

# 基于木本泥炭快速构建红壤新垦耕地优质耕作层技术与效果

曲成闯<sup>1</sup>, 陈效民<sup>1</sup>, 张佳宝<sup>2</sup>, 范树印<sup>3</sup>, 谭钧<sup>4</sup>,  
阮月远<sup>5</sup>, 张银芳<sup>6</sup>, 吴冬和<sup>7</sup>, 韩召强<sup>1</sup>, 张志龙<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2. 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008;  
3. 国土资源部土地整治中心, 北京 100035; 4. 北京中向利丰科技有限公司, 北京 100024; 5. 江西省农业厅,  
南昌 330200; 6. 余江县国土局, 江西 余江 335299; 7. 余江县洪湖乡农业技术推广站, 江西 余江 335211)

**摘要:** 为了探究木本泥炭对红壤岗地新垦耕地优质耕作层构建的机理以及木本泥炭相对于其他有机物料对红壤新垦耕地的改良效果, 采用田间小区试验的方法, 研究添加不同有机物料对红壤新垦耕地 0—20 cm 耕作层土壤理化性质和微生物生物量以及水稻产量的影响。试验共设 6 个不同处理: CK(不添加改良材料)、M<sub>30</sub> FS(木本泥炭 30 t/hm<sup>2</sup>+腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)、M<sub>15</sub> FS(木本泥炭 15 t/hm<sup>2</sup>+腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)、CFS(生物炭 15 t/hm<sup>2</sup>+腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)、OFS(有机肥 15 t/hm<sup>2</sup>+腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)和 FS(腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)。结果表明: (1)与对照相比, 添加木本泥炭与有机物料处理显著降低了耕作层土壤容重, 提高了土壤总孔隙度和 pH, 且添加木本泥炭与有机物料处理中土壤肥力均有不同程度提高, 其中土壤有机质、全氮、全磷和全钾含量分别提高了 36.41%~88.53%, 2.22%~37.78%, 6.25%~93.75%和 27.57%~85.60%, 土壤硝态氮、铵态氮、有效磷和有效钾含量分别提高了 17.21%~134.85%, 1.42%~72.76%, 8.71%~156.79%和 12.99%~332.39%。(2)添加木本泥炭与有机物料处理对耕作层土壤微生物生物量影响比较明显, 与对照相比, 各处理中土壤微生物量碳和氮含量分别显著增加了 52.95%~219.00%和 121.45%~548.73%。(3)添加木本泥炭与有机物料处理中水稻产量均明显提高, 其中 M<sub>30</sub> FS 增产效果最明显, 增幅为 39.53%。(4)利用聚类分析方法将添加不同有机物料处理下新垦耕地耕作层土壤质量等级划分为 3 级, 分别为: 一级(M<sub>30</sub> FS)、二级(M<sub>15</sub> FS, OFS, CFS)、三级(FS, CK), 其中经 M<sub>30</sub> FS 处理后土壤质量水平等级最高。添加木本泥炭与有机物料可显著降低新垦耕地耕作层土壤容重, 提高土壤总孔隙度和 pH, 解决了红壤黏重和酸化的特征, 且土壤养分和微生物量碳、氮含量均得到了提高, 改善了土壤理化性状和生物学特征, 提高了水稻产量, 其中添加 30 t/hm<sup>2</sup> 木本泥炭对红壤新垦耕地优质耕作层构建效果最明显。

**关键词:** 木本泥炭; 有机物料; 新垦耕地; 红壤; 优质耕作层

中图分类号: S156.6; S158 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2018)06-0134-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2018.06.021

## Techniques and Effects of Quickly Constructing High-quality Tillage Layers for Newly-cultivated Arable Land in Red Soil and Paddy Field Based on Woody Peat and Organic Materials

QU Chengchuang<sup>1</sup>, CHEN Xiaomin<sup>1</sup>, ZHANG Jiabao<sup>2</sup>, FAN Shuyin<sup>3</sup>, TAN Jun<sup>4</sup>,

RUAN Yueming<sup>5</sup>, ZHANG Yinfang<sup>6</sup>, WU Donghe<sup>7</sup>, HAN Zhaoqiang<sup>1</sup>, ZHANG Zhilong<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;  
2. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008; 3. Land Remediation Center of Ministry of Land and Resources, Beijing 100035; 4. Beijing Zhongxiang Lifeng Technology Co., Ltd., Beijing 100024; 5. Jiangxi Provincial Department of Agriculture, Nanchang 330200; 6. Yujiang County Land and Resources Bureau, Yujiang, Jiangxi 335299; 7. Agricultural Technology Promotion Station of Honghu Township, Yujiang County, Yujiang, Jiangxi 335211)

