



生物炭对烤烟成熟期根际真菌群落结构的影响及功能预测分析

李茂森, 王丽渊, 杨波, 刘福童, 张勇江, 任天宝, 张福建

引用本文:

李茂森, 王丽渊, 杨波, 刘福童, 张勇江, 任天宝, 张福建. 生物炭对烤烟成熟期根际真菌群落结构的影响及功能预测分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(5): 1041–1048.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0318>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

生物炭对青枯病烟株的根际土壤微生物群落结构调控机制分析

冯慧琳, 付兵, 任天宝, 杜君, 徐辰生, 曾强, 徐茜, 刘国顺

农业资源与环境学报. 2022, 39(1): 173–181 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0018>

玉米秸秆还田量对砂姜黑土酶活性、微生物生物量及细菌群落的影响

刘高远, 和爱玲, 杜君, 杨占平, 潘秀燕, 许纪东, 郑念, 张玉亭

农业资源与环境学报. 2022, 39(5): 1033–1040 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0527>

减肥条件下生物炭施用方式对土壤肥力及酶活性的影响

刘遵奇, 兰宇, 杨铁鑫, 张艺潇, 孟军

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 544–551 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0143>

减肥条件下生物质炭施用对水稻田土壤细菌多样性的影响

陈重军, 凌学林, 邢龙, 冯健, 吴羽希, 范静, 孙远博, 廖方新

农业资源与环境学报. 2021, 38(3): 385–392 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0327>

添加生物质炭改良剂对土壤-烟草中重金属含量的影响

赵建, 朱文彬, 汪玉, 祝乾湘, 彭玉龙, 刘京, 韩小斌, 夏志林, 王慎强

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 664–672 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0129>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

李茂森, 王丽渊, 杨波, 等. 生物炭对烤烟成熟期根际真菌群落结构的影响及功能预测分析[J]. 农业资源与环境学报, 2022, 39(5): 1041–1048.

LI M S, WANG L Y, YANG B, et al. Effects of biochar on fungal community structure and function on flue cured tobacco[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2022, 39(5): 1041–1048.



开放科学 OSID

# 生物炭对烤烟成熟期根际真菌群落结构的影响及功能预测分析

李茂森<sup>1,2</sup>, 王丽渊<sup>3</sup>, 杨波<sup>4</sup>, 刘福童<sup>1</sup>, 张勇江<sup>3</sup>, 任天宝<sup>1,2\*</sup>, 张福建<sup>4\*</sup>

(1. 河南农业大学/河南省生物炭研究工程技术中心, 郑州 450002; 2. 生物炭技术河南省工程实验室, 郑州 450002; 3. 江西省烟草公司宜春市公司, 江西 宜春 336000; 4. 安徽中烟工业有限责任公司, 合肥 230000)

**摘要:**为探究植烟土壤中真菌群落结构和功能类群对生物炭的响应,采用大田试验的方式,分别设置CK(常规施肥)和T(常规施肥+750 kg·hm<sup>-2</sup>生物炭)两组试验,研究了土壤真菌群落结构,并用FUNGuild对真菌进行功能预测。结果表明,在移栽后105 d,添加生物炭处理的烟株株高和中部叶叶长、叶宽较CK分别提高了2.34%、1.71%和5.48%。添加生物炭处理土壤的pH、速效钾、有效磷、有机质含量较CK处理分别显著提高了0.52个单位、11.14%、7.90%和11.76%( $P<0.05$ )。测序结果表明,土壤中优势真菌门类为子囊菌门(Ascomycota)、毛霉菌门(Mucoromycota)、一种SAR超类群(SAR-k-NORANK)和担子菌门(Basidiomycota),平均相对丰度分别为84.78%、5.96%、2.66%和2.29%,施加生物炭提高了毛霉菌门和担子菌门的丰度,升幅分别达到了54.02%和31.49%,子囊菌门的相对丰度较CK处理降低了1.20%。FUNGuild分析结果表明,施加生物炭后,土壤中病理营养型真菌丰度降低了62.07%,腐生营养型真菌丰度升高了69.80%。对烤后烟叶进行分析发现,烟叶总糖、还原糖和钾含量均有显著提高( $P<0.05$ ),增幅分别为16.47%、10.82%和11.78%,烟碱、总氮和蛋白质含量分别提高了2.65%、2.24%和2.14%,氯含量降低了1.46%。研究表明,施加生物炭可以增加土壤微生物对腐生物质的分解速率,提高土壤养分含量并促进物质循环,改善烟株性状,提升烤后烟叶品质,同时可以降低烤烟的病害风险。

**关键词:**生物炭;土壤;真菌群落结构;功能类群

中图分类号:S572;S154.3 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2022)05-1041-08 doi: 10.13254/j.jare.2021.0318

## Effects of biochar on fungal community structure and function on flue cured tobacco

LI Maosen<sup>1,2</sup>, WANG Liyuan<sup>3</sup>, YANG Bo<sup>4</sup>, LIU Futong<sup>1</sup>, ZHANG Yongjiang<sup>3</sup>, REN Tianbao<sup>1,2\*</sup>, ZHANG Fujian<sup>4\*</sup>

(1. Henan Agricultural University / Henan Biochar Technology Engineering Laboratory, Zhengzhou 450002, China; 2. Henan Biochar Engineering Technology Research Center, Zhengzhou 450002, China; 3. Yichun Branch of Jiangxi Tobacco Company, Yichun 336000, China; 4. Anhui China Tobacco Industry Co., Ltd., Hefei 230000, China)

**Abstract:** To explore the effects of biochar on fungal community structure and functional groups in tobacco planting soil, two experimental field plots were set up: conventional fertilization (CK) and conventional fertilization+750 kg·hm<sup>-2</sup> biochar (T). The community structure of soil fungi was studied, and FUNGuild was used to predict fungal functions. One hundred and five days after transplanting, plant height, middle leaf length, and leaf width of tobacco treated with biochar increased by 2.34%, 1.71%, and 5.48%, respectively, compared with CK. Also compared with CK, pH, available potassium, available phosphorus, and organic matter significantly increased by 0.52 unit, 11.14%, 7.90% and 11.76% respectively ( $P<0.05$ ). Sequencing results showed that the dominant soil fungi were Ascomycota, Mucoromycota, SAR-k-NORANK, and Basidiomycota, with respective average relative abundances of 84.78%, 5.96%, 2.66%, and 2.29%. Biochar application

