

不同腐熟剂处理后番茄秸秆和土壤配比对 番茄产量的影响

王丹丹, 田国英, 张庆银, 李 燕, 齐连芬, 牛瑞生, 师建华

(石家庄市农林科学研究院, 河北 石家庄 050041)

摘要: 为了研究不同腐熟剂发酵后, 番茄秸秆的微生物群落组成、理化性质及与土壤不同配比对下茬番茄生长及产量等的影响, 本研究进行了 5 个处理的 (3 种腐熟剂、1 个空白对照腐熟的番茄秸秆和 1 个土壤样品, 即 A、B、C、D、E) 高通量测序分析, 然后将 4 种腐熟的番茄秸秆与土壤按 1 : 0、2 : 1、1 : 1 3 种比例混匀作为基质 (即 A1、A2、A3、B1、B2、B3、C1、C2、C3、D1、D2、D3、E) 种植秋茬番茄。结果表明, 不同处理中细菌的 Chao1、Ace、Shannon 和 Simpson 指数均高于真菌中; 细菌中的优势菌目主要是芽孢杆菌目 (Bacillales)、 β 变形杆菌目 (Betaproteobacteriales)、根瘤菌目 (Rhizobiales)、黄单胞菌目 (Xanthomonadales)、微球菌目 (Micrococcales)、海洋螺菌目 (Oceanospirillales), 真菌中的优势菌目主要是粪壳菌目 (Sordariales)、伞菌目 (Agaricales)、球孢霉目 (Glomerellales)、散囊菌目 (Eurotiales)、肉座菌目 (Hypocreales); 微生物相似性分析中, 土壤样品中的细菌和真菌均单独为一个分支, C 和 D 的细菌和真菌均聚为一个分支。处理 B 的各元素含量均较高, 处理 E 均最低。秋茬番茄 13 个处理中, A2 的株高、茎粗、叶绿素含量及产量均较高, 田间表现最好, 因此 EM 菌剂发酵秸秆并与土壤 2 : 1 作为基质的条件下, 植株产量最高。

关键词: 番茄; 秸秆发酵; 微生物; 高通量测序; 理化性质

中图分类号: S641.2

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):

文献标志码: A



Effect of the ratio of tomato straw and soil on tomato yield after treatment with different ripening agents

WANG Dandan, TIAN Guoying, ZHANG Qingyin, LI Yan, QI Lianfen, NIU Ruisheng,
SHI Jianhua

(Shijiazhuang Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050041, China)

Abstract: In order to study the effects of the microbial community composition, physicochemical properties and different ratios of tomato straw with soil on the growth and yield of the next round of harvested tomatoes after fermentation with different composting agents, this study carried out high-throughput sequencing analysis of 5 treatments (3 composting agents, 1 blank control decomposed tomato stalks and 1 soil sample, namely A, B, C, D, E), and then the 4 types of decomposed tomato stalks and soil were mixed as the substrate according to the ratio of 1 : 0, 2 : 1, and 1 : 1 (ie A1, A2, A3, B1, B2, B3, C1, C2, C3, D1, D2, D3, E) to plant autumn tomatoes. The results

收稿日期: 2021-04-02

基金项目: 河北省重大科技成果转化专项项目 (19026517Z); 河北省农业科技成果转化资金专项 (20826902D); 石家庄市农林科学研究院设施蔬菜创新团队 (208790016A)。

第一作者: 王丹丹 (1991-), 女, 河北献县人, 硕士, 农艺师, 主要从事设施蔬菜栽培研究。E-mail: 634086885@qq.com

通信作者: 师建华 (1966-), 女, 河北井陉人, 学士, 研究员, 主要从事工厂化育苗和设施栽培研究。E-mail: 13785101151@163.com

本刊网址: <http://hauxb.hebau.edu.cn>

showed that Chao1, Ace, Shannon, and Simpson indexes of bacteria in different treatments were higher than those of fungi. The dominant bacteria were Bacillales, Betaproteobacteriales, Rhizobiales, Xanthomonadales, Micrococcales, and Oceanospirillales, and the dominant fungi were mainly Sordariales, Agaricales, Glomerellales, Eurotiales, and Hypocreales. In the analysis of microbial similarity, the bacteria and fungi in the soil sample were all in a single branch, and the bacteria and fungi of C and D were both gathered into a branch. The contents of each element in the treatment B were higher, and the lowest in the treatment E. Among the 13 treatments of autumn tomatoes, the plant height, stem diameter, chlorophyll content and yield of A2 were all higher, and the field performance was the best. Therefore, under the condition of EM fermentation straw and the ratio of 2 : 1 with soil, the plant got the highest yield.