收稿日期: 2018-06-19

资助项目: 国土资源部土地整治中心和北京中向利丰科技有限公司共同资助项目“优质耕作层工程化快速构建技术研究”

第一作者: 曲成闯(1992—), 男, 硕士研究生, 主要从事水土资源利用研究。E-mail: 2016103065@njau.edu.cn

通信作者: 陈效民(1957—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土资源与环境物理过程研究。E-mail: xmchen@njau.edu.cn

张佳宝(1957—), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事农田和区域水循环及物质迁移转化过程、生态环境效应与系统模拟及农田生态过程长期演变规律与地力提升机理研究。E-mail: jbzhang@issas.ac.cn

**Abstract:** In order to explore the mechanism of woody peat cultivation on the high-quality tillage layer in the newly cultivated land in red soil and the improvement effects of woody peat over other organic materials on the new cropland in red soil, a field experiment was conducted to study the effects of different organic materials addition on soil physicochemical properties, microbial biomass in 0—20 cm red soil of arid land and rice yield. Six different treatments included: CK (without adding modified material), M<sub>30</sub> FS (woody peat 30 t/hm<sup>2</sup> + straw decay 3 t/hm<sup>2</sup> + limestone powder 3.75 t/hm<sup>2</sup>), M<sub>15</sub> FS (woody peat 15 t/hm<sup>2</sup> + straw decay 3 t/hm<sup>2</sup> + limestone powder 3.75 t/hm<sup>2</sup>), CFS (biochar 15 t/hm<sup>2</sup> + straw decay 3 t/hm<sup>2</sup> + limestone powder 3.75 t/hm<sup>2</sup>), OFS (organic fertilizer 15 t/hm<sup>2</sup> + straw decay 3 t/hm<sup>2</sup> + limestone powder 3.75 t/hm<sup>2</sup>), FS (straw decay 3 t/hm<sup>2</sup> + limestone powder 3.75 t/hm<sup>2</sup>). The results showed that: (1) Compared with the control, the addition of woody peat and organic materials significantly reduced the soil bulk density in tillage layer, improved the soil total porosity and pH. Soil fertilities were also increased after addition of woody peat and organic materials with the varying degrees of improvement, the contents of soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium increased by 36.41% to 88.53%, 2.22% to 37.78%, 6.25% to 93.75% and 27.57% to 85.60%, respectively, and ammonium nitrogen, available phosphorus and available potassium increased by 17.21%~134.85%, 1.42%~72.76%, 8.71%~156.79% and 12.99%~332.39%, respectively. (2) Adding woody peat and organic materials had a significant effect on soil microbial biomass in tillage layer. Compared with the control, the soil microbial biomass carbon and nitrogen increased significantly by 52.95% to 219.00% and 121.45% to 548.73% respectively. (3) The rice yield increased significantly with the application of woody peat and organic materials, of which M<sub>30</sub> FS gave the biggest increase of 39.53% in production. (4) The soil quality of cultivated land under different treatment was divided into 3 grades by cluster analysis: first grade (M<sub>30</sub> FS), second grade (M<sub>15</sub> FS, OFS, CFS), and third grade (FS, CK), among which soil quality level was the highest under M<sub>30</sub> FS. The addition of woody peat and organic materials could significantly reduce soil bulk density in tillage cultivated layer, alleviate the viscous and acidification in red soil through improving soil total porosity and pH, and increase the soil nutrient and microbial biomass carbon and nitrogen contents, improve soil physical, chemical and biological properties, and finally increase rice yield. In a word, the addition of 30 t/hm<sup>2</sup> of woody peat had the most obvious effect on the construction of high-quality tillage layers of new cropland in red soil.

**Keywords:** wood peat; organic material; new-cultivating farmland; red soil; high quality cultivated soil

低山丘陵红壤发育于第四纪红色黏土,由于气候、生物、母质、地形和时间等自然成土因素影响,导致土壤普遍存在耕性不良、质地黏重、酸性强、有机质缺乏以及熟化程度低等特点<sup>[1]</sup>,且红壤地区降雨充沛,淋溶作用较强,导致土壤有效养分含量处于较低水平。我国红壤主要分布于南方地区,其现有耕地面积约占全国耕地面积的 28%,却养活了中国 46% 的人口。正是由于人地矛盾,迫切要求增加新垦耕地面积,尤其是当前耕地后备资源不断减少,垦造耕地要求也不断提高,实现耕地占补平衡“占一补一,占优补优”,要求必须充分挖掘垦造耕地潜力,提升垦造耕地耕作层土壤质量<sup>[2]</sup>,但目前缺乏针对新垦耕地优质耕作层快速构建技术的研究。因此,探索红壤新垦耕地优质耕作层快速构建技术、改善土壤理化性状、提高土壤肥力水平成为实现红壤区农业可持续发展亟待解决的关键问题。