收稿日期:2021-05-19 录用日期:2021-09-18

作者简介:李茂森(1997—),男,河南驻马店人,硕士研究生,研究方向为植物营养与土壤健康。E-mail:18134433972@163.com

\*通信作者:任天宝 E-mail:biochar2018@henau.edu.cn; 张福建 E-mail:zhangfujianxau@163.com

基金项目:河南省重点研发计划项目(222102110178);广东中烟工业有限责任公司科技攻关项目(2020440000340029);河南青年骨干教师资助项目(2020GGJS047)

**Project supported:** Henan Province Key R & D Project(222102110178); Guangdong China Tobacco Industry Co., Ltd. Science and Technology Research Project(2020440000340029); Foundation for University Key Teacher of Henan(2020GGJS047)

increased the abundance of Mucoromycota and Basidiomycota, and decreased the relative abundance of Ascomycota by 1.20% compared with CK. FUNGuild analysis showed that after biochar was applied, the abundance of pathotrophic fungi in soil decreased by 62.07%, and the abundance of saprophytic fungi increased by 69.80%. In the tobacco leaves, total sugar, reducing sugar, and potassium contents increased significantly, reaching 16.47%, 10.82%, and 11.78%, respectively. Nicotine, total nitrogen, and protein contents increased by 2.65%, 2.24%, and 2.14%, respectively, and chlorine content decreased by 1.46%. In conclusion, biochar application can increase the decomposition rate of rotting biomass by soil microorganisms, improve soil nutrients, promote material circulation, improve tobacco plant properties, improve the quality of flue-cured tobacco leaves, and reduce disease risk in flue-cured tobacco.

**Keywords:** biochar; soil; fungal community; functional groups

生物炭是生物质在低氧条件下经高温裂解而产生的一种性质稳定的黑色富碳物质<sup>[1]</sup>。生物炭表面孔隙丰富,有较大的电荷密度和比表面积<sup>[2]</sup>。这些特殊的理化性质使生物炭可以作为优秀的土壤改良剂<sup>[3]</sup>,生物炭可以改善土壤的理化性质及微生态环境,提高土壤矿化效率,进而提高土壤肥力<sup>[4]</sup>。此外,生物炭可以吸附土壤中的重金属,改变土壤中重金属的形态,减轻其对作物的毒害<sup>[5]</sup>。研究发现,施用生物炭可以有效提高土壤中速效钾、有效磷等养分含量,提高土壤pH,改善土壤酸化现象<sup>[6-7]</sup>。另有研究表明,在土壤中持续添加生物炭数年,可以有效改善土壤结构,提高土壤孔隙度,降低土壤容重<sup>[8]</sup>。

微生物驱动土壤的物质循环,微生物种类不同,其生理、生化和生态特性也有显著的差异,微生物群落的组成和结构对土壤中的物质循环有较大的影响<sup>[9]</sup>。反之,土壤的形态以及土壤中的养分等因素也会对微生物的群落组成产生一定的影响。生物炭表面具有发达的孔隙结构和较大的比表面积,对水肥有较好的吸收和保持能力,为微生物提供了绝佳的生存环境<sup>[10]</sup>。大量试验表明,施加生物炭可以在不同程度上增加土壤中细菌、真菌和放线菌的数量。殷全玉等<sup>[11]</sup>连续4年在烟地中施加生物炭,发现连续施用生物炭显著改变了土壤真菌的群落结构,但对真菌OTU数量和 $\alpha$ 多样性指数没有显著影响。阎海涛等<sup>[12]</sup>研究发现,施加生物炭提高了子囊菌门和担子菌门的相对丰度,降低了接合菌门的相对丰度。真菌是土壤微生物的重要组成部分,在土壤物质循环、能量传递、抑菌杀虫、防治土传病害等方面具有不同的作用和特性。研究发现,真菌是土壤中最主要的一类病原物,70%左右的植物侵染性病害都是由真菌引起<sup>[13]</sup>,如镰刀菌可通过侵染烟草根系,破坏烟草根系的维管束组织,从而引发烟草根黑腐病<sup>[14]</sup>,黑腐病在烟草种植中的危害日益严重,已经成为重要土传病害<sup>[15]</sup>。另外,真菌在土壤物质循环和抑菌杀虫等方面也发挥着重

要作用:枯草芽孢杆菌是一种常见的益生菌,广泛分布在土壤及腐败的有机物中,多用于作物的病害防治<sup>[16]</sup>;漆斑菌广泛存在于植物和土壤中,具有极强的纤维素分解能力,同时还能够产生抗生素。这些真菌的存在对土壤微生态的自我修复或化学营养环境的改善具有重要作用<sup>[17]</sup>。因此,加强对土壤微生物,尤其是真菌群落结构调控技术研究有利于我国农业的绿色可持续发展。

近些年来,关于生物炭对植烟土壤微生物多样性的影响已有较多的研究,但大多数研究围绕生物炭对细菌或真菌多样性和群落结构的影响,而对于土壤微生物菌群尤其是真菌类群的功能分析相对较少,本试验采用高通量测序技术结合 FUNGuild 分析方法,在研究生物炭对烤烟根际真菌群落结构影响的基础上,进一步探究生物炭对植烟土壤真菌功能类群的影响,以期对植烟土壤微生态调控提供更多的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本试验于2020年在江西宜春上高烟区进行,该烟区实行烟稻轮作制,植烟土壤均为砂壤土。土壤基本理化性质:土壤pH为5.52,有机质含量为13.40 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮为97.25 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷为25.54 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾为105.40 mg·kg<sup>-1</sup>。生物炭原料为花生壳,在低氧环境下经380~400℃持续炭化20 min制得,其基本理化性质如表1所示。

