

李世金, 林 硕, 马称心, 等. 生物质灰加生物菌剂对烟草根际土壤微生物群落的影响以及对青枯病的防治效果[ J ]. 江苏农业学报, 2024, 40( 12 ): 2237-2243.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.12.006

## 生物质灰加生物菌剂对烟草根际土壤微生物群落的影响以及对青枯病的防治效果

李世金, 林 硕, 马称心, 程廷明, 朱启法

(安徽皖南烟叶有限责任公司, 安徽 宣城 242000)

**摘要:** 为了探究生物质灰和不同生物菌剂配施对烟草根际土壤微生物群落的影响, 以及对烟草青枯病的防控作用, 本研究先采用高通量测序方法研究了生物质灰配施生物菌剂对土壤微生物群落多样性和微生物群落结构组成的影响。α 多样性指数分析结果发现, 生物质灰配施生物菌剂有利于提高烟草根际土壤微生物菌群丰度和菌群变化程度, 生物质灰配施荧光假单胞菌菌剂的土壤 Shannon 指数和 Simpson 指数最高, 配施光合细菌菌剂的烟草根际土壤 *Ace* 和 *Chao1* 值最高。通过主成分分析发现, 生物质灰配施不同生物菌剂对根际土壤微生物的影响是类似的。另外, 生物质灰配施生物菌剂可明显提高土壤中酸杆菌或放线菌相对丰度, 其中生物质灰配施荧光假单胞菌菌剂和光合细菌菌剂土壤放线菌相对丰度更高。利用土壤微生物分离法研究生物质灰配施生物菌剂对微生物群落数量的影响, 结果发现与 CK 相比生物质灰配施生物菌剂可以促进土壤微生物的生长繁殖, 显著提高微生物群落数量, 生物质灰配施光合细菌菌剂对微生物的生长繁殖促进作用最为显著。生物质灰配施生物菌剂后烟草青枯病病情指数明显低于 CK, 特别是生物质灰配施光合细菌菌剂的病情指数最低, 防治效果最好。

**关键词:** 生物质灰; 生物菌剂; 烟草; 根际微生物; 烟草青枯病

**中图分类号:** S435.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)12-2237-07

## Effects of combined application of biomass ash and bio-bacterial agents on the microbial community in tobacco rhizosphere soil and the control effect on bacterial wilt

LI Shijin, LIN Shuo, MA Chenxin, CHENG Tingming, ZHU Qifa

(Anhui Wannan Tobacco Co., Ltd., Xuancheng 242000, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of biomass ash and different bio-bacterial agents on the microbial community in tobacco rhizosphere soil and the prevention and control of tobacco bacterial wilt, this study first used high-throughput sequencing methods to explore the effects of biomass ash combined with bio-bacterial agents on soil microbial community diversity and microbial community structure. The results of α diversity index analysis showed that the application of biomass ash combined with bio-bacterial agents was beneficial to improve the abundance and change degree of microbial flora in tobacco rhizosphere soil. The Shannon index and Simpson index of soil treated with biomass ash combined with *Pseudomonas fluorescens* agent were the highest, and the *Ace* and *Chao1* values of tobacco rhizosphere soil treated with biomass ash combined with the photosynthetic bacteria a-

gent were the highest. Through principal component analysis, it was found that the effects of biomass ash combined with different bio-bacterial agents on rhizosphere soil microorganisms were similar. In addition, the relative abundance of *Acidobacteria* or *Actinomycetes* in soil could be significantly increased by the application of biomass ash combined with bio-

收稿日期: 2024-03-25

基金项目: 安徽皖南烟叶有限责任公司重点科技项目(20210563002)

作者简介: 李世金(1985-), 男, 安徽宣城人, 本科, 农艺师, 主要从事烟叶生产研究。(E-mail) 969156275@qq.com

通讯作者: 朱启法, (E-mail) zhuqifa2023@163.com

bacterial agents. The relative abundance of soil actinomycetes was higher under the treatments of biomass ash combined with *Pseudomonas fluorescens* agent and photosynthetic bacteria agent. The effect of biomass ash combined with bio-bacterial agents on the number of microbial communities was studied by soil microbial separation method. The results revealed that compared with CK, biomass ash combined with bio-bacterial agents could promote the growth and reproduction of soil microorganisms and significantly increase the number of microbial communities. The biomass ash combined with the photosynthetic bacteria agent had the most significant effect on the growth and reproduction of microorganisms. The disease index of tobacco bacterial wilt after biomass ash combined with bio-bacterial agents treatment was significantly lower than that of CK. In particular, the disease index of tobacco bacterial wilt treated with biomass ash combined with the photosynthetic bacteria agent was the lowest and the control effect was the best.

