

不同施肥结构对酸性黄棕壤修复效果研究^①

佘国涵¹, 王毅³, 徐大兵¹, 赵书军¹, 谭军², 彭五星²

(1 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064; 2 湖北省烟草公司恩施州公司, 湖北恩施 445000;

3 湖北省烟草科学研究院, 武汉 430030)

摘要: 利用 3 年田间定位试验, 研究了不同施肥结构对酸性黄棕壤酸性、交换性能以及微生物区系的影响。结果表明: 连年施用有机肥以及配施石灰和白云石粉均能显著降低土壤中交换性酸和交换性 Al^{3+} 的含量, 提高土壤 pH, 且不同施肥结构对修复黄棕壤酸性的效果为有机肥配施石灰>有机肥配施白云石粉>有机肥; 连年施用有机肥以及配施石灰主要提高了土壤中交换性 Ca^{2+} 含量, 而配施白云石粉则主要提高了土壤中交换性 Mg^{2+} 含量; 有机肥配施石灰和白云石粉均降低了土壤中真菌的数量, 但提高了土壤中细菌/真菌比、放线菌/真菌比以及细菌和放线菌数量, 改善了土壤微生物群落结构, 增加了烟叶的产量和产值。

关键词: 施肥结构; 黄棕壤; 土壤酸度; 交换性能; 土壤微生物

中图分类号: S156.6

土壤酸化是土壤退化的主要表现形式之一^[1]。土壤酸化加速了土壤中养分离子的淋失以及有毒元素的释放和活化, 从而造成了土壤“既酸又瘦”, 大量释放的铝离子和重金属离子抑制了作物生长^[2-4], 土壤酸化已是限制大多数作物生长的主要环境胁迫因子之一^[5]。李洁等^[6]研究表明, 在旱地红壤中, 化肥配施石灰和氧化镁极显著地提高了土壤的 pH, 降低了土壤交换态铝的含量, 且能提高土壤阳离子交换量和有效阳离子交换量。陈雯雯等^[7]研究发现, 施用菇渣以及菇渣-熟牛粪均能有效提高红壤的 pH, 增加土壤可培养细菌数量, 提高花生产量。龙光强等^[8]研究表明, 长期高量施用有机肥提高了红壤的 pH, 增加了红壤 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子浓度, 降低了红壤旱地表层土壤交换性酸含量, 且在大量施肥基础上添加石灰能够迅速提高土壤 pH, 加快土壤酸度改良。目前关于酸性土壤改良的研究多集中于酸性红壤的修复, 而对酸性黄棕壤的修复研究报道较少。黄棕壤是长江中下游主要的地带性土壤, 面积约 1 008.5 万 hm^2 , 主要分布于长江与秦岭-淮河之间低山丘陵地区, 包括湖北、湖南、江西、安徽、江苏、陕南及豫西南等地, 其中以湖北省的分布面积最广(600.1 万 hm^2), 成土母质主要为第四纪上更新统黄褐色亚黏土、砂页岩、花

岗岩、花岗片麻岩和玄武岩等风化产物。由于长期耕作和施肥措施的不合理, 近年来黄棕壤也出现了明显的酸化趋势, 佘国涵等^[9]研究表明在湖北省西南部山区, 近 30 年间黄棕壤的平均 pH 降低了 0.97 个单位。本研究针对旱地酸性黄棕壤, 采用定位试验的方式, 设置不同有机肥施用量以及有机肥配施石灰、白云石粉的处理, 研究有机肥长期施用以及配施石灰、白云石粉等碱性物质对黄棕壤酸性、交换性能以及微生物区系的影响, 旨在为酸性黄棕壤的修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验区设在湖北省宣恩县晓关乡大岩坝村, 土壤类型为黄棕壤(铁质湿润淋溶土)。试验前该田块的种植模式为烤烟连作。