### 1.2 试验设计

试验采用随机区组设计,共设置2个处理(CK和T),每个处理设置3个重复,每小区长20 m、宽5 m,试验总面积0.06 hm<sup>2</sup>。CK处理:常规施肥(烟草专用肥270 kg·hm<sup>-2</sup>, $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O)=1:1:3$ ,硫酸钾225 kg·hm<sup>-2</sup>,钙镁磷肥112.5 kg·hm<sup>-2</sup>),T处理:750 kg·hm<sup>-2</sup>生物炭+常规施肥。2020年4月23日之前将生物炭施入烟田,生物炭和常规肥料作为基肥一次性

表1 供试生物炭理化性质

Table 1 Physicochemical properties of the biochar

比表面积 Specific surface area/(m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	容重 Bulk density/(g·cm <sup>-3</sup> )	孔体积 Pore volume/(m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	pH	C/(g·kg <sup>-1</sup> )	N/(g·kg <sup>-1</sup> )	C/N
16.71	0.21	0.029	9.05	465.30	8.30	56.06

施入植烟土壤,施肥方式为条施。各处理的移栽方法、水肥管理、农事操作与当地大田一致。

### 1.3 测定方法

#### 1.3.1 供试土壤与样品采集

烤烟生长到成熟期第75天时,采用5点取样法,每个处理确定5个取样点,用铲子将烟株根际周围的土壤挖至30 cm的深度,切割土壤中烟株的任何侧根,挖出烟株整个根部。将根球放入盆中,摇动根部并用铲子收集土壤,收集完成后混匀并分为3部分:一部分保存在10 mL无菌离心管中,用干冰保存送往上海美吉生物医药科技有限公司进行微生物多样性检测;一部分于4℃冰箱保存,用于土壤微生物量的检测;最后一部分在阴凉处自然风干后研磨,分别过0.85、0.25 mm和0.15 mm筛后于阴凉处保存,用于土壤理化性质分析。

#### 1.3.2 土壤理化指标及养分测定

参考《土壤农业化学分析方法》<sup>[18]</sup>对土壤理化性质进行测定,每个样点做3个平行组。pH的测定用超纯水作浸提剂,按照土水比为1:2.5的比例浸提,用精密pH计(型号:IS128C)直接测定;碱解氮(AN)采用碱解扩散法测定;土壤速效钾(AK)采用火焰光度计法测定;土壤有效磷(AP)采用碳酸氢钠浸提法测定;微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)采用氯仿熏蒸-硫酸钾浸提法测定。

#### 1.3.3 土壤真菌检测

土壤DNA提取和PCR扩增:使用E.Z.N.A.<sup>®</sup>soil试剂盒(Omega Bio-tek, Norcross, 美国)对土壤DNA进行提取,利用NanoDrop2000超微量分光光度计(Thermo Fisher Scientific, 美国)对DNA的纯度进行检测;检测合格后,以稀释后的基因组DNA为模板,引物采用18S SSU0817F(5'-TTAGCATGGAATA-ATRR AATAGGA-3')和1196R(5'-TCTGGACCTG-GTGAGTTTCC-3')进行PCR扩增。为了确保扩增效率和准确性,PCR产物使用电泳检测,检测后使用磁珠纯化,纯化后作为二轮PCR模板,并进行二轮PCR扩增,再次使用电泳检测,检测后使用磁珠纯化,纯化后对PCR产物进行Qubit定量。根据PCR产物浓度

进行等量混样,之后上机测序。

#### 1.3.4 农艺性状及烤后烟叶化学成分测定

在烟叶移栽后65、85 d和105 d的两个处理中各选取10株烤烟,分别测量烟株的株高、茎围、中部叶叶长和叶宽,烟株茎围选取烟株自上而下第5、10、15片叶处测定,取平均值。中部叶叶长、叶宽选烟株自上而下第10片叶进行测量。烘烤结束后,选取两个处理的B2F等级烟叶各0.5 kg,总糖、还原糖、总氮、烟碱、钾元素、氯元素和蛋白质分别参照烟草行业标准YC/T 159—2002、YC/T 160—2002、YC/T 161—2002、YC/T 166—2002、YC/T 166—2002、YC/T 160—2002和YC/T 166—2003进行测定,每个处理重复3次。

#### 1.4 数据分析

采用Microsoft Excel 2016对数据进行整理,方差分析采用最小显著性差异法,用SPSS 22.0软件处理数据,样本间群落组成差异采用非度量多维尺度法(NMDS)进行分析,用R语言软件的Vegan包进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物炭对烤烟农艺性状的影响

由表2可知,添加生物炭后烟株株高和中部叶叶宽在移栽后65、105 d均大于对照处理,且差异均达到显著性水平( $P<0.05$ ),株高在三个时期各提高了3.32%、0.35%和2.34%,生物炭处理烟株中部叶叶宽较对照分别提高了4.28%、4.79%和5.48%。添加生物炭处理茎围与对照组无显著差异( $P>0.05$ )。生物炭处理在移栽后65 d和105 d中部叶叶长较对照显著提高2.33%和1.71%。以上结果表明施用生物炭有利于烟株生长。

### 2.2 生物炭对土壤养分的影响

由表3可知,与CK相比,施加生物炭的土壤pH升高了0.52个单位,与CK存在显著差异( $P<0.05$ );土壤碱解氮含量与CK无显著差异( $P>0.05$ );生物炭处理速效钾、有效磷和有机碳含量较CK处理分别提高了11.14%、7.90%和11.76%,且均与CK存在显著差异( $P<0.05$ )。这说明添加生物炭可以显著提高土壤速效

表2 烟株不同生育时期农艺性状指标

Table 2 Agronomic traits of tobacco at different growth stages

时期 Stage	处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎围 Stem girth/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm
移栽后 65 d 65 days after transplanting	CK	91.73±1.54b	10.45±0.58a	69.82±1.12b	29.45±0.95b
	T	94.78±2.86a	10.76±0.62a	71.45±1.26a	30.71±1.15a
移栽后 85 d 85 days after transplanting	CK	95.88±2.52a	12.74±0.52a	73.76±1.95a	30.46±0.52b
	T	96.22±1.65a	13.12±0.64a	74.01±1.53a	31.92±1.23a
移栽后 105 d 105 days after transplanting	CK	95.32±1.52b	12.55±0.51a	73.72±0.55b	30.10±0.28b
	T	97.55±2.25a	13.16±0.55a	74.98±0.89a	31.75±0.76a

注:同列相同时期不同小写字母表示CK与T处理间在0.05水平上差异显著。下同。

Note: Different lowercase letters in a column for the same stage indicate significant differences between CK and T at the 0.05 level. The same below.