构建红壤新垦耕地优质耕作层关键是调控土壤 pH,提高土壤养分含量,熟化土壤,增加土壤有机质含量和通气性。近年来,国内外学者对改善土壤质量和提高土壤耕作能力进行了大量研究。有研究<sup>[3-4]</sup>表明,添加有机物料可调节土壤 pH,增加阳离子交换量,还可以降低土壤重金属的有效性<sup>[5-6]</sup>。有机质作为土壤重要组成部分,增加土壤有机质含量可有效改善土壤质量,供给作物养分需求。前人研究<sup>[7-8]</sup>发现,有机物料不仅可以增加土壤有机质含量,提高土壤肥力,增强土壤生产力,还能增加土壤微生物量碳、氮含量,维持较高的微生物活性,对提高土壤固碳能力起到一定的促进作用<sup>[9]</sup>。杨尚东等<sup>[10]</sup>研究发现,长期单施化肥会导致红壤区土壤肥力水平下降和质量恶化,土壤对生态环境变化的抗逆性降低,而将化肥与有机肥配施可有效减缓土壤 pH 下降趋势,提升土壤肥力和保持土壤健康发展<sup>[11]</sup>。目前,国内外有关提高红壤耕层土壤质量的众多研究中,大

多数主要集中于改善耕种多年农田土壤质量和提升退化土壤肥力的研究,而关于新垦耕地优质耕作层快速构建技术的研究却很少,尤其是利用木本泥炭、生物炭、腐熟秸秆等有机物料提升新垦农田耕作层土壤质量的研究更是鲜有报道。

本研究在大田条件下,以水稻一年一熟制的新垦农田为研究对象,通过设置田间试验小区,针对“占优补优”新整治耕地面临的优质耕作层缺乏而严重影响耕地质量的问题,基于对长期耕种形成的肥沃耕作层特征性质研究,揭示需要冗长培育的主要限制因素,提出优质耕作层快速构建原理,以添加新型有机材料替代冗长培育要素,开展添加不同种类有机物料对新垦耕作层土壤质量效果的对比试验,系统分析不同有机物料对新垦耕地耕作层土壤理化性质、微生物生物量以及产量等的影响,探讨添加有机物料对构建新垦耕地优质耕作层的可行性和机理,旨在为新垦耕地优质耕作层构建提供科学的技术支持,同时也为红壤区农田耕作层土壤质量的提升和农业健康可持续发展提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

本试验于 2017 年 5—11 月在江西省鹰潭市余江县刘家站垦殖场三分场的“旱改水”项目区(28°04'N, 116°41'E)进行,试验面积 2.15 hm<sup>2</sup>。试验布置之前,该试验区已经种植了一季水稻,之前一直为撂荒地。试验区地形以低丘岗地为主,南北有少量丘陵,中部为河谷平原。气候属亚热带湿润季风气候,四季分明,气候温和,雨水充沛,日照充足。

供试土壤属于典型红壤,发育于第四纪红色黏土,在中国土壤分类系统中被划归为湿润铁铝土,其基本理化性质为:土壤容重 1.35 g/cm<sup>3</sup>,总孔隙度 49.06%,粒径 0.002~0.02 mm 颗粒比例为 78.05%,pH 4.71,有机质含量 4.00 g/kg,全氮含量 0.40 g/kg,全磷含量 0.13 g/kg,全钾含量 2.21 g/kg,碱解氮含量 7.35 mg/kg,速效磷含量 2.11 mg/kg,速效钾含量 32.23 mg/kg。由此可见,项目区红壤质地黏重、酸度较高、土壤有机质及氮磷钾养分含量低。

供试水稻品种选取“岳优 9113”。

### 1.2 供试材料

低山丘陵红壤发育于第四纪红色黏土,酸性较强,pH 在 5 以下,故本研究添加石灰石粉改良土壤酸碱度,为有机物料改良土壤和构建优质耕作层提供适宜环境。本试验所用石灰石粉由中国科学院南京土壤研究所提供,其含有 CaCO<sub>3</sub> 当量物为 93.21%,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 0.64%,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量为 0.09%,pH 为 9.18。