1.2 试验设计

定位试验从 2012—2014 年, 共 3 年, 采用烤烟连作的种植模式, 烤烟品种为云烟 87, 烟苗移栽均在每年的 5 月 15 日左右进行。试验共设 5 个处理: 常规施化肥(F); 70% 化肥 + 30% 有机肥(FGM1); 40% 化肥 + 60% 有机肥(FGM2); 70% 化肥 + 30%

基金项目: 湖北省烟草专卖局重点科研项目(027Y2012-081)、湖北省农业科技创新中心资助项目(2011-620-003-03-06)和湖北省烟草专卖局重点科技项目(鄂烟科[2013]18 号)资助。

作者简介: 佘国涵(1981—), 男, 河南濮阳人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物营养与土壤微生物方面的研究。E-mail: siguoh@qq.com

有机肥 + 1 500 kg/hm² 石灰(FGLM)； 70% 化肥 + 30% 有机肥 + 1 950 kg/hm² 白云石粉(FGDO)。常规施化肥的施氮量为 N 112.5 kg/hm²，氮、磷、钾按 N : P₂O₅ : K₂O=1 : 1.2 : 3 的比例施用。凡施用有机肥的处理以氮为基准按有机氮占施用总氮的比例计算有机肥施用量，扣除有机肥中磷、钾含量，磷、钾养分不足部分以过磷酸钙和硫酸钾补足。氮肥和钾肥的 70% 用作基肥，30% 用做追肥，有机肥和磷肥均作为基肥一次性施用，石灰和白云石粉在翻耕前撒施。氮肥采用烟草专用复合肥(N : P₂O₅ : K₂O 比例为 10 : 10 : 20)，石灰中 CaO 含量为 950 g/kg，白云石粉中 CaO 含量为 306 g/kg，MgO 含量为 210 g/kg，磷肥采用过磷酸钙，钾肥采用硫酸钾，有机肥由湖北省鄂州市广丰生态农业开发有限责任公司提供，其中有机质含量 450 g/kg，N : P₂O₅ : K₂O 比例为 1.6 : 2.7 : 0.5。试验小区的面积为 25.9 m²，3 次重复，随机区组排列。

1.3 样品采集与测定

2012—2014 年间于每年起垄施肥后 60 天左右，随机选取烟垄上两株烟正中的位置采集 0~20 cm 混合土样，一部分鲜样混匀并过 2 mm 筛后于 4℃ 下保存，用于土壤微生物区系(细菌、真菌和放线菌)的测定，其余的土样风干研磨过 1 mm 筛后用于土壤 pH、交换性酸、交换性铝以及交换性盐基离子的测定。待烟叶采收完毕后，按小区分别进行计产计值。

测定项目及方法：土壤 pH 采用电位法(水土比 2.5 : 1)；土壤交换性酸和交换性 Al³⁺ 采用 1 mol/L KCl 交换-中和滴定法；交换性 K⁺、Na⁺ 采用乙酸铵交换-火焰分光光度计法测定，交换性 Ca²⁺、Mg²⁺ 采用乙酸铵交换-原子吸收法测定^[10]。土壤微生物区系分析采用稀释平板法^[11]，土壤细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基，真菌用马丁氏培养基，放线菌用改良的高氏 1 号培养基。

1.4 数据分析

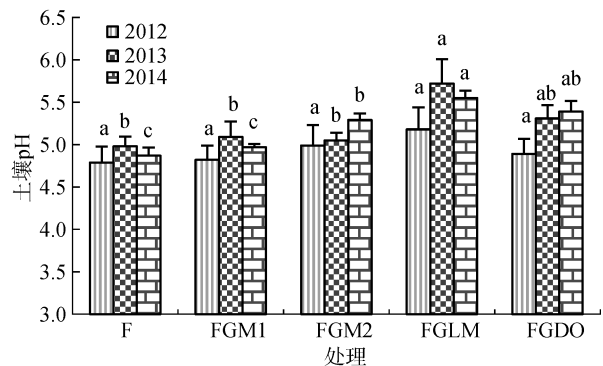
试验数据采用 SAS 9.1 软件进行 ANOVA 方差分析，其他统计分析采用 Excel 2007 软件。