表3 生物炭对土壤养分的影响

Table 3 Effects of biochar on soil nutrients

处理 Treatment	pH	碱解氮 Alkali-hydrolyzed nitrogen/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available potassium/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available phosphorus/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	有机碳 Organic carbon/ (g·kg <sup>-1</sup> )
CK	5.59±0.17b	62.97±6.03a	150.14±23.32b	89.35±3.48b	12.42±1.03b
T	6.11±0.03a	69.33±7.15a	166.86±22.97a	96.41±7.99a	13.88±0.54a

养分含量,并有效改善土壤的酸化现象。

### 2.3 生物炭对真菌α多样性的影响

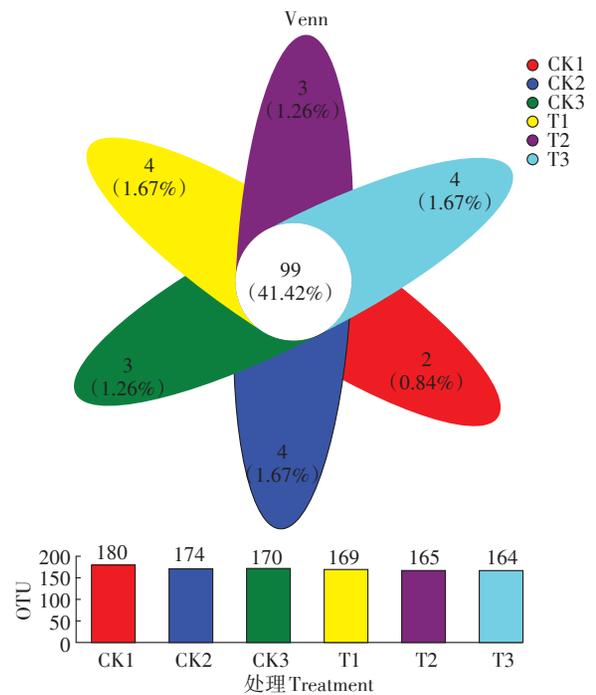
对6个样本的真菌进行检测,共得到真菌24个门类,99个科类,114个属类,测得有效序列(Sequences)259 848条。对所有序列进行聚类后得知,CK和T处理的样本平均OTU数分别为170和166,对照和施加生物炭处理的OTU数差异不大(图1)。如表4所示,施加生物炭后ACE指数和超指数降低,香农指数升高,说明生物炭对土壤真菌多样性具有一定的影响。样品测序覆盖度分别达到99.92%和99.95%,表明样品测序深度足够,满足后续分析要求。

### 2.4 生物炭对真菌群落结构的影响

#### 2.4.1 生物炭对门水平上真菌相对丰度的影响

由图2可以看出,在所有样本门水平上优势真菌为子囊菌门(Ascomycota)、毛霉菌门(Mucoromycota)、一种未分类SAR超类群(SAR-k-NORANK)和一种未分类的真菌类群(Unclassified-k-Fungi),其相对丰度之和占有可注释真菌的90%以上,相对丰度分别为81.21%~87.37%、2.69%~8.60%、0.83%~5.19%和1.44%~3.70%。

对施加生物炭处理和对照土壤样品中真菌群落的相对丰度进行T检验,结果如图3所示。与对照相比,施加生物炭降低了子囊菌门和一种未分类的SAR超类群的相对丰度,分别降低了1.20%和63.88%;同时提高了毛霉菌门、担子菌门和一种未分类的真菌类群,升幅分别达到54.02%、31.49%和38.63%。



CK1、CK2、CK3和T1、T2、T3分别为CK和T处理的重复。下同  
CK1, CK2, CK3 and T1, T2, T3 in the figure are the repetition of CK and T treatment. The same below

图1 土壤真菌群落OTU数

Figure 1 OTU number of soil fungal community

#### 2.4.2 生物炭对土壤真菌β多样性的影响

如图4所示,基于OTU水平的非度量多维尺度分析结果表明,在NMDS1轴上,生物炭添加后土壤样本与对照组真菌群落明显分离,说明添加生物炭可以影

表4 真菌群落测序顺序和α多样性  
Table 4 Sequencing result of fungal communities α diversity

处理 Treatment	有效序列数 Sequence number	OTU数 OTU number	香农指数 Shannon index	ACE指数 ACE index	超指数 Chao index	辛普森指数 Simpson index	覆盖度 Coverage/%
CK	120 707	175	2.78	190.61	197.27	0.14	99.92
T	139 141	166	3.04	179.40	184.85	0.09	99.95