试验所用木本泥炭和有机物料基本理化性质:

(1)木本泥炭由北京中向利丰科技有限公司提供,其基本理化性质为全氮含量 6.62 g/kg,全磷含量 0.03 g/kg,全钾含量 0.43 g/kg,EC 值 92.85 μS/cm,有机质含量 686.96 g/kg,总腐殖酸 441.01 g/kg,且游离态腐殖酸占腐殖酸总量的 1.04%,pH 10.12;(2)腐熟秸秆基本理化性质为:全氮含量 4.87 g/kg,全磷含量 0.36 g/kg,全钾含量 0.40 g/kg,有机质含量 185.63 g/kg,pH 7.89;(3)试验所用生物炭以小麦秸秆为原材料,在高温缺氧条件下裂解而成,具有较强吸附性,其基本性质为全氮含量 5.16 g/kg,全磷含量 0.68 g/kg,全钾含量 14.52 g/kg,有机质含量 89.62 g/kg,pH 7.93;(4)有机肥由猪粪、牛粪和水稻秸秆混合发酵腐熟制成,其基本理化性质为:有机质含量 362.91 g/kg,全氮含量 6.11 g/kg,全磷含量 0.25 g/kg,全钾含量 0.38 g/kg,有效磷 54.32 mg/kg,有效钾 42.21 mg/kg,pH 7.25。

### 1.3 试验设计

试验共设 6 个处理:CK(不添加改良材料)、M<sub>30</sub>FS(木本泥炭 30 t/hm<sup>2</sup>+腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)、M<sub>15</sub>FS(木本泥炭 15 t/hm<sup>2</sup>+腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)、CFS(生物炭 15 t/hm<sup>2</sup>+腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)、OFS(有机肥 15 t/hm<sup>2</sup>+腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)和 FS(腐熟秸秆 3 t/hm<sup>2</sup>+石灰石粉 3.75 t/hm<sup>2</sup>)。每个处理设 3 个重复,采用完全随机区组排列。不同小区之间采用田埂隔离,小区四周设保护行。于水稻栽苗前利用横轴式旋耕机耕地,将基肥(施氮量 150 kg/hm<sup>2</sup>,施磷量 50 kg/hm<sup>2</sup>,施钾量 70 kg/hm<sup>2</sup>)、石灰石粉和有机物料与表层 0—20 cm 土壤混合均匀,为水稻插秧做准备。

水稻种子于 2017 年 6 月 1 日撒播到育秧田培育水稻秧苗,为保证秧苗成活率,于 2017 年 6 月 30 日采用人工插秧方式将水稻秧苗移栽到试验小区,水稻株距 20 cm,行距 25 cm。于水稻分蘖期按照当地常规追肥方式对水稻追肥,氮磷钾用量分别为施氮量 160 kg/hm<sup>2</sup>,施磷量 60 kg/hm<sup>2</sup>,施钾量 80 kg/hm<sup>2</sup>。试验期间,各小区水稻田间管理按当地农事日程采取相同措施。

### 1.4 样品采集与指标测定方法

在水稻收获期(2017 年 11 月 6 日),每个小区按照“S”形布设 5 个采样点,采耕作层 0—20 cm 的土壤样品,将 5 个采样点充分混匀作为小区代表性土样。将土样在室内风干,剔除土壤中植物根系、砾石等杂物制备土壤样品,用于测定土壤理化性状指标。另外,采集 200 g 新鲜土壤,立即放置于存有冰袋的便携式冰箱中,带回实验室保存于 4 ℃ 冰箱中,用于土壤生物学特征分析。

土壤理化性质测定:土壤容重和总孔度采用环刀法测定;土壤有机质含量采用高温外热重铬酸钾氧化—容量法测定;全氮含量采用半微量形式 0.01 mol/L  $1/2 H_2SO_4$  滴定法测定;全磷含量采用  $HClO_4-H_2SO_4$  法测定;全钾含量采用 NaOH 熔融—火焰光度法测定;土壤易氧化碳采用高锰酸钾氧化—分光光度计法测定;土壤总有机碳(TOC)是衡量土壤肥力水平的重要指标,其含量采用重铬酸钾—浓硫酸外加加热法测定;土壤 pH 采用电位法(土水比为 1:2.5,浸提剂为 0.01 mol/L  $CaCl_2$  溶液)测定;土壤硝态氮、铵态氮、有效磷和速效钾等指标测定具体操作参照《土壤农化分析》<sup>[12]</sup>。