2 结果与分析

2.1 不同施肥结构对土壤 pH 影响

土壤 pH 是土壤活性酸指标，其变化最能直观反映土壤的酸化情况。由图 1 可知，2012 年不同处理间土壤 pH 无显著差异，2013—2014 年 FGLM 处理的 pH 均显著高于 F 处理、FGM1 处理和 FGM2

处理，但与 FGDO 处理差异不显著；在不同处理中以 FGLM 处理的土壤 pH 最高，其土壤 pH 于 2012—2014 年较 F 处理分别提高了 0.39、0.74 和 0.68 个单位，而 FGDO 处理土壤 pH 于 2012—2014 年较 F 处理分别提高了 0.10、0.33 和 0.52 个单位。可见有机肥配施石灰和白云石粉均能在一定程度上提高土壤的 pH，且配施石灰对提升土壤 pH 的效果优于白云石粉。2014 年 FGM2 处理的土壤 pH 显著高于 F 处理和 FGM1 处理，而在 2012—2013 年则无显著差异，这表明连年大量施用有机肥显著提高了土壤的 pH。



(注：F : 100% 化肥；FGM1 : 70% 化肥 + 30% 有机肥；FGM2 : 40% 化肥 + 60% 有机肥；FGLM : 70% 化肥 + 30% 有机肥 + 1 500 kg/hm² 石灰；FGDO : 70% 化肥 + 30% 有机肥 + 1 950 kg/hm² 白云石粉；图中不同小写字母表示相同年份不同处理间的差异达到 $P < 0.05$ 显著水平。下同。)

图 1 不同施肥结构对土壤 pH 的影响

Fig. 1 Effects of different fertilization structures on soil pH

2.2 不同施肥结构对土壤交换性酸和交换性 Al³⁺ 的影响

土壤交换性酸是对作物最有害的一种酸度形态，其存在表明土壤中交换性盐基十分贫乏，其位置被交换性氢、铝代替^[12]。由表 1 可知，2012—2014 年间，F 处理的交换性酸和交换性 Al³⁺ 的含量均显著高于其他处理，而以 FGLM 处理的交换性酸和交换性 Al³⁺ 含量最低，且均显著低于其他处理，可见有机肥配施石灰在短期内能显著降低酸性土壤中交换性酸和交换性 Al³⁺ 含量；在 2012 年 FGM1、FGM2 处理和 FGDO 处理间的交换性酸和交换性 Al³⁺ 含量无显著差异，至 2013 年时 FGDO 处理的交换性酸和交换性 Al³⁺ 含量显著低于 FGM1 处理和 FGM2 处理，但至 2014 年时 FGM2 处理和 FGDO 处理的交换性酸和交换性 Al³⁺ 含量显著低于 FGM1 处理，这表明随着施用年限的增加，施用有机肥以及白云石粉均能显著降低酸性土壤中交换性酸和交换性 Al³⁺ 含量。

表 1 不同施肥结构对土壤交换性酸和交换性 Al^{3+} 含量的影响(cmol/kg)
Table 1 Effects of different fertilization structures on soil exchangeable acid and exchangeable Al^{3+}

处理	2012		2013		2014	
	交换性酸	交换性铝	交换性酸	交换性铝	交换性酸	交换性铝
F	1.46 a	1.35 a	1.61 a	1.48 a	1.67 a	1.57 a
FGM1	1.19 b	1.08 b	1.23 b	1.11 b	1.25 b	1.15 b
FGM2	1.16 b	1.05 b	1.3 b	1.15 b	0.66 c	0.62 c
FGLM	0.78 c	0.67 c	0.28 d	0.25 d	0.36 c	0.31 c
FGDO	1.13 b	1.02 b	0.64 c	0.59 c	0.47 c	0.42 c