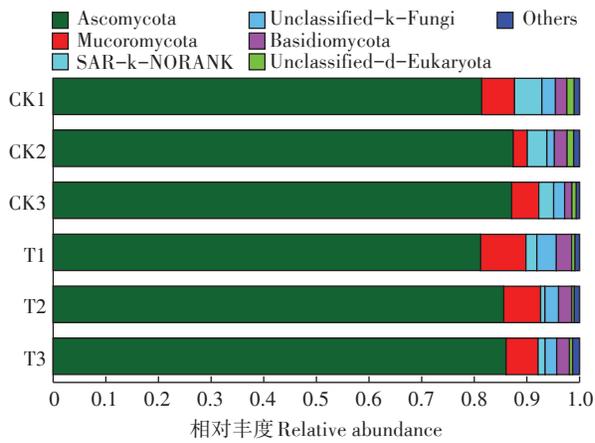


图2 门水平上真菌相对丰度

Figure 2 Relative abundance of fungi at phylum level

响土壤的真菌群落。

2.4.3 生物炭对真菌功能类群的影响

从图5中可以看出,土壤中可鉴定真菌共分6种营养类型。其中病理-腐生-共生过渡型真菌丰度在CK和T处理中占比均为最高,分别为34.21%和33.50%。添加生物炭使土壤病理营养型真菌丰度较对照下降了62.07%,腐生营养型真菌丰度提高了69.80%,说明生物炭对土壤的物质循环和病害防治具有一定的促进作用。

由图6可知,已鉴定出的土壤功能真菌优势类群

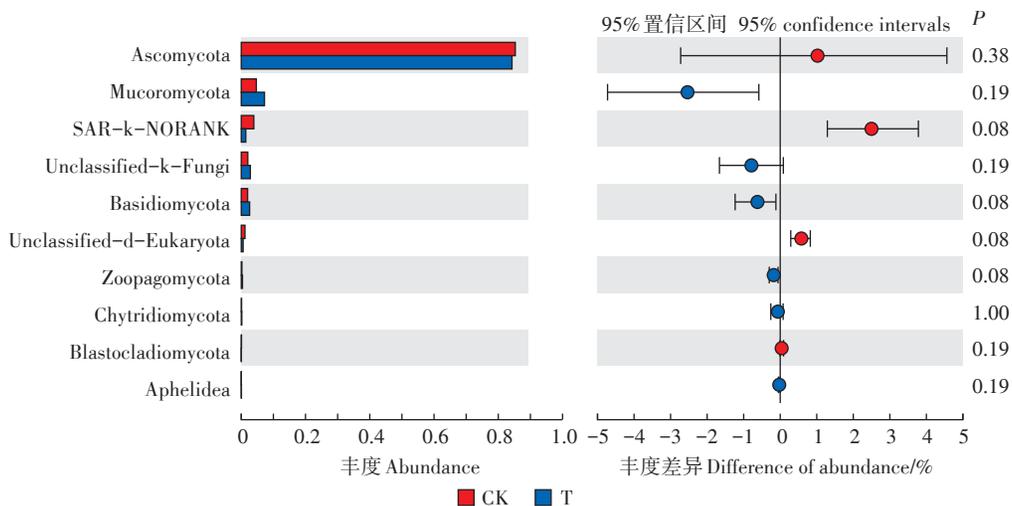


图3 门水平上真菌相对丰度差异

Figure 3 Relative abundance differences of fungi at phylum level

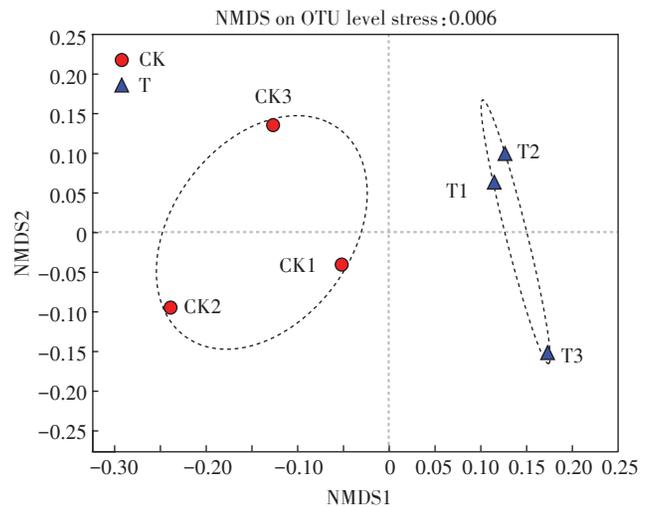


图4 基于非度量多维尺度(NMDS)土壤真菌群落分析

Figure 4 Analysis of soil fungal community based on NMDS

为动物病原菌-内生菌-地衣寄生菌-植物病原菌-土壤腐生菌-木质腐生真菌、动物病原菌-粪腐生物-内生菌-表生菌-植物腐生菌-木质腐生真菌、一种未分类的腐生菌和动物病原菌-内生菌-地衣寄生菌-植物病原菌-木质腐生真菌,其平均丰度分别占优势OTU的28.31%、17.26%、12.22%和6.65%。添加生物炭后动物病原菌-内生菌-地衣寄生菌-植物病原菌-土壤腐生菌-木质腐生真菌和一种未分类的腐生菌