**Key words:** biomass ash; bio-bacterial agents; tobacco; rhizosphere microorganism; tobacco bacterial wilt

烟草种植区土壤连续多年施用大量化肥,易引起土壤质地变化,土壤酸化板结,有毒物质不断增加,严重影响优质烤烟的生产<sup>[1]</sup>。土壤酸化会降低烟草种植区土壤肥力,影响植株吸收养分,抑制土壤微生物活动和各种土壤酶的活性,还会引起多种土传性病害,如青枯病等<sup>[2]</sup>。研究结果表明,将氰氨化钙施入烟草种植区的土壤中,烟草青枯病和黑胫病的发病率有所下降<sup>[3]</sup>。生物炭施入烟草种植区土壤能够改善酸性土壤的物理化学特性,适当提高土壤 pH 值,促进烟株根系吸取更多的营养物质,还能够将青枯病病菌吸附在土壤颗粒上,阻碍病菌的移动,抑制病菌的繁殖,降低青枯病的发病率<sup>[4]</sup>。

生物菌剂含有大量的有益微生物,一些生物菌剂还能够提高土壤的养分供应能力和透气性,增强土壤修复能力<sup>[5]</sup>。人工发酵生产的生物菌剂能够增加土壤微生物种群多样性,这些有益微生物可与根际微生物协调共生,保持土壤生态群落稳定,平衡土壤微生物种群<sup>[6-7]</sup>。另外,生物菌剂能够分解土壤中的有害物质以及胞外分泌抗生素,能够抑制土壤中病原微生物的种群数量,提高农作物对病原菌的抗性,降低土传性病害的发病率<sup>[8-9]</sup>。随着种植烟草年数的增加,中国皖南烟区烟草青枯病逐年加重,成为制约该地区烟叶产量和品质的瓶颈<sup>[10]</sup>。研究发现,协同施用腐殖酸、菜籽饼和生物菌剂可以显著增加根际土壤微生物代谢活性,且对青枯病和黑胫病具有良好防治效果<sup>[11]</sup>。联合施用生物菌剂和黄腐酸能够大幅度增加烟草根际土壤细菌种群的多样性,提高对青枯病的防治效果<sup>[12]</sup>。将土壤调理剂施入烟草田能够改良土壤微生态环境,增加土壤中微生物种群多样性,减轻青枯病等烟草土传病害的发病率<sup>[13]</sup>。目前,常见单独使用生物质灰或生物菌剂防控烟草青枯病的研究,但二者配施防控烟草青枯

病尚未见报道。本研究将生物质灰和生物菌剂联合施用防治烟草青枯病,拟探明生物质灰与生物菌剂配施对烟草青枯病的防治效果,以及对烟草田土壤根际微生物种群的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验田

试验田地位于安徽省宣城市宣州区文昌镇福川村,土壤类型为沙壤土,前茬作物是水稻,地块形状规整,土壤肥力均一,排灌方便。

### 1.2 试验材料

供试烟草品种为云烟 97,由安徽皖南烟叶有限责任公司提供;生物质灰由阜阳国祯燃气有限公司提供,生物质灰理化性质: pH 值 11.16,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量 1.06%,  $\text{CaO}$  含量 11.54%,  $\text{MgO}$  含量 2.60%,  $\text{SiO}_2$  含量 4.00%,  $\text{K}_2\text{O}$  含量 2.49%,  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量 3.26%;菌剂 1 为绿康威微生物菌剂,购自中农绿康(北京)生物技术有限公司;菌剂 2 为荧光假单胞菌菌剂,由西南大学丁伟老师惠赠;菌剂 3 为光合细菌菌剂,购自长沙艾格里生物肥料技术开发有限公司;菌剂 4 为芽孢杆菌菌剂,购自浙江省桐庐汇丰生物科技有限公司。