注：表中同列不同小写字母表示相同年份不同处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平；下同。

2.3 不同施肥结构对土壤交换性盐基组成的影响

由表 2 中可知，2012 年不同施肥处理间的交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 和盐基总量均无显著差异。2013—2014 年，FGLM 处理的交换性 Ca^{2+} 含量显著高于 F、FGM1 和 FGDO 处理，FGLM 处理 2013 年交换性 Ca^{2+} 含量较 F、FGM1 处理和 FGDO 处理分别提高了 54.8%、59.3% 和 49.1%，2014 年则分别提高了 65.6%、47.2% 和 30.9%；2013—2014 年，FGDO 处理的交换性 Mg^{2+} 含量显著高于其他处理，FGDO

处理的交换性 Mg^{2+} 含量 2013 年较 F、FGM1、FGM2 处理和 FGLM 处理分别提高了 78.6%、64.5%、68.9% 和 101.6%，2014 年则分别提高了 86.7%、103.9%、138.5% 和 55.0%；不同施肥处理间的交换性 K^+ 、 Na^+ 和盐基总量于 2012—2013 年均无显著差异，但在 2014 年，FGLM 处理的盐基总量显著高于 F 处理和 FGM1 处理。由上可知，连年施用有机肥以及配施石灰主要提高了土壤中交换性 Ca^{2+} 含量，而配施白云石粉则主要提高了土壤中交换性 Mg^{2+} 含量。

表 2 不同施肥结构对土壤交换性盐基组成的影响(cmol/kg)
Table 2 Effects of different fertilization structures on soil exchangeable base

年份	处理编码	1/2 Ca^{2+}	1/2 Mg^{2+}	K^+	Na^+	盐基总量
2012	F	2.51 a	0.55 a	0.88 a	0.23 a	4.17 a
	FGM1	2.65 a	0.52 a	0.9 a	0.21 a	4.28 a
	FGM2	2.95 a	0.58 a	0.89 a	0.19 a	4.61 a
	FGLM	3.34 a	0.54 a	0.71 a	0.16 a	4.75 a
	FGDO	2.62 a	0.63 a	0.87 a	0.21 a	4.33 a
2013	F	3.61 b	0.70 b	1.24 a	0.16 a	5.71 a
	FGM1	3.51 b	0.76 b	1.39 a	0.19 a	5.86 a
	FGM2	3.95 ab	0.74 b	1.14 a	0.15 a	5.98 a
	FGLM	5.59 a	0.62 c	1.01 a	0.09 a	7.31 a
	FGDO	3.75 b	1.25 a	1.11 a	0.14 a	6.25 a
2014	F	4.22 c	0.83b c	1.25 a	0.22 a	6.52 b
	FGM1	4.75 b	0.76 c	1.29 a	0.22 a	7.01 b
	FGM2	5.8a b	0.65 c	1.11 a	0.23 a	7.79 ab
	FGLM	6.99 a	1.0 b	1.23 a	0.25 a	9.48 a
	FGDO	5.34 b	1.55 a	1.04 b	0.20 a	8.13 ab

2.4 不同施肥结构对土壤微生物区系的影响

土壤微生物种群数量与结构是土壤肥力的重要指标之一。由表 3 可知，在 2013—2014 年，FGM1 处理和 FGM2 处理的土壤细菌数量显著高于 F 处理，其中 2013 年 FGM1 处理和 FGM2 处理的土壤细菌数量分别较 F 处理提高了 25.0% 和 58.9%，2014 年分别提高了 30.3% 和 54.5%，可见连年施用有机肥增加了土壤细菌数量，且随着施用有机肥比例的增加，土壤细菌的数量呈逐渐增加的趋势；FGLM 处理和 FGDO 处理的土壤细菌数量与 FGM1 处理无显著差