土壤微生物量碳、氮含量测定:采用氯仿熏蒸提取法测定土壤微生物量碳、氮含量,其中土壤微生物量碳含量采用熏蒸提取—容量分析法测定,土壤微生物量氮含量采用熏蒸提取后凯氏定氮法测定。

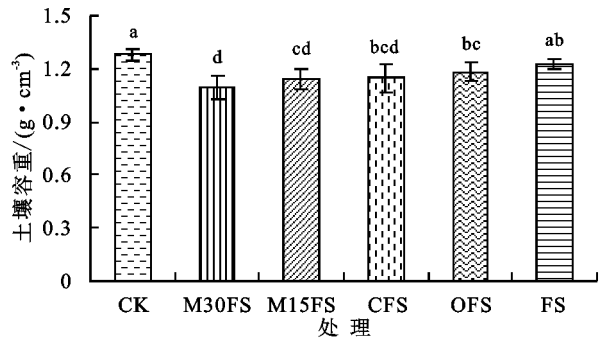
### 1.5 数据统计分析

利用 Excel 2010 软件对原始数据进行初步整理,采用 SPSS 20.0 软件描述统计进行方差分析与原始数据的标准化,同时多重比较采用 Duncan's 新复极差法计算检验差异显著性(3 次重复),不同处理差异显著性用 One-way ANOVA(单因素方差分析)检验,其中显著性水平设为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 添加木本泥炭和有机物料对新垦耕地土壤容重和孔隙度的影响

由图 1 可以看出,不同处理中土壤容重变化范围为 1.09~1.28  $g/cm^3$ ,具体表现  $CK > FS > OFS > CFS > M_{15}FS > M_{30}FS$ 。与 CK 相比,其他处理中土壤容重均有不同程度的降低, $M_{30}FS$ 、 $M_{15}FS$ 、CFS、OFS 和 FS 处理中土壤容重分别降低了 14.49%,10.78%,10.32%,7.47%和 3.98%,其中除 FS 处理外,其他处理与 CK 相比,差异均达到显著水平( $P < 0.05$ )。从图 2 可知,与 CK 相比, $M_{30}F$ 、 $M_{15}FS$ 、CFS 和 OFS 处理均可显著增加土壤总孔度,比 CK 处理分别增加了 13.57%,10.06%,9.65%和 7.00%,FS 处理与 CK 相比,土壤总孔度增加了 3.58%,但差异并不显著。



注:图中不同小写字母表示不同处理之间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

图 1 添加不同有机物料对土壤容重的影响

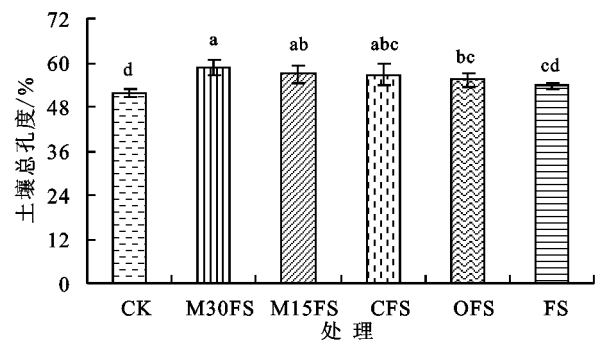


图 2 添加不同有机物料对土壤总孔度的影响

### 2.2 添加木本泥炭和有机物料对新垦耕地土壤肥力特征的影响

从表 1 可以看出,添加木本泥炭和不同有机物料处理与 CK 相比,土壤各肥力指标均有不同程度的提高。对土壤酸碱度的影响具体表现为  $M_{30}FS$ 、 $M_{15}FS$ 、CFS、OFS、FS 处理较 CK 均可提高土壤 pH,其中 CFS、 $M_{30}FS$  和 FS 处理中土壤 pH 与 CK 相比分别提高了 37.45%,24.26%和 16.19%,差异达显著水平( $P < 0.05$ )。与 CK 处理相比,添加木本泥炭和不同有机物料处理均可增加土壤有机质、全氮、全磷、全钾、硝态氮、铵态氮、有效磷、有效钾含量,增幅分别为 36.41%~88.53%,2.22%~34.78%,6.25%~93.75%,23.46%~85.60%,17.21%~134.85%,1.42%~72.76%,8.71%~156.79%,12.99%~332.39%,且各处理中土壤有机质、全钾、硝态氮、有效钾含量与 CK 差异显著( $P < 0.05$ )。与其他处理相比, $M_{30}FS$  处理中耕作层土壤各养分含量均处于较高水平,说明  $M_{30}FS$  处理中耕作层土壤肥力水平最高。

