显著提高 6.05%和 11.86%。2016 年的 T2、T3 土壤有效磷含量较 T1 分别显著提高 26.10%和 41.25%;2017 年的 T2、T3 土壤有效磷含量较 T1 分别显著提高 49.55%和 74.07%,且 T3 的土壤有效磷含量较 T2 显著提高 16.39%。2017 年的

表 1 不同处理土壤主要养分比较

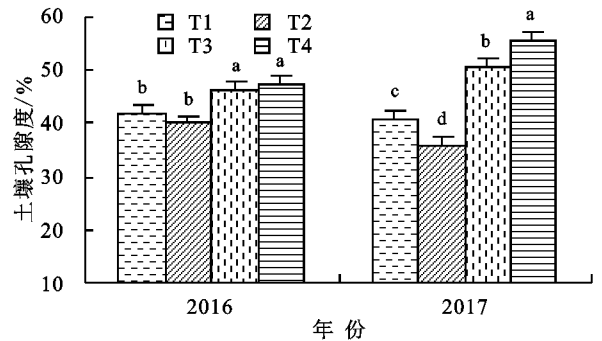
处理	有机质/(g·kg ⁻¹)		碱解氮/(mg·kg ⁻¹)		有效磷/(mg·kg ⁻¹)		速效钾/(mg·kg ⁻¹)	
	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年
T1	19.20±1.77b	19.24±1.37d	112.45±2.14b	116.63±9.50c	22.45±1.20d	29.00±3.43d	173.82±12.46b	198.51±10.71b
T2	18.74±1.01b	17.87±0.97c	110.87±4.23b	113.01±4.15c	28.31±1.85c	43.37±0.28c	168.07±23.83b	184.87±10.47c
T3	25.24±0.69a	28.06±2.15b	117.58±3.23a	126.41±4.94b	31.71±2.86b	50.48±2.86b	180.46±10.83ab	278.51±17.50a
T4	26.88±1.74a	31.98±2.17a	118.24±4.18a	135.54±3.80a	36.53±1.55a	56.57±1.94a	192.48±25.24a	292.67±13.26a

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示各处理差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.3 不同处理对土壤酸碱特征的影响

由表 2 可知,2016 年, T2、T3 土壤 pH 较 T1 分别显著提高 14.07%和 16.89%, T3 的土壤 pH 较 T2 显著提高 2.47%;不同种植方式比较, T4 土壤 pH 较 T3 显著提高 2.41%。2017 年 T2、T3 土壤 pH 较 T1 分别显著提高 15.35%和 22.24%; T3 的土壤 pH 较 T2 显著提高 5.97%;不同种植方式比较, T4 的土壤 pH 较 T3 显著

看,2016 年 T3 的土壤孔隙度较 T1 显著提高 10.66%, T3 的土壤孔隙度较 T2 显著提高 16.10%;2017 年, T2 土壤孔隙度较 T1 显著降低 12.30%; T3 的土壤孔隙度较 T1 显著提高 24.75%;同时, T3 的土壤孔隙度较 T2 显著提高 42.26%。从不同种植方式的效果看,只在 2017 年 T4 的土壤孔隙度较 T3 显著提高 9.17%。上述结果表明,单独施用石灰可提高土壤容重和降低土壤孔隙度,造成土壤板结;但施用石灰+绿肥还田会降低土壤容重和提高土壤孔隙度;烤烟和玉米轮作较烤烟连作更有利于降低土壤容重和提高土壤孔隙度。



T2 土壤速效钾含量较 T1 显著下降 6.87%,但 T3 土壤速效钾含量较 T1 显著提高 40.30%。

从不同种植方式的效果看,2017 年的 T4 土壤有机质、碱解氮含量较 T3 分别显著提高 13.97%和 7.22%;2016 年,2017 年的 T4 土壤有效磷含量较 T3 分别显著提高 15.20%和 12.06%;但土壤速效钾含量差异不显著。

上述分析表明,仅增施石灰会导致土壤有机质、碱解氮和速效钾含量下降,但会提高土壤有效磷含量;在增施石灰的基础上,种植绿肥还田能显著提高土壤主要养分含量;烤烟和玉米轮作较烤烟连作更有利于提高土壤有机质、碱解氮和有效磷含量,但对提高土壤速效钾含量没有明显影响。

提高 5.15%。表明增施石灰可以提高土壤 pH,具有改良酸性土壤的作用;施用石灰并结合种植绿肥还田改良酸性土壤的效果更好;烤烟和玉米轮作较烤烟连作更有利于提高土壤 pH。