异，但均显著高于 F 处理。

在 2013—2014 年，FGM1 处理和 FGM2 处理的土壤真菌数量较 F 处理均有下降趋势，其中于 2013 年 FGM1 处理和 FGM2 处理土壤真菌数量显著低于 F 处理，其土壤真菌数量较 F 处理分别降低了 27.1% 和 31.8%；FGLM 处理的土壤真菌数量于 2013—2014 年显著低于 F 处理和 FGM1 处理，而 FGDO 处理土壤真菌数量于 2013 年显著低于其他处理，可见连年施用有机肥以及配施石灰和白云石粉均不利于土壤真菌的生长。

表 3 不同施肥结构对土壤微生物区系的影响(单位: cfu/g)
Table 3 Effects of different fertilization structures on soil microflora

处理	细菌($\times 10^6$)		真菌($\times 10^4$)		放线菌($\times 10^5$)		细菌/真菌		放线菌/真菌	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
F	11.2 c	9.9 b	12.9 a	7.7 a	16.9 a	16.3 b	86.8 c	129.6 c	26.1 c	21.3 c
FGM1	14.0 b	12.9 a	9.4 b	6.2 a	16.2 a	17.1 b	148.2 b	209.5 b	34.3 c	27.7 bc
FGM2	17.8 a	15.3 a	8.8 bc	7.0 a	16.9 a	15.5 b	201.9 a	217.8 b	38.4 bc	22.1 c
FGLM	16.9 ab	14.7 a	7.6 c	5.2 b	19.1 a	21.2 a	221.3 a	283.9 a	50.2 ab	41.1 a
FGDO	13.8 b	13.0 a	6.0 d	5.9 ab	17.4 a	17.9 b	229.2 a	221.3 b	57.9 a	30.5 b

在 2013 年,不同处理间的土壤放线菌数量无显著差异,但 FGLM 处理的放线菌数量较其他处理有升高趋势;在 2014 年时 FGLM 处理的土壤放线菌数量显著高于其他处理,其土壤放线菌数量较 F、FGM1 处理和 FGM2 处理分别提高了 30.1%、24.0% 和 36.8%。可见连年施用有机肥对土壤放线菌的数量影响不大,但是配施石灰能明显提高放线菌的数量。

在 2013—2014 年,FGM1 处理和 FGM2 处理的细菌/真菌比显著高于 F 处理;FGLM 处理的土壤细菌/真菌比和放线菌/真菌比显著高于 F 处理和 FGM1 处理,而 FGDO 处理土壤细菌/真菌比和放线菌/真菌比显著高于 F 处理,可见连年施用有机肥主要提高了细菌/真菌比,而有机肥配施石灰和白云石粉则主要提高了土壤中细菌/真菌比和放线菌/真菌比,改善了土壤微生物群落结构。

2.5 不同施肥结构对烟叶产量和产值的影响

在 2012—2013 年,FGM1 处理和 FGM2 处理的烟叶产量和产值较 F 处理均有下降趋势,其中 FGM2 处理的烟叶产量和产值显著低于 F 处理,但至 2014 年,FGM1 处理和 FGM2 处理的烟叶产量显著高于 F 处理,这表明施用有机肥替代化肥在短期内影响烟叶的产量,但是随着施用有机肥年限的增加,烟叶的产量有所恢复或提高(表 4)。相比 FGM1 处理,FGLM 处理的烟叶产量于 2012—2014 年分别提高了 5.7%、7.3% 和 7.0%,烟叶产值分别提高了 13.0%、8.8% 和 6.9%;FGDO 处理的烟叶产量于 2012—2014 年较 FGM1 处理分别提高了 4.0%、5.3% 和 7.5%;烟叶产值分别提高了 8.7%、5.6% 和 11.0%。由上可知,有机肥配施石灰、白云石粉等碱性物质均能提高烟叶的产量和产值。

表 4 不同施肥结构对烟叶产量和产值的影响
Table 4 Effects of different fertilization structures on yield and value of tobacco leaves