### 1.3 试验设计

烟草移栽期为 2022 年 3 月中旬,起垄前常规施基肥,移栽前穴施生物质灰和生物菌剂。试验共设 7 个处理,每个处理 100 株烟草(表 1)。整地划分小区,将有机肥与氮磷钾比例为 6:10:19 的烟草复合肥混匀作为基肥,施肥量为  $1\ 875\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,肥料条施后起垄。移栽前将生物质灰和生物菌剂穴施于基窖内,生物质灰每穴 20 g,生物菌剂按推荐剂量穴施,菌剂 1 稀释 60 倍,每株灌 120 mL;菌剂 2 每穴 1 g;菌剂 3 稀释 60 倍,每株灌 120 mL;菌剂 4 稀释 300 倍,每株灌 120 mL。分别于烟草旺长期(2022 年 5 月 24 日)和

成熟期(2022 年 7 月 4 日)两次采集土壤样品。

表 1 试验处理方案

Table 1 Experimental treatment schemes

处理	方案
CK	不起垄不施肥不移栽烟苗
T1	常规施肥
T2	常规施肥+生物质灰
T3	常规施肥+生物质灰+生物菌剂 1
T4	常规施肥+生物质灰+生物菌剂 2
T5	常规施肥+生物质灰+生物菌剂 3
T6	常规施肥+生物质灰+生物菌剂 4

1.4 土壤 DNA 提取、宏基因组测序与分析

于烟草旺长期和成熟期分别从每个处理的 100 株烟草中随机选 3 株,采用“抖根法”抖落大块不含植株根系的土壤,用刷子刷去根系表面黏附的土壤<sup>[14]</sup>,收集后充分混匀,取 100 g 作为第一次根际土壤混合样品。4 次重复一共制备 4 个混合样本,再次充分混匀作为二次根际土壤混合样品。每个处理土壤样品称取 20 g 送至北京百迈客生物科技有限公司开展宏基因组测序。统计分析样本间微生物的丰度与  $\alpha$ 、 $\beta$  多样性,明确样本间种群结构的差异。

1.5 高通量测序数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 预处理原始数据,应用 Origin 18 软件作图,应用 SPSS 26.0 软件进行方差分析 ( $P<0.05$ ),通过百迈客云平台 (<https://www.biocloud.net/>) 分析生物质灰配施生物菌剂对烟草根际微生物群落结构和多样性的影响。

1.6 土壤微生物的分离与培养

将 10 g 根际土壤放入培养皿,加入 90 mL 无菌水,200 r/min 振摇 30 min,再将梯度稀释  $1\times10^{-1}\sim1\times10^{-6}$  的悬浮液分别涂布于琼脂平板上,恒温 28 ℃ 培养,分别于 24 h、72 h 和 7 d 后统计细菌、真菌和放线菌的活菌数量。

1.7 病情及防治效果调查与统计

1.7.1 病情调查 2022 年 6 月 25 日和 7 月 15 日分别调查一次青枯病防治效果。调查时记录各处理的病株数和每株的病情等级,计算和统计各处理的病情指数。

1.7.2 病情分级标准 旺长期和成熟期烟草青枯病的调查参照《烟草病虫害分级及调查方法》<sup>[15]</sup>。

1.7.3 防治效果计算方法 根据病情分级标准计

算烟草青枯病病情指数及各处理对青枯病的防治效果,具体公式为:病情指数 =  $\Sigma$  (各级病株数  $\times$  对应病级数) / (调查总株数  $\times$  最高病级数)  $\times 100$ ,防治效果 = (T1 处理病情指数 - 其他处理病情指数) / T1 处理病情指数  $\times 100\%$ <sup>[16]</sup>。