由表 2 可知,从施用石灰和石灰+绿肥对土壤酸度指标的效果看,2016 年的 T2、T3 土壤水解性酸含量较 T1 分别显著降低 32.95%,36.93%;2017 年的 T2、T3 土

壤水解性酸含量较 T1 显著降低 51.74% 和 63.81%，T3 的土壤水解性酸含量较 T2 显著降低 25.00%。2016 年的 T2、T3 土壤交换性酸含量较 T1 分别显著降低 48.46% 和 58.59%；2017 年的 T2、T3 土壤交换性酸含量较 T1 分别显著降低 49.61% 和 58.91%，同时，T3 的土壤交换性酸含量较 T2 显著降低 18.46%。2016 年的 T2、T3 土壤交换性氢含量较 T1 分别显著降低 32.04% 和 16.51%；2017 年 T2、T3 土壤交换性氢含量较 T1 分别显著降低 25.81% 和 41.94%；T3 的土壤交换性氢含量较 T2 显著降低 21.74%。2016 年 T2、T3 的土壤交换性铝含量较 T1 分别显著降低 52.22% 和 68.22%，T3 的土壤交换性铝含量较 T2 显著降低 33.49%；2017 年 T2、T3 土壤交换性铝含量较 T1 分别显著降低 57.14% 和 64.29%；T3 的土壤交换性铝含量较 T2 显著降低 16.67%。从不同种植方式对土壤酸度指标的效果看，2016 年和 2017 年的 T4 土壤水解性酸含量较 T3 分别显著降低 10.81% 和 20.51%；

2017 年的 T4 土壤交换性酸、交换性铝含量较 T3 分别显著降低 27.92% 和 37.14%。表明施用石灰可降低土壤水解性酸和交换性酸(包括交换性氢和交换性铝)含量，石灰+绿肥更有利于降低土壤水解性酸和交换性酸含量；烤烟连作会导致土壤水解性酸和交换性酸含量升高，烤烟和玉米轮作较烤烟连作更有利于降低水解性酸和交换性酸含量。

由表 2 可知，2016 年，T2、T3 的土壤缓冲容量较 T1 分别显著提高 70.35% 和 76.94%；不同种植方式比较，T4 土壤缓冲容量较 T3 显著提高 21.34%。2017 年，T2、T3 土壤缓冲容量较 T1 分别显著提高 45.60% 和 164.86%；同时，T3 的土壤缓冲容量较 T2 显著提高 81.90%；不同种植方式比较，T4 的土壤缓冲容量较 T3 显著提高 28.05%。表明施用石灰可显著提高土壤缓冲容量，特别是石灰+绿肥还田更利提高土壤缓冲容量；玉米—玉米种植方式较烤烟—烤烟种植方式提高土壤缓冲容量的效果更好。

表 2 不同处理土壤酸碱特征指标比较

处理	pH		水解性酸/($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)		交换性酸/($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)		交换性氢/($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)		交换性铝/($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)		缓冲容量/($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年	2016 年	2017 年
T1	5.33±0.12d	5.08±0.29d	3.52±0.15a	4.31±0.30a	5.53±0.46a	6.45±0.97a	1.03±0.28a	1.55±0.18a	4.50±0.35a	4.90±0.19a	8.50±1.03c	7.74±0.31d
T2	6.08±0.18c	5.86±0.25c	2.36±0.18b	2.08±0.64b	2.85±0.06b	3.25±0.23b	0.70±0.13b	1.15±0.25b	2.15±0.36b	2.10±0.06b	14.48±1.04b	11.27±1.11c
T3	6.23±0.22b	6.21±0.33b	2.22±0.11b	1.56±0.15c	2.29±0.12b	2.65±0.32c	0.86±0.27b	0.90±0.20c	1.43±0.17c	1.75±0.06c	15.04±1.33b	20.50±1.03b
T4	6.38±0.29a	6.53±0.28a	1.98±0.19c	1.24±0.13d	2.23±0.17b	1.91±0.05d	0.89±0.13b	0.81±0.10c	1.34±0.21c	1.10±0.13d	18.25±0.82a	26.25±1.02a

2.4 不同处理对土壤阳离子交换量和盐基饱和度的影响

由图 2 可知，2016 年，T2、T3 的土壤阳离子交换量较 T1 分别显著提高 40.68% 和 43.39%；不同种植方式(T4、T3)的土壤阳离子含量差异不显著。2017 年，T2、T3 土壤阳离子交换量较 T1 分别显著提高 36.07% 和 47.02%；不同种植方式比较，T4 的土壤阳离子交换量较 T3 显著提高 35.27%。