处理	2012		2013		2014	
	产量 (kg/hm ²)	产值 (元/hm ²)	产量 (kg/hm ²)	产值 (元/hm ²)	产量 (kg/hm ²)	产值 (元/hm ²)
F	1 937.3 a	42 833.3 a	1 911.0 a	40 767.3 a	1 930.5 b	38 469.0 b
FGM1	1 713.6 b	37 428.8 b	1 896.8 a	36 994.4 a	2 143.5 a	43 876.5 ab
FGM2	1 675.2 b	35 543.2 b	1 697.5 b	34 471.2 b	2 236.2 a	46 128.0 ab
FGLM	1 812.0 a	42 297.6 a	2 035.3 a	40 267.8 a	2 294.5 a	46 923.5 ab
FGDO	1 741.5 ab	40 697.8 ab	1 996.8 a	39 083.5 a	2 304.0 a	48 715.5 a

3 讨论

酸性土壤修复实际上是土壤酸化的人为逆过程,它通过降低土壤交换性氢、铝含量,增加盐基离子浓度,提高土壤 pH,恢复土壤微生物群落结构而实现。有机肥通常为碱性,其施用可直接中和土壤表层部分 H⁺,提高 pH^[13],同时有机物质在矿化过程中,产生大量的有机酸、腐殖质,它们包含如羟基、苯酚等官能团,可消耗土壤中质子氢,与土壤中羟基铝、铁水合氧化物发生配位体交换,降低土壤酸度^[14]。本研究表明,施用 30% 有机肥处理和施用 60% 有机肥处理在 2012—

2013 年的土壤 pH 与常规施肥处理均无显著差异,但是其交换性酸和交换性 Al³⁺ 的含量在 2012—2013 年均显著低于常规施肥处理,这与龙光强等^[8]的研究一致,这可能是由于有机肥在施用短期内主要降低土壤中交换性 Al³⁺ 的含量,而对于土壤 pH 的提高贡献有限;陈梅等^[15]研究表明土壤交换性 Al³⁺ 的减少和土壤 pH 升高与土壤有机质含量增加有关。本研究表明,2014 年时施用 60% 有机肥处理的土壤 pH 显著高于常规施肥处理,且土壤交换性酸和交换性 Al³⁺ 含量均显著低于施用 30% 有机肥处理,可见随着施用有机肥年限以及施用量的增加,土壤中有机质含量有所

增加,从而使得土壤交换性酸和交换性 Al^{3+} 含量显著降低,土壤 pH 显著提高。Xu 等^[16]认为红壤酸度主要是盐基离子尤其是 Ca^{2+} 离子淋失与凋落物、施肥等输入间收支差异的结果。本研究表明,2012—2013 年施用有机肥处理的交换性 Ca^{2+} 、交换性 Mg^{2+} 、交换性 Na^+ 和交换性 K^+ 与常规施肥处理无显著差异,但是至 2014 年施用 60% 有机肥处理的交换性 Ca^{2+} 含量显著高于常规施肥处理。

大量研究表明,石灰及白云石粉施用可以显著提高土壤 pH,降低交换性酸含量,补充盐基离子^[17-20]。本研究表明,30% 有机肥配施石灰和白云石粉显著降低了土壤中交换性酸和交换性 Al^{3+} 含量,提高了土壤 pH,但是配施石灰降低土壤交换性酸和交换性 Al^{3+} 及提高土壤 pH 的效果优于配施白云石粉,且配施石灰主要提高了土壤中交换性 Ca^{2+} 含量,而配施白云石粉则主要提高了土壤中交换性 Mg^{2+} 含量。这可能是由于石灰的主要成分为 CaO ,在土壤中遇水后生成可溶性强碱物质 $\text{Ca}(\text{OH})_2$,它能够在短时间内中和土壤活性酸和交换性酸,增加土壤交换性 Ca^{2+} 含量,而白云石粉的主要成分为 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$,系一种碳酸盐矿物, MgO 的含量为 210 g/kg,白云石粉在酸性土壤中与 H^+ 缓慢反应,消耗土壤中的活性酸和交换性酸,同时补充 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} ,因此使用白云石粉可以补充 Mg^{2+} ,从而避免长期施用石灰造成的土壤 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 比例失调,且白云石粉在土壤中的反应较为温和,适用于酸性土壤。