2 结果与分析

2.1 生物质灰配施生物菌剂对烟草根际土壤微生物群落多样性的影响

采用  $\alpha$  多样性指数比较分析微生物种群的多样性, *Ace* 和 *Chao1* 表示菌群丰度,数值越小表明丰度越低。由表 2 可以看出,在烟草旺长期和成熟期 T1~T6 处理 *Ace*、*Chao1* 值均显著高于 CK。T2 处理的 *Ace*、*Chao1* 值显著高于 T1 处理。旺长期 T4、T5 处理 *Ace* 值显著高于 T2 处理, T3、T4、T5 处理 *Chao1* 值显著高于 T2 处理;成熟期 T3~T6 处理 *Ace* 值均显著高于 T2 处理, T3、T4、T5 处理 *Chao1* 值显著高于 T2 处理。烟草旺长期和成熟期 T5 处理的 *Ace*、*Chao1* 值均最高,说明生物质灰配施生物菌剂 3 更有利于提高微生物的菌群丰富度和多样性。

物种的变化程度采用 Shannon 指数和 Simpson 指数表示,调查发现,烟草旺长期除了 T4 处理 Shannon 指数显著高于 CK 外,其余处理与 CK 差异均不显著;烟草成熟期 T1~T6 处理 Shannon 指数与 CK 差异均不显著。烟草旺长期 T1~T6 处理 Simpson 指数均显著高于 CK;成熟期 T1~T6 处理 Shannon 指数与 CK 差异均不显著。本试验将生物质灰分别配施了 4 种菌剂,其中 T4 处理土壤菌群变化程度高, T5 处理土壤菌群丰度高,说明在施用生物质灰的前提下,配施荧光假单胞菌菌剂和光合细菌菌剂有利于提高烟草根际土壤微生物的菌群丰度和菌群变化程度。

为了明确生物质灰配施生物菌剂对烟草根际微生物的影响,应用主成分分析法对各个试验处理与根际土壤微生物群落关系进行分析,结果(图 1)发现各处理前 2 个主成分方差累积贡献率为 93.81%,第一主成分和第二主成分(PC1 和 PC2)分别解释变量方差的 90.10% 和 3.71%。不同处理分布于不同位置,与 CK 相比,烟草旺长期和成熟期 T1~T6 处理的根际土壤细菌群落发生明显变化。旺长期 T1、T2 2 个处理和成熟期 T1、T2 2 个处理分布比较紧密,说明施肥或在施肥的同时配施生物质灰对根际土壤微生物种群有类似的影响。T3~T6 配施了不

同类型的生物菌剂,旺长期T3~T6 4 个处理和成熟期T3~T6 4 个处理分布相对集中,说明无论在旺长

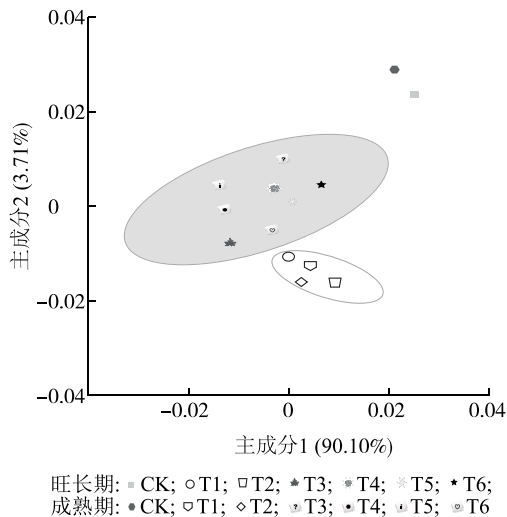
期还是成熟期,生物质灰与不同生物菌剂配施对烟草根际土壤微生物种群的影响差异不大。

表 2 不同处理烟草根际土壤细菌群落  $\alpha$  多样性指数分析

Table 2 Analysis of the  $\alpha$  diversity index of bacterial communities in tobacco rhizosphere soil under different treatments

取样日期	处理	Ace	Chao1	Shannon 指数	Simpson 指数
2022 年 5 月 24 日 (烟草旺长期)	CK	15 637.77e	15 590.22f	5.30b	0.94b
	T1	16 443.36d	16 378.40e	5.81ab	0.97a
	T2	16 708.17c	16 659.23d	5.84ab	0.97a
	T3	16 717.59c	16 857.18c	5.85ab	0.98a
	T4	16 941.63b	16 962.56b	6.24a	0.99a
	T5	17 351.63a	17 299.47a	5.94ab	0.98a
	T6	16 732.16c	16 666.07d	5.92ab	0.98a
2022 年 7 月 4 日 (烟草成熟期)	CK	13 990.77g	13 920.11f	5.47a	0.96ab
	T1	14 691.17f	14 652.95e	5.73a	0.97a
	T2	14 862.69e	14 896.39d	5.74a	0.97a
	T3	14 974.07d	15 665.65c	5.87a	0.98a
	T4	15 903.86b	15 856.57b	5.90a	0.98a
	T5	16 940.57a	16 883.43a	5.84a	0.98a
	T6	15 720.58c	14 913.60d	5.83a	0.98a