2016 年，T2、T3 土壤盐基饱和度较 T1 分别显著提

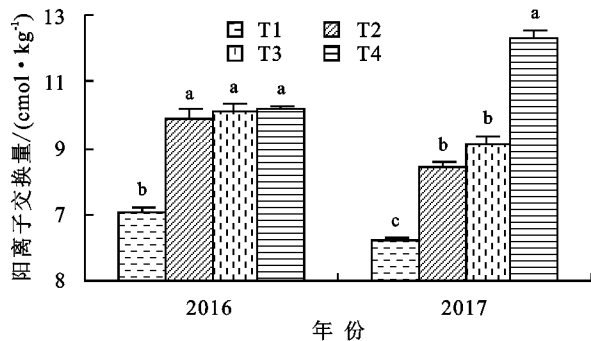


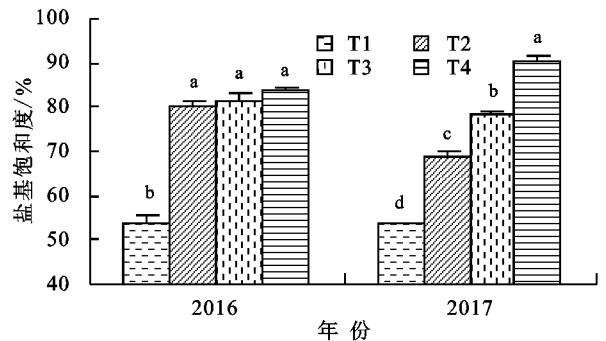
图 2 不同处理土壤阳离子交换量和盐基饱和度比较

2.5 土壤理化指标的相关性

由表 3 可知，土壤 pH 与有机质呈显著正相关，与阳离子交换量、盐基饱和度和土壤缓冲容量呈极显著正相关，与水解性酸、交换性酸和交换性铝呈极显

高 48.13% 和 51.22%；不同种植方式(T4、T3)的土壤盐基饱和度差异不显著。2017 年，T2、T3 土壤盐基饱和度较 T1 分别显著提高 28.76% 和 45.72%；同时，T3 的土壤盐基饱和度较 T2 显著提高 13.17%；不同种植方式比较，T4 的土壤盐基饱和度较 T3 显著提高 15.44%。

上述分析表明，施用石灰可显著提高土壤阳离子交换量和盐基饱和度，石灰+种植绿肥配合烤烟和玉米轮作较烤烟连作更有利于提高土壤阳离子交换量和盐基饱和度。



著负相关，与交换性氢呈显著负相关，可见降低土壤潜在性酸和提高土壤缓冲容量、阳离子交换量、盐基饱和度和有机质含量有利于提高土壤 pH。土壤缓冲容量与土壤容重、水解性酸呈极显著负相关，与交换

性酸、交换性铝呈显著负相关,与土壤孔隙度、有机质、碱解氮、速效钾、pH、阳离子交换量、盐基饱和度呈极显著正相关,与有效磷呈显著正相关,增施有机肥,提高土壤阳离子含量,降低土壤容重和潜性酸含量可提高土壤对酸碱的缓冲性能。土壤有机质与土

壤容重呈极显著负相关,与土壤孔隙度、碱解氮、速效钾和土壤缓冲容量呈极显著正相关,与有效磷、pH、阳离子交换量和盐基饱和度呈显著正相关。可见土壤有机质对土壤养分和酸度影响较大,有机物质的施用对酸性土壤的改良具有促进作用。

表 3 土壤理化指标的相关系数

指标	SBD	SP	SOM	AN	AP	AK	pH	HA	EA	EH ⁺	EAI ³⁺	CEC	BS	pHBC
SBD	1.000													
SP	-0.984**	1.000												
SOM	-0.968**	0.974**	1.000											
AN	-0.826**	0.903**	0.905**	1.000										
AP	-0.545	0.628	0.723*	0.841**	1.000									
AK	-0.749*	0.822**	0.836**	0.904**	0.903**	1.000								
pH	-0.697	0.646	0.751*	0.553	0.646	0.672	1.000							
HA	0.597	-0.582	-0.695	-0.582	-0.782*	-0.780*	-0.947**	1.000						
EA	0.590	-0.530	-0.653	-0.449	-0.609	-0.603	-0.987**	0.951**	1.000					
EH ⁺	0.530	-0.455	-0.464	-0.232	-0.251	-0.460	-0.812*	0.753*	0.814*	1.000				
EAI ³⁺	0.578	-0.523	-0.662	-0.471	-0.650	-0.606	-0.980**	0.949**	0.994**	0.749*	1.000			
CEC	-0.711	0.677	0.751*	0.618	0.623	0.663	0.948**	-0.874**	-0.916**	-0.793*	-0.902**	1.000		
BS	-0.687	0.638	0.736*	0.553	0.614	0.630	0.984**	-0.899**	-0.966**	-0.787*	-0.960**	0.965**	1.000	
pHBC	-0.853**	0.870**	0.916**	0.853**	0.816*	0.898**	0.887**	-0.871**	-0.815*	-0.653	-0.812*	0.898**	0.883**	1.000