表 1 添加不同有机物料对新垦耕地土壤肥力特征的影响

处理	pH	有机质/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全磷/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全钾/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	硝态氮/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	铵态氮/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	有效磷/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	有效钾/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )
CK	4.94±0.09e	4.01±0.23c	0.45±0.03c	0.16±0.01c	2.43±0.18d	6.80±0.95f	4.92±0.63b	2.87±0.27e	46.50±2.65f
$M_{30}FS$	6.14±0.20b	7.56±0.89a	0.62±0.07a	0.31±0.09a	4.51±0.47a	15.97±1.09a	8.50±1.22a	7.37±0.59a	201.06±3.65a
$M_{15}FS$	5.07±0.06de	5.60±1.68b	0.55±0.12ab	0.22±0.05b	3.60±0.23b	13.25±0.98b	5.79±1.48b	5.64±0.49b	113.12±5.68b
CFS	6.79±0.30a	6.44±0.45b	0.49±0.09bc	0.19±0.07bc	3.00±0.75c	12.73±1.02c	5.52±0.31b	3.74±0.21d	64.37±4.68d
OFS	5.31±0.05de	5.77±0.34b	0.53±0.14abc	0.22±0.05b	3.30±0.53bc	9.00±1.09d	5.80±0.55b	4.49±0.23c	96.07±8.65c
FS	5.74±0.14c	5.47±0.26b	0.46±0.17bc	0.17±0.05c	3.10±0.97bc	7.97±1.67e	4.99±1.73b	3.12±0.18e	52.54±3.67e

注:表中数据为平均值±标准差;同列数据后不同小写字母表示不同处理间在 5%水平上差异显著。下同。



加木本泥炭和有机物料对土壤有一定稀释作用<sup>[15]</sup>,降低土壤容重,改善土壤通气性,有助于作物根系和土壤微生物的活性增强。土壤 pH 是直接反映土壤酸碱状况的重要指标,其对土壤养分存在形态、有效性和转化以及土壤生物活性均有一定影响。本研究发现,施用石灰石粉条件下添加不同有机物料处理均可提高土壤 pH,缓解红壤酸化状况,这与前人<sup>[16]</sup>研究基本一致,原因是石灰石粉本身呈碱性,可中和土壤中活性酸和潜性酸,同时添加的有机物料属于碱性材料,尤其是木本泥炭 pH 达 10.12,对改善新垦耕地红壤酸化情况效果非常明显。红壤肥力偏低已成为限制红壤区农业可持续发展的主要因素之一,且土壤肥力是评定土壤质量水平高低的重要指标。单一的研究土壤全量养分并不能全面反映耕作层土壤肥力的真实状况,应该综合考虑与土壤肥力水平状况相关和植物可吸收利用的土壤有效态养分。本文研究了 3 种土壤全量养分和 4 种土壤有效养分,结果表明,添加木本泥炭和有机物料处理对土壤有机质、全氮、全磷、全钾、硝态氮、铵态氮、有效磷和有效钾含量的提高均有不同程度的促进作用,而不添加改良材料处理中土壤全量养分含量和有效态养分含量处于较低水平,这与颜雄等<sup>[17]</sup>的研究结论一致。添加有机物料可有效提高耕作层土壤养分含量,尤其是添加木本泥炭的 M<sub>30</sub>FS 处理中土壤各养分含量均明显高于其他处理,其提升土壤肥力效果最明显,可能的原因:一方面是石灰石粉改善了土壤酸碱状况,从而增强了土壤微生物活性,促进了矿物质和有机质的分解,加速土壤固定养分的分解和有效养分元素的释放,提高了土壤有效养分含量;另一方面,不同种类的有机物料本身有机质和养分含量较高,将有机物料施用土壤后提高了土壤有机质和养分总量,而木本泥炭中大量的腐殖酸物质含有多种功能基,其表现出包括氧化—还原性、离子交换等多种活性,可分解矿化和固定的养分,从而提高有效养分含量<sup>[18-19]</sup>。此外,有机物料施入土壤后,土壤表面积增大,可为土壤微生物活动代谢提供活动场所,土壤微生物繁殖力增强,增加了微生物群落丰度,土壤中与氮磷钾循环有关微生物群落增多,进而提高了土壤有效养分含量<sup>[20-21]</sup>。