CK、T1~T6 见表 1。Ace:物种丰富度估计;Chao1:物种丰富度的理论估计值;Shannon 指数:香农多样性指数;Simpson 指数:辛普森多样性指数。同一取样日期同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。



CK、T1~T6 见表 1。

图 1 不同处理烟草根际土壤微生物群落的主成分分析

Fig.1 Principal component analysis of microbial communities in tobacco rhizosphere soil under different treatments

## 2.2 生物质灰配施生物菌剂对烟草根际土壤微生物群落结构组成的影响

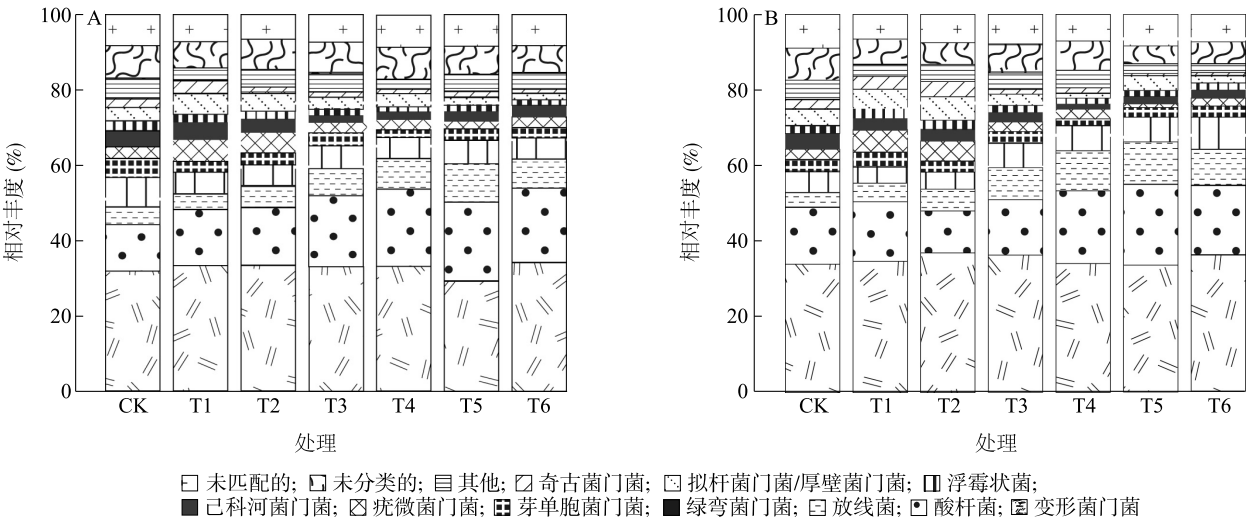
由图 2 可见,CK 处理的土壤中变形菌门菌最多,酸杆菌、绿弯菌门菌等占比相对较大。与对照 CK 相比,T1 处理土壤中酸杆菌相对丰度略有升高;T2 处理

土壤中酸杆菌和放线菌相对丰度略有升高。T3~T6 处理根际土壤中酸杆菌和放线菌相对丰度均明显升高,放线菌占比 7.2%~10.1% 和 8.3%~11.4%,酸杆菌占比 20.0%~21.5%。其中 T4、T5 处理放线菌相对丰度高,说明在施用生物质灰的前提下,配施光合细菌或荧光假单胞菌菌剂均能增加烟草根际土壤放线菌的丰度。