注:表中*表示差异显著性在 0.05 水平;**表示差异显著性在 0.01 水平。

3 讨论

施用石灰可以降低土壤酸度,缓解铝毒害^[11],但长期单施石灰会导致土壤肥力下降,并破坏土壤团粒结构,造成土壤板结和养分流失^[8,11],这与本研究结果一致。本研究表明,单施石灰(T2)虽在一定程度上缓解土壤酸化,但降低土壤孔隙度,提高土壤容重,反而对土壤物理特性产生不利影响;与此同时,也导致土壤有机质、碱解氮和速效钾含量降低,不能实现对酸性土壤的可持续改良。

绿肥能活化土壤中的难溶性磷和钾元素^[21],提供土壤有机氮源^[22],补充土壤有机质^[22],增加土壤中微生物生物量^[23]。绿肥翻入土壤后能使土壤的缓冲性能提高^[24],土壤的透气性、保水保肥和供肥能力得到改善^[25],但在微生物的作用下分解产生大量有机酸在土壤中积累,显著降低烟株生育前期土壤 pH^[26]。因此,石灰搭配种植绿肥还田,可相互弥补各自的劣势,有效解决单施石灰对土壤结构的不良影响,又能缓解因翻压绿肥导致烟株生育前期土壤 pH 下降的困境,有机和无机协同改良酸性土壤。本研究中石灰+绿肥(T3、T4)的效应证明了这一结果。

本研究的试验地前作是烤烟,后 2 年烤烟种植方式相当于 3 年烤烟连作,后 2 年玉米种植方式相当于烤烟与玉米后 2 年轮作。烤烟连作不仅降低土壤 pH^[14],还

会导致土壤养分失调,土传病害加重^[15];烤烟与玉米轮作,能够使土壤 pH 升高,均衡土壤养分供应,改善土壤理化性质^[27]。本研究结果表明,在相同的施用石灰和种植绿肥还田条件下,T4(烤烟与玉米轮作)的土壤修复效果优于 T3(烤烟连作)。因此,酸化植烟土壤改良不能仅依靠单施石灰,要采用石灰与有机物料结合协同改良,同时实施烤烟与玉米轮作,才能达到酸化植烟土壤的改良和可持续利用。

4 结论

单施石灰改良酸性土壤虽可以提高土壤 pH,但会造成土壤容重增加和孔隙度降低,土壤耕性变差,并随着施用时间增加,改良酸性土壤的效果降低。石灰配施绿肥可改善酸性土壤的理化特性,稳定石灰施用提高土壤 pH 的效应,有利于酸性土壤改良。烤烟和玉米轮作对石灰配施有机物料改良酸性土壤的效果具有促进作用。本研究结果可为制定酸性植烟土壤改良措施提供思路,但有关石灰配施绿肥对烤烟生长、烟叶质量的影响还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 邓小华,李源环,周米良,等.武陵山地植烟土壤养分和酸度