### 3.2 添加木本泥炭和有机物料对耕作层土壤微生物量碳、氮的影响

土壤微生物是土壤最活跃组成成分,可调节和参与土壤中各种生物化学反应过程<sup>[22]</sup>。土壤生态系统中,土壤微生物为土壤养分循环和转化提供动力<sup>[23]</sup>,且土壤有机质分解以及腐殖质形成与土壤微生物生物量也均有较大关系<sup>[24]</sup>,而土壤微生物量碳、氮被认为是反映微生物生物量重要指标和土壤活性养分的

储存库<sup>[1]</sup>。目前,针对添加木本泥炭和有机物料对土壤微生物量碳、氮含量影响的研究<sup>[25]</sup>表明,木本泥炭和有机物料可提高土壤微生物量碳、氮含量。添加木本泥炭和有机物料处理对新垦耕地耕作层土壤微生物量碳、氮含量的提高均有一定促进作用,可能的原因:一方面有机物料改善了红壤 pH 偏低的状况,为微生物提供适宜的生存环境<sup>[26]</sup>,微生物繁殖速度加快,土壤微生物生物量增加;另一方面,木本泥炭和有机物料含有丰富有机质和养分元素,土壤微生物获得足够营养进行生命活动,其活性增强,土壤微生物量碳、氮含量增加。土壤微生物量碳氮比主要反映土壤供氮能力,比值过大或过小均表明土壤碳氮含量失衡<sup>[1]</sup>。添加木本泥炭和有机物料对土壤微生物量碳、氮含量提高均有不同程度促进作用,故不同处理中微生物量碳氮比值不尽相同,土壤氮素长期储存的营养库容量同样具有一定差异,其中 M<sub>30</sub>FS 处理中土壤微生物量碳氮比为 6.49,说明添加 30 t/hm<sup>2</sup> 木本泥炭处理中新垦耕地土壤供碳和供氮比较均衡,土壤环境适宜微生物进行生命活动。

### 3.3 添加木本泥炭和有机物料对水稻产量的影响

有关有机物料改良红壤研究<sup>[27]</sup>发现,利用有机物料可改善土壤肥力状况,增加作物产量。本研究发现,与不添加改良材料处理相比,添加木本泥炭和不同有机物料均可提高水稻产量,其中添加 30 t/hm<sup>2</sup> 木本泥炭处理中水稻产量最高,达到了 7.73 t/hm<sup>2</sup>,增产效果最明显,这是由于添加木本泥炭、腐熟秸秆和石灰石粉改善了土壤肥力质量,土壤理化性状相对其他处理比较优良,土壤微生物活性增强,有效养分含量增加,水稻生命活动所需要的营养元素得到补充,解决了限制作物生长因子问题,水稻产量增加。

### 3.4 添加木本泥炭和有机物料处理下耕作层土壤质量的聚类分析

利用聚类分析方法研究添加木本泥炭和不同有机物料对改善新垦耕地耕作层土壤质量的效果情况,并采用 K—均值聚类方法对不同处理中新垦耕地土壤质量进行等级划分。通过聚类分析结果可知,不同处理下土壤质量划分为 3 个等级,其中一级(M<sub>30</sub>FS)、二级(M<sub>15</sub>FS、OFS、CFS)、三级(FS、CK)。由土壤质量水平等级划分可知,M<sub>30</sub>FS 处理中土壤质量等级最高,对提升新垦耕地土壤质量的效果最优,李健鹏等<sup>[28]</sup>研究也得到了类似结论,原因是与其他处理相比,添加 30 t/hm<sup>2</sup> 木本泥炭处理下土壤容重最小,通气性良好,土壤肥力和微生物生物量同样处于较高水平,为作物提供适宜生长的土壤环境,耕作层土壤质量得到有效提高。

## 4 结论

(1) 添加木本泥炭和有机物料可降低新垦耕地耕作层土壤容重, 提高总孔隙度, 减缓土壤黏重和酸化状况, 增加了土壤有机质和养分含量, 改善了土壤理化性质, 且水稻产量显著增加; 添加木本泥炭和有机物料处理中土壤微生物量碳、氮含量均显著高于不添加改良材料处理。

(2) 利用聚类分析评价添加木本泥炭和有机物料处理下新垦耕地耕作层土壤质量水平, 结果表明 M<sub>30</sub> FS 处理在土壤质量等级划分中等级水平最高, 说明添加 30 t/hm<sup>2</sup> 木本泥炭处理下新垦耕地耕作层土壤质量水平最好。