## 2.3 生物质灰配施生物菌剂对烟草根际土壤微生物种群数量的影响

如表 3 所示,烟草旺长期和成熟期 CK 的 3 种微生物丰度均显著低于 T1~T6 处理,总微生物量只有  $6.710 \times 10^5$  CFU/mL 和  $1.440 \times 10^6$  CFU/mL。T1 处理的总微生物量分别为  $1.441 \times 10^6$  CFU/mL 和  $2.512 \times 10^6$  CFU/mL, T2 处理的总微生物量分别为  $1.575 \times 10^6$  CFU/mL 和  $4.378 \times 10^6$  CFU/mL,说明生物质灰能够改善土壤条件,有利于土壤微生物的繁殖。T3~T6 处理总微生物量显著提高,特别是 T5 处理的总微生物量最高,分别达到  $3.977 \times 10^6$  CFU/mL 和  $1.295 \times 10^7$  CFU/mL,说明生物质灰配施生物菌剂对微生物的生长繁殖具有显著促进作用,其中生物质灰配施光合细菌菌剂处理后土壤总微生物量最高,说明在施用生物质灰的前提下,配施光合细菌菌剂对土壤微生物的生长繁殖促进作用最显著。





A:烟草旺长期;B:烟草成熟期。CK、T1~T6 见表 1。  
图 2 不同处理对烟草根际土壤微生物群落结构组成的影响

Fig.2 Effects of different treatments on microbial community structure in tobacco rhizosphere soil

表 3 不同处理烟草根际土壤微生物群落数量  
Table 3 The number of microbial communities in tobacco rhizosphere soil under different treatments

取样日期	处理	细菌丰度 ( $\times 10^5$ CFU/mL)	真菌丰度 ( $\times 10^3$ CFU/mL)	放线菌丰度 ( $\times 10^5$ CFU/mL)	总微生物丰度 ( $\times 10^5$ CFU/mL)
2022 年 5 月 24 日烟草旺长期	CK	4.33f	4.67b	2.33e	6.71e
	T1	8.00e	8.00a	6.33c	14.41d
	T2	11.33d	8.67a	4.33d	15.75d
	T3	16.33c	8.67a	7.67bc	24.09c
	T4	22.67a	10.00a	8.67b	31.44a
	T5	28.00a	10.00a	11.67a	39.77a
	T6	22.67b	9.00a	8.33b	31.09b
2022 年 7 月 4 日烟草成熟期	CK	9.33e	6.67e	5.00g	14.40g
	T1	15.67d	12.33c	9.33f	25.12f
	T2	25.00c	10.67d	18.67e	43.78e
	T3	31.67b	13.33bc	39.67d	71.47d
	T4	35.33b	17.67a	68.00b	103.51b
	T5	40.67a	18.33a	88.67a	129.52a
	T6	25.33c	14.33b	45.00c	70.47c

CK、T1~T6 见表 1。同一取样日同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。

2.4 生物质灰配施生物菌剂对烟草青枯病病情和防治效果的影响

由表 4 可知,2 次青枯病病情调查结果显示,T1 施肥处理病情指数最高,分别为 37.72 和 54.17。T2 处理的病指降低,分别为 28.46 和 44.10,防治效果分别为 24.55%和 18.59%,说明生物质灰可以改善土壤条件,对青枯雷尔氏杆菌具有一定的抑制作用。而相对于 T2 处理,T3~T6 处理病情指数均再

次下降,防治效果显著提高,2 次调查分别达到 44.14%~68.61%和 33.62%~57.23%。特别是 T5 处理病情指数最低,分别为 11.48 和 23.17,防治效果最高,分别为 68.61%和 57.23%。结果表明,单独使用生物质灰对青枯病的防治效果有限,而生物质灰与生物菌剂联合使用能显著提高防治效果。本试验施用了 4 种生物菌剂,结果发现 T5 处理对青枯病的防治效果最好,说明生物质灰配施光合细菌菌

剂的防治效果最为优异。

表 4 不同处理对烟草青枯病病情和防治效果的影响

Table 4 Effects of different treatments on the disease and control of tobacco bacterial wilt

处理	第 1 次(2022 年 6 月 25 日) 调查		第 2 次(2022 年 7 月 15 日) 调查	
	病情指数	防治效果(%)	病情指数	防治效果(%)
T1	37.72		54.17	
T2	28.46	24.55c	44.10	18.59c
T3	21.07	44.14b	34.96	33.62b
T4	15.83	58.03ab	26.86	50.42a
T5	11.48	68.61a	23.17	57.23a
T6	17.13	54.59ab	27.87	48.55a