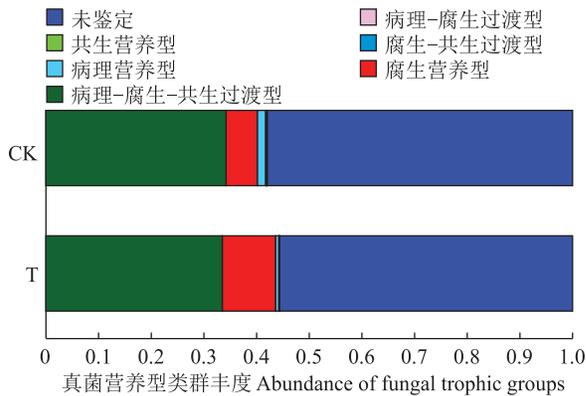


图5 真菌营养类型组成的相对丰度

Figure 5 Relative abundance of nutrient types of fungi

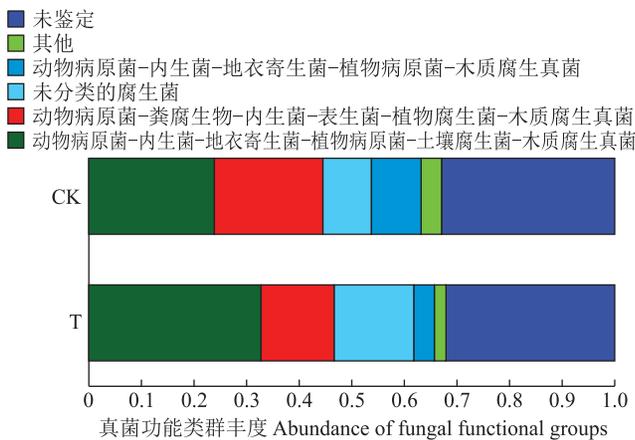


图6 基于OTUs的真菌功能类群

Figure 6 Functional groups of fungi based on OTUs

类群丰度较CK处理分别升高了37.15%和64.38%，动物病原菌-粪腐生物-内生菌-表生菌-植物腐生菌-木质腐生真菌和动物病原菌-内生菌-地衣寄生菌-植物病原菌-木质腐生真菌类群丰度分别下降了32.70%和58.89%。

### 2.5 生物炭施用对烟叶常规化学成分的影响

试验比较分析了两个处理中B2F等级烤后烟叶样品的常规化学成分，由表5可知，生物炭处理的烟叶总糖、还原糖、钾含量较对照处理均有显著增加，分别增加16.47%、10.82%和11.78% ( $P < 0.05$ )；生物炭对烟碱、氯、总氮和蛋白质的影响均未达到显著水平 ( $P > 0.05$ )。烟叶中的氯离子含量较对照组略微下降，钾

氯比明显提高了13.31%。施加生物炭后，总糖和还原糖含量均有所增加，但总糖增幅较大，两糖比下降了4.44%。

## 3 讨论

### 3.1 生物炭对植烟土壤养分的影响

生物炭能够改良土壤，使土壤更有利于植物生长<sup>[19]</sup>。本试验结果表明，施加生物炭显著提高了土壤pH值，这是由于生物炭在自然条件下呈碱性，pH值一般为7.0~10.5<sup>[20]</sup>，施加到土壤后可以提升土壤的pH值，使烟株在适宜的pH条件下生长发育，朱盼等<sup>[21]</sup>研究发现，施加生物炭和石灰均能提高土壤的pH值。氮素是影响植株生长发育的关键元素，直接决定作物的产量，生物炭能够保持土壤水分并且提升土壤的固氮能力，降低氮素流失。

本研究发现，施加生物炭可以显著提高土壤有效磷含量，与刘卉等<sup>[22]</sup>的研究结果一致，这是由于生物炭能通过影响土壤中的阳离子活性或者改变微生物活性间接影响磷素的有效性和可吸附性<sup>[23]</sup>，并且生物炭还能有效促进土壤微生物对土壤磷素的溶解、矿化及固持作用，从而提高土壤中有效磷含量<sup>[24]</sup>。施用生物炭能提高土壤有机碳水平，而有机碳能够降低土壤固钾能力，使土壤中钾元素的有效性提升，同时施用生物炭能够提高土壤温度，使土壤中缓效钾的释放量增多，并能提高速效钾含量<sup>[25]</sup>。

### 3.2 生物炭对土壤真菌群落结构及功能类群的影响

施加生物炭可以改变土壤环境，进而促进微生物群落组成和结构的改变<sup>[26]</sup>。本试验结果表明，施加生物炭后，土壤真菌OTU数和 $\alpha$ 多样性指数较对照没有显著变化，这与殷全玉等<sup>[11]</sup>和阎海涛等<sup>[12]</sup>的研究结果一致，可能是由于真菌在土壤中大多为分解者，而生物炭是一种极难分解的惰性碳，真菌在短时间内无法有效地分解利用生物炭<sup>[27]</sup>。本研究发现土壤中门水平上优势真菌为子囊菌门、毛霉菌门及一种未分类的SAR超类群，这与前人的研究结果相似<sup>[28-29]</sup>。施加生物炭后，毛霉菌门、担子菌门和一种未分类的真菌类群的群落相对丰度有所提高。毛霉菌是一种广泛存

表5 生物炭施用对烤后烟常规化学成分的影响

Table 5 Effects of biochar on conventional chemical components of flue-cured tobacco

处理 Treatment	总糖 Total sugar/ (mg·g <sup>-1</sup> )	还原糖 Reducing sugar/ (mg·g <sup>-1</sup> )	烟碱 Nicotine/ (mg·g <sup>-1</sup> )	钾 Potassium/ (mg·g <sup>-1</sup> )	氯 Chlorine/ (mg·g <sup>-1</sup> )	总氮 Total nitrogen/ (mg·g <sup>-1</sup> )	蛋白质 Protein/ (mg·g <sup>-1</sup> )	钾氯比 Potassium/ Chlorine	两糖比 Reducing sugar/ Total sugar
CK	191.67±26.83b	173.35±18.72b	32.43±0.32a	23.42±0.29b	8.91±0.39a	22.78±0.89a	11.23±0.93a	2.63	0.90
T	223.24±30.42a	192.11±21.25a	33.29±0.41a	26.18±0.37a	8.78±0.27a	23.29±0.63a	11.47±0.85a	2.98	0.86

在于自然界的腐生真菌,分解蛋白质的能力较强,毛霉菌门丰度的增加有利于土壤蛋白质的循环<sup>[30]</sup>。子囊菌门是土壤中存在的丰度最高的真菌,子囊菌在土壤中以腐生、寄生和共生的营养方式生存,可以分解动植物残体,部分子囊菌也会导致植物发生根腐、茎腐、枝枯和叶斑等<sup>[31]</sup>。本试验中,施加生物炭后,子囊菌门丰度有略微下降,这可能是由于其他真菌类群与之产生竞争。