- 垂直分布特征[J]. 中国烟草科学, 2018, 39(3): 48-59.
- [3] 鲁艳红, 廖育林, 聂军, 等. 长期施用氮磷钾肥和石灰对红壤性水稻土酸性特征的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(1): 202-212.
- [4] Zhu Q C, de Vries W, Liu X J, et al. Enhanced acidification in Chinese croplands as derived from element budgets in the period 1980—2010[J]. *The Science of the Total Environment*, 2018, 618: 1497-1505.
- [5] 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.
- [6] 于天一, 孙秀山, 石程仁, 等. 土壤酸化危害及防治技术研究进展[J]. 生态学杂志, 2014, 33(11): 3137-3143.
- [7] 尹永强, 何明雄, 邓明军. 土壤酸化对土壤养分及烟叶品质的影响及改良措施[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(11): 51-54.
- [8] 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.
- [9] 郭豪, 宋鹏飞, 黄嵩, 等. 土壤改良剂对酸性土壤改良效应和烤烟产量、质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(6): 95-98.
- [10] 方克明, 钟国民, 周丽芳, 等. 石灰在酸性稻田的施用效果[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 105-109.
- [11] 徐仁扣. 土壤酸化及调控研究进展[J]. 土壤, 2015, 47(2): 238-244.
- [12] 兰丽丽, 李东海, 王继红, 等. 添加作物秸秆对土壤酸度变化的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2016, 38(1): 74-79.
- [13] 李军营, 邓小鹏, 杨坤, 等. 施用有机肥对植烟土壤理化性质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2012(3): 12-16, 34.
- [14] 李鑫, 张秀丽, 孙冰玉, 等. 烤烟连作对耕层土壤酶活性及微生物区系的影响[J]. 土壤, 2012, 44(3): 456-460.
- [15] 陈丹梅, 段玉琪, 杨宇虹, 等. 轮作模式对植烟土壤酶活性及真菌群落的影响[J]. 生态学报, 2016, 36(8): 2373-2381.
- [16] Niu J J, Chao J, Xiao Y H, et al. Insight into the effects of different cropping systems on soil bacterial community and tobacco bacterial wilt rate[J]. *Journal of Basic Microbiology*, 2017, 57(1): 3-11.
- [17] 贾健, 朱金峰, 杜修智, 等. 不同种植模式对土壤酶、烤烟生长及烟叶致香成分的影响[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(3): 141-149.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 成杰民, 胡光鲁, 潘根兴. 用酸碱滴定曲线拟合参数表征土壤对酸缓冲能力的新方法[J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 569-573.
- [21] 田峰, 陆中山, 邓小华, 等. 湘西烟区翻压不同绿肥品种的生态和烤烟效应[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(4): 56-62.
- [22] 邓小华, 罗伟, 周米良, 等. 绿肥在湘西烟田中的腐解和养分释放动态[J]. 烟草科技, 2015, 48(6): 13-18.
- [23] 张黎明, 邓小华, 周米良, 等. 不同种类绿肥翻压还田对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 中国烟草科学, 2016, 37(4): 13-18.
- [24] 戴万宏, 黄耀, 武丽, 等. 中国地带性土壤有机质含量与酸碱度的关系[J]. 土壤学报, 2009, 46(5): 851-860.
- [25] 栾好安, 王晓雨, 韩上, 等. 三峡库区橘园种植绿肥对土壤养分流失的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(2): 68-72.
- [26] 刘霞. 绿肥和菌肥对玉米茬土壤性状及烟叶品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008.
- [27] 刘巧真, 郭芳阳, 吴照辉, 等. 烤烟连作土壤障碍因子及防治措施[J]. 中国农学通报, 2012, 28(10): 87-90.
- (上接第 364 页)
- [15] 姜伟, 栾忠平. 还原剂对 4 种土壤碱解氮测定的影响[J]. 吉林林业科技, 2012, 41(5): 23-26.
- [16] 陈朝阳, 何欢辉, 陈星峰, 等. 施用有机肥对植烟土壤碱解氮含量的影响[J]. 江西农业学报, 2008, 20(12): 61-65.
- [17] 高杰云, 康凌云, 严正娟, 等. 沼肥替代化肥对设施蔬菜产量和土壤养分及重金属累积的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(17): 200-207.
- [18] 陈瑶, 史秋萍, 陈玉成. 沼液连续浇灌对旱作和水田土壤养分及重金属含量的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 76-80.
- [19] 赵兴敏, 董德明, 陈瑜, 等. 溶液化学环境对 Cr(VI) 和 As(V) 在农田土壤中吸附和垂向迁移的影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(6): 2233-2239.
- [20] 郭晓方, 卫泽斌, 许田芬, 等. 不同 pH 值混合螯合剂对土壤重金属淋洗及植物提取的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 96-100.
- [21] 刘雪, 王兴润, 张增强. pH 和有机质对铬渣污染土壤中 Cr 赋存形态的影响[J]. 环境工程学报, 2010, 4(6): 1436-1440.
- [22] Kinniburgh D G, Jackson M L, Syers J K. Adsorption of alkaline earth, transition, and heavy metal cations by hydrous oxide gels of iron and aluminum[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1976, 40(5): 796.
- [23] 刘思辰, 王莉玮, 李希希, 等. 沼液灌溉中的重金属潜在风险评估[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1517-1524.
- [24] 蔡茂, 余雪标, 周卫卫, 等. 沼液排放对土壤质量的影响[J]. 热带生物学报, 2014, 5(1): 52-56.