T1~T6 见表 1。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

本研究使用的生物质灰是生物质电厂利用秸秆生物质燃烧发电产生的灰渣,生物质灰在改善土壤理化性质、增加烟草根际微生物种群以及提高玉米和大豆的产量等方面效果突出<sup>[17]</sup>。由于生物质灰含有硅、钾、钙、镁和少量生物质炭,具有一定的调节土壤 pH 值作用,能够改良土壤理化特性。已有研究表明,适量使用生物质灰能够促进作物生长,抑制土传病害的发生<sup>[18]</sup>。本试验详细分析了各处理的根际微生物区系,发现单独使用生物质灰对根际微生物的种群数量和群落结构影响较小,而生物质灰配施生物菌剂能够大幅度提高烟草根际土壤微生物群落多样性,显著促进微生物的生长繁殖。配施生物菌剂还有利于增加烟草根际土壤微生物种群数量,提高土壤中酸杆菌和放线菌相对丰度。研究发现,放线菌的分泌物表现出抗菌活性,酸杆菌的某些种类能编码多种纤维素酶并有效降解植物残体<sup>[19-20]</sup>,因此有理由推测配施生物菌剂的土壤中抗菌物质丰度更高。目前已有报道,在微生物多样性较好的土壤中青枯病大流行的可能性显著降低<sup>[21-22]</sup>。生物质灰类似于活性炭,具有很多细小的孔隙,能够吸附微生物,为微生物的生长繁殖提供空间,但生物质灰的有机营养元素含量较少,对微生物的种群数量影响有限。而配施生物菌剂可起到协同促进作用,生物质灰含有大量化学元素氮、磷、钾等,施到土壤中相当于增施一定量的无机复合肥,对植

物生长具有一定促进作用,反过来又可以刺激植物根系分泌更多的有机物质,利于土壤微生物生长繁殖。这表明生物质灰联合生物菌剂施用能够进一步改良土壤微生态环境,优化土壤微生物种群结构。

单独利用生物菌剂防治烟草青枯病等土传病害的研究较多,但往往效果不太理想,虽然施用了大量生物菌剂,但多数生防菌很难定殖存活,施用后土壤微生物菌群数量变化不显著<sup>[23]</sup>。本课题组于 2021 年试验过这 4 种菌剂单独使用防治烟草青枯病的效果,防治效果为 20%~30%,意味着生物菌剂单独施用无法取得理想防治效果。因此,本研究尝试使用生物质灰配施生物菌剂防治烟草青枯病,结果发现生物质灰分别配施 4 种生物菌剂后防治效果明显超过单施生物质灰。可能是生物质灰改变了土壤生态环境,为微生物提供更好的生存条件,生物菌剂存活力和定殖能力增强,因此防治效果显著提高。另外,生物质灰配施生物菌剂能够将青枯病的发病时间推后 10 d 以上,中部烟叶烘烤完毕前发病较轻,烟农可以多烘烤 1~2 炕烟叶。即使后期青枯病病情加重,对烟农的收入影响也已经降低到可以接受的程度,说明生物质灰配施生物菌剂能够提升烟农种植烟草的经济效益。

### 4 结论

本研究结果表明,烟草移栽时应用生物质灰配施生物菌剂,可以促进烟草种植区土壤微生物的生长繁殖,提高微生物群落数量和多样性,特别是生物质灰配施荧光假单胞菌菌剂或光合细菌菌剂对土壤微生物的生长繁殖促进作用更显著,土壤菌群丰度和变化程度高,可显著提高土壤中酸杆菌或放线菌相对丰度,而且生物质灰配施生物菌剂可以显著减轻烟草青枯病,特别是生物质灰配施光合细菌对烟草青枯病的防治效果好。

#### 参考文献:

- [1] 陈江华,李志宏,刘建利,等. 全国主要烟区土壤养分丰缺状况评价[J]. 中国烟草学报,2004,10(3):14-18.
- [2] 刘艳霞,张恒,姚云静,等. 不同绿肥防控烟草青枯病的机理[J]. 草业科学,2022,39(11):2326-2337.
- [3] 窦玉青,顾毓敏,徐天养,等. 氰化钙配施生物有机肥对烤烟生长发育、病害及质量的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(21):86-89.
- [4] 张广雨,胡志明,褚德朋,等. 生物炭对根际土壤微生态的调控