与细菌相比,真菌拥有更为复杂的生活史,在土壤中以多种方式吸收营养,土壤环境发生变化时,部分真菌会迅速改变自身的营养方式,以对抗因环境变化带来的不利影响,这是一种较为高级的生存策略<sup>[32]</sup>。腐生真菌可以分解植物残体、动物粪便等有机质,使其能够被植物吸收利用<sup>[33]</sup>。本研究发现,施加生物炭后,土壤中病理营养型真菌丰度降低,而腐生营养型真菌丰度增加,说明施用生物炭增强了土壤真菌的分解能力,更有利于作物吸收土壤中营养物质,促进烟株的生长发育。同时病理营养型真菌丰度下降,降低了烟草的病害风险,减少了经济损失。

非度量多维尺度分析结果表明,施加生物炭后,土壤真菌群落结构会产生一系列的变化,与对照表现出明显的分离,这与陈坤等<sup>[34]</sup>的研究结果一致。生物炭对土壤微生物既有直接作用又有间接作用:一方面,生物炭丰富的孔隙结构为微生物的生长提供了极佳的条件,直接影响了微生物群落结构;另一方面,生物炭的施加影响了土壤的养分状况,进而对微生物的群落结构产生一定的影响。

#### 4 结论

(1)生物炭的施加显著提高了烟株的株高、叶长、叶宽,使烤后烟叶总糖、还原糖和钾离子含量显著增加( $P<0.05$ )。总体而言,施加生物炭对烟叶的品质具有一定的提高作用。

(2)施加生物炭后,植烟土壤的速效养分含量提高,烤烟根际土壤酸化现象得到改善。

(3)生物炭改变了植烟土壤真菌的群落结构,提高了毛霉菌门、担子菌门的相对丰度,降低了子囊菌门相对丰度。

(4)施加生物炭降低了植烟土壤病理营养型真菌丰度,提高了腐生营养型真菌丰度。

本试验探究了生物炭对植烟土壤真菌群落结构以及功能类群的影响,为烤烟根际微生态调控及烟草栽培提供一定的理论依据。

#### 参考文献:

- [1] LEHMANN J D, JOSEPH S. Biochar for environmental management: Science and technology[M]. London: Earthscan, 2009.
- [2] 刘娟丽, 曹天鹏, 王黎虹. 秸秆生物质炭的制备及吸附性能研究[J]. 工业安全与环保, 2016, 42(1): 1-3, 7. LIU J L, CAO T P, WANG L H. Study on the preparation and adsorption prosperities of biochar from crop straws[J]. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2016, 42(1): 1-3, 7.
- [3] BOURNE D, FATIMA T, VAN MEURS P, et al. Is adding charcoal to soil a good method for CO<sub>2</sub> sequestration? Modeling a spatially homogeneous soil[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2014, 38(9/10): 2463-2475.
- [4] GROSSMAN J M, O'NEILL B E, TSAI S M, et al. Amazonian anthrosols support similar microbial communities that differ distinctly from those extant in adjacent, unmodified soils of the same mineralogy[J]. *Microbial Ecology*, 2010, 60(1): 192-205.
- [5] 高瑞丽, 朱俊, 汤帆, 等. 水稻秸秆生物炭对镉、铅复合污染土壤中重金属形态转化的短期影响[J]. 环境科学学报, 2016, 36(1): 251-256. GAO R L, ZHU J, TANG F, et al. Fractions transformation of Cd, Pb in contaminated soil after short-term application of rice straw biochar[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2016, 36(1): 251-256.
- [6] 高海英, 何绪生, 陈心想事成, 等. 生物炭及炭基硝酸铵肥料对土壤化学性质及作物产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(10): 1948-1955. GAO H Y, HE X S, CHEN X X, et al. Effect of biochar and biochar-based ammonium nitrate fertilizers on soil chemical properties and crop yield[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(10): 1948-1955.
- [7] 丛日环, 李小坤, 鲁剑巍. 土壤钾素转化的影响因素及其研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(6): 907-913. CONG R H, LI X K, LU J W. Advances in research on influence factors of soil potassium transformation[J]. *Journal of Huazhong Agricultura University*, 2007, 26(6): 907-913.
- [8] 袁金华, 徐仁扣. 生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 779-785. YUAN J H, XU R K. Progress of the research on the properties of biochars and their influence on soil environmental functions[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2011, 20(4): 779-785.
- [9] 卢伟伟, 耿慧丽, 张伊蕊, 等. 生物质炭对杨树人工林土壤微生物群落的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(4): 143-150. LU W W, GENG H L, ZHANG Y R, et al. Effects of biochars pyrolyzed at different temperatures on soil microbial community in a poplar plantation in coastal eastern China[J]. *Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences Edition)*, 2020, 44(4): 143-150.
- [10] AMELOOT N, GRABER E R, VERHEIJEN F G A, et al. Interactions between biochar stability and soil organisms: Review and research needs[J]. *European Journal of Soil Science*, 2013, 64(4): 379-390.
- [11] 殷全玉, 刘健康, 刘国顺, 等. 连续4年施用生物炭对植烟褐土微生物群落结构的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(1): 176-185. YIN Q Y, LIU J H, LIU G S, et al. Effects of biochar application for four consecutive years on microbial community structure of tobacco cinnamon soil[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23(1): 176-185.