土壤是活的有机体,土壤微生物参与土壤的物质循环和能量转换,是衡量土壤质量重要的生物学指标。土壤 pH 与土壤微生物量具有很好的相关性,不同土层的土壤微生物量会随着土壤 pH 的提高而增加^[21]。本研究表明,施用有机肥后,土壤的细菌数量和细菌/真菌比较常规施肥显著提高,这可能与有机肥施用增加了土壤中碳源,提高了土壤 pH 有关。作物长期连作改变了旱地土壤微生物种群结构,显著降低了土壤中细菌和放线菌数量,提高了真菌数量^[22-23],而施用石灰可以修复土壤微生态环境,提高土壤微生物 C、N 量、呼吸速率和代谢熵^[24]。本研究表明,有机肥配施石灰和白云石粉等碱性物质,提高了土壤中细菌、放线菌数量以及细菌/真菌、放线菌/真菌比,降低了土壤中真菌的数量,从而改变了长期连作土壤微生物的群落结构,改善了土壤微生态环境,提高了土壤质量。

4 结论

1) 施用有机肥能在短期内降低了土壤中交换性

酸和交换性 Al^{3+} 的含量,而对于土壤 pH 影响不大,随着施用有机肥年限以及施用量的增加,施用有机肥处理的土壤 pH、交换性 Ca^{2+} 含量以及盐基总量较常规施肥处理均有升高趋势,但对交换性 Mg^{2+} 、交换性 Na^+ 和交换性 K^+ 的影响不大。

2) 有机肥配施石灰和白云石粉均显著降低了土壤中交换性酸和交换性 Al^{3+} 含量,提高了土壤 pH,但是配施石灰在降低土壤交换性酸和交换性 Al^{3+} 以及提高土壤 pH 的效果上优于配施白云石粉,有机肥配施石灰主要提高了土壤中交换性 Ca^{2+} 含量,而配施白云石粉则主要提高了土壤中交换性 Mg^{2+} 含量。

3) 施用有机肥增加了土壤中细菌的数量以及细菌/真菌比;有机肥配施石灰和白云石粉提高了土壤中细菌、放线菌数量以及细菌/真菌比、放线菌/真菌比,但降低了土壤中真菌的数量。

4) 施用有机肥在短期内影响烟叶的产量,但是随着施用年限的增加,烟叶的产量有所恢复或提高;有机肥配施石灰及白云石粉等均能提高烟叶的产量和产值。

参考文献:

- [1] Qian C, Cai Z C. Leaching of nitrogen from subtropical soils as affected by nitrification potential and base cations[J]. *Plant and Soil*, 2007, 300: 197-205
- [2] 易杰祥,吕亮雪,刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究[J]. *华南热带农业大学学报*, 2006, 12(1): 23-28
- [3] 许中坚,刘广深,俞佳栋. 氮循环的人为干扰与土壤酸化[J]. *地质地球化学*, 2002, 30(2): 74-78
- [4] 王宁,李九玉,徐仁扣. 土壤酸化及酸性土壤的改良和管理[J]. *安徽农学通报*, 2007, 13(23): 48-51
- [5] 练成燕,王兴祥,李奕林. 种植花生、施用尿素对红壤酸化作用及有机物料的改良效果[J]. *土壤*, 2010, 42(5): 822-827
- [6] 李洁,谭珊珊,罗兰芳,等. 不同施肥结构对菜园土有机质、酸性和交换性能的影响[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(4): 258-262
- [7] 陈雯雯,申卫收,韩成,等. 施用不同配比菇渣、熟牛粪对酸性土壤质量和花生产量的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2014(1): 69-72
- [8] 龙光强,蒋瑞霖. 长期施用猪粪对红壤酸度的改良效应[J]. *土壤*, 2012, 44(5): 727-734
- [9] 佘国涵,王瑞,袁家富,等. 鄂西南山区土壤酸化趋势研究-以恩施州宣恩县为例[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(12): 151-155
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005
- [11] 李振高,骆永明,滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008
- [12] 孙波,赵其国. 红壤退化中的土壤质量评价指标及评价方法[J]. *地理科学进展*, 1999, 18(2): 118-121