### 参考文献:

- [1] 陶朋闯, 陈效民, 靳泽文, 等. 生物质炭与氮肥配施对旱地红壤微生物量碳、氮和碳氮比的影响[J]. 水土保持学报, 2016, 30(1): 231-235.
- [2] 沈建国, 王忠, 李丹, 等. 余杭区新垦红壤耕地肥力特征及地力评价[J]. 土壤通报, 2018, 49(1): 55-60.
- [3] Caires E F, Joris H A W, Churka S. Long-term effects of lime and gypsum additions on no-till corn and soybean yield and soil chemical properties in southern Brazil[J]. Soil Use and Management, 2015, 27(1): 45-53.
- [4] 朱同彬, 孙盼盼, 党琦, 等. 淹水添加有机物料改良退化设施蔬菜地土壤[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 335-341.
- [5] 高译丹, 梁成华, 裴中健, 等. 施用生物炭和石灰对土壤镉形态转化的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 258-261.
- [6] 章明奎, 唐红娟, 常跃畅. 不同改良剂降低矿区土壤水溶态重金属的效果及其长效性[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5): 144-148.
- [7] 宓文海, 吴良欢, 马庆旭, 等. 有机物料与化肥配施提高黄泥田水稻产量和土壤肥力[J]. 农业工程学报, 2016, 32(13): 103-108.
- [8] 王中堂, 彭福田, 唐海霞, 等. 不同有机物料覆盖对桃园土壤理化性质及桃幼树生长的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 142-146.
- [9] 俞巧钢, 杨艳, 邹平, 等. 有机物料对稻田土壤团聚体及有机碳分布的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 170-175.
- [10] 杨尚东, 李荣坦, 谭宏伟, 等. 长期单施化肥和有机无机配合条件下红壤蔗区土壤生物学性状及细菌多样性差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4): 1024-1030.
- [11] 鲁艳红, 杨曾平, 郑圣先, 等. 长期施用化肥、猪粪和稻草对红壤水稻土化学和生物化学性质的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 921-929.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [13] Liang B, Yang X, He X, et al. Effects of 17-year fertilization on soil microbial biomass C and N and soluble organic C and N in loessial soil during maize growth[J]. Biology and Fertility of Soils, 2011, 47(2): 121-128.
- [14] Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30(13): 1627-1637.
- [15] 李秋霞, 陈效民, 靳泽文, 等. 生物质炭对旱地红壤理化性状和作物产量的持续效应[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 208-213.
- [16] Wang X, Tang C, Baldock J A, et al. Long-term effect of lime application on the chemical composition of soil organic carbon in acid soils varying in texture and liming history[J]. Biology and Fertility of Soils, 2016, 52(3): 295-306.
- [17] 颜雄, 彭新华, 张杨珠, 等. 长期施肥对红壤旱地玉米生物量及养分吸收的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 120-125.
- [18] 李春越, 党廷辉, 王万忠, 等. 腐殖酸对农田土壤磷素吸附行为的影响研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 77-82.
- [19] 周爽, 其力莫格, 谭钧, 等. 腐植酸提高土壤氮磷钾养分利用效率的机制[J]. 腐植酸, 2015(2): 1-8.
- [20] Rutigliano F A, Romano M, Marzaioli R, et al. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop[J]. European Journal of Soil Biology, 2014, 60(2): 9-15.
- [21] Chen C, Chen D, Lam S K. Simulation of nitrous oxide emission and mineralized nitrogen under different straw retention conditions using a denitrification-decomposition model[J]. Clean-Soil Air Water, 2015, 43(4): 577-583.
- [22] Chen H L, Yao J, Wang F, et al. Study on the toxic effects of diphenol compounds on soil microbial activity by a combination of methods[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 167(1/3): 846-851.
- [23] Yang K, Zhu J, Zhang M, et al. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: A comparison between natural secondary forest and larch plantation[J]. Journal of Plant Ecology, 2010, 3(3): 175-182.
- [24] 张成霞, 南志标. 土壤微生物生物量的研究进展[J]. 草业科学, 2010, 27(6): 50-57.
- [25] 芮绍云, 袁颖红, 周际海, 等. 改良剂对旱地红壤微生物量碳、氮及可溶性有机碳、氮的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(5): 260-265.
- [26] Costa C H M D, Crusciol C A C. Long-term effects of lime and phosphogypsum application on tropical no-till soybean-oat-sorghum rotation and soil chemical properties[J]. European Journal of Agronomy, 2016, 74: 119-132.
- [27] 王笃超, 吴景贵, 李建明. 不同有机物料对连作大豆土壤养分含量及生物性状的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(3): 258-262.
- [28] 李健鹏, 陈清, 谭钧, 等. 木本泥炭腐植酸钾的田间应用效果[J]. 腐植酸, 2017(1): 41-48.