- [12] 阎海涛, 殷全玉, 丁松爽, 等. 生物炭对褐土理化特性及真菌群落结构的影响[J]. 环境科学, 2018, 39(5): 2412-2419. YAN H T, YIN Q Y, DING S S, et al. Effect of biochar amendment on physico-chemical properties and fungal community structures of cinnamon soil[J]. *Environmental Science*, 2018, 39(5): 2412-2419.
- [13] 商鸿生. 现代植物免疫学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013. SHANG H S. Modern plant immunology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [14] 易龙, 肖崇刚, 马冠华, 等. 拮抗放线菌TA21对烟草根黑腐病菌的抑制及其控病作用[J]. 中国生物防治, 2010, 26(2): 186-192. YI L, XIAO C G, MA G H, et al. Biocontrol effect and inhibition activity of antagonistic actinomycetes strain TA21 against *Thielaviopsis basicola*[J]. *Chinese Journal of Biological Control*, 2010, 26(2): 186-192.
- [15] 舒晓玲, 吴毅歆, 周惠萍, 等. 烟草疫霉生防细菌的筛选及鉴定[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(4): 60-64. SHU X L, WU Y X, ZHOU H P, et al. Screening and identification of a bacterium antagonistic to *Phytophthora parasitica* var. *nicotianae*[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2012, 33(4): 60-64.
- [16] 张震. 土传植物病害拮抗细菌根围生态学研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2004. ZHANG Z. Study on ecology of antagonistic bacteria to soil-borne plant pathogens in the rhizosphere of vegetables[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2004.
- [17] 吴文平. 河北省丝孢菌研究Ⅲ. 漆斑菌属(*Myrothecium Tode: Fr.*)的四个种[J]. 河北省科学院学报, 1991(1): 69-74. WU W P. Studies on hyphomycetes in Hebei Ⅲ. Species of the genus *Myrothecium Tode: Fr.* on plants[J]. *Journal of the Hebei Academy of Sciences*, 1991(1): 69-74.
- [18] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学出版社, 1999. LU R K. Analysis methods of soil agrochemistry[M]. Beijing: China Agricultural Science Press, 1999.
- [19] 邹健, 彭云, 王娜, 等. 生物炭用量对烤烟生长及产量、质量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(4): 652-658. ZOU J, PENG Y, WANG N, et al. Effect of biochar application amount on growth, yield and quality of flue-cured tobacco plants[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University(Natural Science)*, 2017, 32(4): 652-658.
- [20] 李佳轶, 刘文, 任天宝, 等. 植烟土壤物理特性及碳库对不同粒径生物炭的动态响应[J]. 中国土壤与肥料, 2019(2): 14-23. LI J Y, LIU W, REN T B, et al. Dynamic response of tobacco planting soil physical properties and carbon pool to different biochar particle sizes[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2019(2): 14-23.
- [21] 朱盼, 应介官, 彭抒昂, 等. 生物炭和石灰对红壤理化性质及烟草苗期生长影响的差异[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(6): 590-595. ZHU P, YING J G, PENG S A, et al. Effects of biochar and lime on soil physicochemical properties and tobacco seedling growth in red soil[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2015, 32(6): 590-595.
- [22] 刘卉, 周清明, 黎娟, 等. 生物炭对植烟土壤养分的影响[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(3): 150-155. LIU H, ZHOU Q M, LI J, et al. Effects of biochar on the nutrients of planting tobacco soil[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2016, 18(3): 150-155.
- [23] 郎印海, 王慧, 刘伟. 柚皮生物炭对土壤中磷吸附能力的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2015, 45(4): 78-84. LANG Y H, WANG H, LIU W. Effect of pomelo peel biochars on adsorption performance of phosphorus in soil[J]. *Periodical of Ocean University of China(Natural Science)*, 2015, 45(4): 78-84.
- [24] 王宁, 焦晓燕, 武爱莲, 等. 生物炭对土壤磷、钾养分影响研究进展[J]. 山西农业科学, 2016, 44(9): 1402-1405, 1420. WANG N, JIAO X Y, WU A L, et al. Research advances on effects of biochar application on soil phosphorus and potassium[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2016, 44(9): 1402-1405, 1420.
- [25] 尧芳, 任天宝, 徐敏, 等. 生物质炭改善土壤矿质营养吸收的研究进展及作用机制分析[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(10): 46-51. YAO F, REN T B, XU M, et al. Research progress and mechanism analysis of biochar improving soil mineral nutrient absorption[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(10): 46-51.
- [26] 张志浩. 生物炭基肥对三种类型植烟土壤微生物多样性及烤烟生长的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2019. ZHANG Z H. Effects of biochar based fertilizer on microbial diversity and growth of flue-cured tobacco in three types of tobacco planting soils[D]. Henan: Henan Agricultural University, 2019.
- [27] LEHMANN J, RILLIG M C, THIES J, et al. Biochar effects on soil biota: A review[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(9): 1812-1836.
- [28] VALINSKY L, DELLA V G, JIANG T, et al. Oligonucleotide fingerprinting of rRNA genes for analysis of fungal community composition[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68(12): 5999-6004.
- [29] XU L H, RAVNSKOV S, LARSEN J, et al. Soil fungal community structure along a soil health gradient in pea fields examined using deep amplicon sequencing[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 46: 26-32.
- [30] MARI M, CEMBALI T, CASALINI L, et al. Mucor species in orchard soil—population dynamics and pathogenicity on pear fruit[J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2000, 106(5): 449-454.
- [31] SILVIA R D, ENRIQUE Q M, VIDAL B, et al. Redefining the dose of the entomopathogenic fungus *Metarhizium brunneum* (Ascomycota, Hypocreales) to increase Fe bioavailability and promote plant growth in calcareous and sandy soils[J]. *Plant and Soil*, 2017, 418(1/2): 387-404.
- [32] 彭小武, 丁丽, 张琳, 等. 抗生素菌渣有机肥对玉米土壤真菌群落结构和功能类群的影响[J]. 中国资源综合利用, 2020, 38(10): 1-11. PENG X W, DING L, ZHANG L, et al. The effect of antibiotic residue organic fertilizer on the community structure and functional groups of corn soil fungi[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2020, 38(10): 1-11.
- [33] 熊丹, 欧静, 李林盼, 等. 黔中地区马尾松林下杜鹃根部内生真菌群落组成及其生态功能[J]. 生态学报, 2020, 40(4): 1228-1239. XIONG D, OU J, LI L P, et al. Community composition and ecological function analysis of endophytic fungi in the roots of *Rhododendron simsii* in *Pinus massoniana* forest in central Guizhou[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(4): 1228-1239.
- [34] 陈坤, 徐晓楠, 彭靖, 等. 生物炭及炭基肥对土壤微生物群落结构的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(10): 1920-1930. CHEN K, XU X N, PENG J, et al. Effects of biochar and biochar-based fertilizer on soil microbial community structure[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(10): 1920-1930.