- [13] 孟红旗, 吕家琰, 徐明岗, 等. 有机肥的碱度及其减缓土壤酸化的机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1153–1160
- [14] Hue N V, Amien I. Aluminum detoxification with green manures[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1989, 20: 1 499–1 511
- [15] 陈梅, 陈亚华, 沈振国, 等. 猪粪对红壤铝毒的缓解效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(2): 173–176
- [16] Xu R K, Zhao A Z, Li Q M, et al. Acidity regime of the red soils in a subtropical region of southern China under field conditions[J]. Geoderma, 2003, 115: 75–84
- [17] 武际, 郭熙盛, 王文军, 等. 施用白云石粉对黄红壤酸度和油菜产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(1): 55–58
- [18] 张国, 朱启法, 郭熙盛, 等. 皖南烟区白云石粉对酸性植烟土壤的改良研究[J]. 土壤, 2014, 46(3): 534–538
- [19] Moore J D, Duchesne L, Ouimet R. Soil properties and maple-beech regeneration a decade after liming in a northern hardwood stand[J]. Forest Ecology and Management, 2008, 255: 3460–3468
- [20] Caires E F, Garbuio F J, Churka S, et al. Effects of soil acidity amelioration by surface liming on no-till corn, soybean, and wheat root growth and yield[J]. European Journal of Agronomy, 2008, 28(1): 57–64
- [21] 田稼, 孙超, 杨明琰, 等. 黄土高原不同树龄苹果园土壤微生物、养分及 pH 的相关性. 西北农业学报, 2012, 21(7): 138–141
- [22] 孙秀山, 封海胜, 万书波, 等. 连作花生田主要微生物类群与土壤酶活性变化及其交互作用. 作物学报, 2001, 27(5): 618–620
- [23] 邹莉, 袁晓颖, 李玲, 等. 连作对大豆根部土壤微生物的影响研究. 微生物学杂志, 2005, 25(2): 27–30
- [24] Stenberg M, Stenberg B, Rydberg T. Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil[J]. Applied Soil Ecology, 2000, 14(2): 135–145

Amelioration Effects of Different Fertilization Structure on Acid Yellow Brown Soil

SI Guohan¹, WANG Yi³, XU Dabing¹, ZHAO Shujun¹, TAN Jun², PENG Wuxing²

(1 Plant Protection and Soil Fertilizer Institute, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2 Enshi Branch of Hubei Tobacco Company, Enshi, Hubei 445000, China; 3 Hubei Academy of Tobacco Sciences, Wuhan 430030, China)

Abstract: A consecutive 3-year field experiment was conducted to study the effects of different fertilization structure on soil acidity, exchange capacity and soil microflora in acid yellow brown soil. The results indicated that consecutive application of organic fertilizer and organic fertilizer application combined with lime and dolomite powders reduced significantly soil exchangeable acid and exchangeable Al³⁺, and increased soil pH. The amelioration effects of different fertilization structure were organic fertilizer application combined with lime > organic fertilizer application combined with dolomite fines > organic fertilizer. Consecutive application of organic fertilizer and organic fertilizer combined with lime mainly increased soil exchangeable Ca²⁺, while combining with dolomite fines principally promoted soil exchangeable Mg²⁺. Organic fertilizer application combined with lime and dolomite fines both reduced the population of soil fungi, but increased bacteria/fungi ratio, actinomycetes/fungus ratio and the population of bacteria and actinomycetes, which changed the structure of microbial community, and increased the yield and value of tobacco leaves.

Key words: Fertilization structure; Yellow brown soil; Soil acidity; Exchange capacity; Soil microorganisms