- 及对烟草青枯病的防控作用[J]. 中国烟草学报, 2020, 26(6): 81-88.
- [5] 赵涵予, 位小丫, 林煜, 等. 两种菌剂处理对连作三七根际土壤的修复效果分析[J]. 福建农业学报, 2018, 33(11): 1181-1189.
- [6] 石磊, 王军, 陈云, 等. 滴施生物菌剂对西红柿生长、品质及土壤理化性状的影响[J]. 西南农业学报, 2020, 33(3): 584-589.
- [7] 陈文, 刘晓, 孙光闻, 等. 生物有机肥和EM菌剂对菜园连作土壤微生物的影响[J]. 热带农业科学, 2017, 37(4): 57-62.
- [8] 徐玲, 王伟, 魏鸿刚, 等. 多黏类芽孢杆菌HY96-2对番茄青枯病的防治作用[J]. 中国生物防治, 2006, 22(3): 216-220.
- [9] 王勇, 周冬梅, 郭坚华. 蜡质芽孢杆菌AR156对辣椒的防病促生机理研究[J]. 植物病理学报, 2014, 44(2): 195-203.
- [10] 顾江涛, 许大风, 李英, 等. 安徽皖南烟区青枯病病原菌生化型研究[J]. 中国烟草科学, 2008, 29(3): 60-61.
- [11] 苟剑渝, 韩小斌, 彭玉龙, 等. 腐殖酸和菜籽饼肥与微生物菌剂协同作用对烟草青枯病和黑胫病的调控作用[J]. 植物医生, 2019, 2(1): 14-19.
- [12] 施河丽, 向必坤, 左梅, 等. 黄腐酸与微生物菌剂协同对烟草青枯病及根际土壤细菌群落的影响[J]. 烟草科技, 2021, 54(9): 1-10.
- [13] LI X L, YANG C Q, SHEN J P. Effect of soil conditioner on the microbial community in the rhizosphere soil of tobacco [J]. Agricultural Science & Technology, 2017, 18(5): 834-838.
- [14] 朱芸芸, 李敏, 曲博, 等. 芦苇根际土壤有机磷组分的季节变化及与磷酸酶活性的关系[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1108-1113.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 烟草病虫害分级及调查方法: GB/T 23222-2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [16] 曹帅, 李金梦, 王蓝琴, 等. 贝莱斯芽孢杆菌B4-7联合水稻秸秆生物炭对烟草青枯病的防治作用[J]. 南方农业学报, 2022, 53(9): 2568-2574.
- [17] 刘金灵, 张亚茹, 王宇光, 等. 生物炭对土壤微生物影响的研究进展[J]. 中国农学通报, 2023, 39(26): 60-66.
- [18] 王成己, 郭学清, 曾文龙, 等. 生物质炭对烟草青枯病的防控作用及应用前景分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(8): 1756-1763.
- [19] KIM M S, CHO W J, SONG M C, et al. Engineered biosynthesis of milbemycins in the avermectin high-producing strain *streptomyces avermitilis* [J]. Microbial Cell Factories, 2017, 16(1): 9.
- [20] PANKRATOV T A, IVANOVA A O, DEDYSH S N, et al. Bacterial populations and environmental factors controlling cellulose degradation in an acidic *Sphagnum* peat [J]. Environmental Microbiology, 2011, 13: 1800-1814.
- [21] TAO C, LI R, XIONG W, et al. Bio-organic fertilizers stimulate indigenous soil pseudomonas populations to enhance plant disease suppression [J]. Microbiome, 2020, 8(1): 1-14.
- [22] LI C, AHMED W, LI D, et al. Biochar suppresses bacterial wilt disease of flue-cured tobacco by improving soil health and functional diversity of rhizosphere microorganisms [J]. Applied Soil Ecology, 2022, 171: 104314.
- [23] PANKRATOV T A, IVANOVA A O, DEDYSH S N, et al. Bacterial populations and environmental factors controlling cellulose degradation in an acidic *Sphagnum* peat [J]. Environmental Microbiology, 2013, 13: 1800-1814.

(责任编辑: 黄克玲)