Keywords: tomato; straw fermentation; microorganism; high-throughout sequencing; physical and chemical properties

番茄是世界范围内栽培面积最广的蔬菜作物之一,也是中国设施栽培的主要蔬菜之一^[1-3]。其果实既可作为水果鲜食,亦可作为蔬菜凉拌、炒食,且营养价值较高,受到越来越多消费者的青睐。据不完全统计,番茄秸秆年产生量约 3.4 亿 t,随意堆放或焚烧,不仅滋生病菌,污染环境,而且造成营养物质的大量浪费^[4]。生产中将秸秆还田,可减少堆放或焚烧造成的环境污染,实现秸秆的资源化利用,同时可提高土壤有机质及养分含量,进而改善土壤结构和土壤的肥力状况^[5-7]。土壤微生物是土壤中肉眼看不到的细小生物(包括细菌、真菌、放线菌、古细菌)的总称,能促进土壤有机质的分解和养分的转化^[8-9]。土壤微生物群落的组成和结构变化情况是评价土壤健康程度或土壤质量的重要指标^[10]。杨冬艳、张雪艳等^[11-12]研究指出番茄秸秆堆肥还田处理不仅可以促进番茄植株生长,提高番茄产量,改善果实品质,还显著提高土壤碳、氮含量、碳氮比、脲酶、蔗糖酶活性等。赵英男等^[13]研究表明番茄秸秆施用腐熟剂的处理比不施用腐熟剂的对照产量提高、品质改善。萨如拉等^[14]研究表明,秸秆还田配施腐熟剂处理可改变土壤中真菌群落结构的多样性、提高优势菌属相对丰度等。马慧媛等^[15]研究发现施用秸秆腐熟剂不仅显著增加土壤中细菌、真菌、放线菌的数量,还能增加土壤的微生物群落多样性等。前人关于秸秆发酵及秸秆还田后作物产量、品质,土壤碳氮含量、酶活性、微生物群落等方面都进行了详细的研究,但关于番茄秸秆腐熟后微生物活性、群落结构,及对下茬番茄生长、产量等的研究较少,因此本研究旨在探明不同秸秆腐熟剂发酵后的番茄秸秆微生物群落组成、理化性质,以及腐熟秸秆配施不同比例的土壤后对下茬番茄的植株、茎粗、叶绿素含量、产量等的影响,旨在为

番茄秸秆腐熟方法及用作栽培基质的腐熟番茄秸秆与土壤最佳配制比例,从而提高番茄产量、减少病虫害提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2020 年在石家庄市农林科学研究院赵县基地日光温室内进行,北纬 37°49'59",东经 114°49'26",年均温度 12.5℃。采用工厂化育苗,应用自动灌溉设施灌溉。上下风口均安装 60 目防虫网。

1.2 供试番茄品种

供试番茄品种为‘京番 309’,由北京市农林科学院蔬菜研究中心培育。

1.3 供试秸秆腐熟剂

本试验供试秸秆腐熟剂有 3 种,其中 EM 菌剂(处理 A)购自临汾市尧都区汾河氨基酸厂,为复合益生菌,有效活菌数 ≥ 20 亿/g;降解型液体秸秆腐熟剂(处理 B)购自山东省肥沃农资有限公司,主要成分为芽孢杆菌属、放线菌属,有效活菌数 ≥ 20 亿/g;固体发酵剂(处理 D)购自洛阳希望生物科技有限公司主要成分为酿酒酵母、嗜酸乳杆菌,有效活菌数 ≥ 30 亿/g。

1.4 秸秆腐熟处理

2020 年 7 月 14 日将春茬番茄秸秆拉秧并切成 2~5 cm 小段,平均分成 4 份。试验共设 5 个处理,3 种微生物发酵菌剂(处理 A 为 EM 菌剂、处理 B 为降解型液体秸秆腐熟剂、处理 D 为袋装固体腐熟剂)、1 个对照(处理 C,无发酵菌剂)和 1 个土壤对照(处理 E,高温焖棚后的温室土壤),每个处理 3 次重复。在温室内地面铺设塑料薄膜,将切好的番茄秸秆放置在薄膜上,按使用说明的要求撒

上不同的秸秆腐熟剂，每处理中施加 1 kg 尿素和 0.8 kg 红糖。覆盖薄膜，密封发酵，在其中各放置 1 个温度计，测定其内温度，使其达到 60 ℃以上，发酵 15 d，然后翻垛 1 次，再密封发酵 15 d。

1.5 腐熟秸秆测定及应用

测定各个发酵好的腐熟秸秆及土壤样品中的微生物多样性指标及元素含量。栽培基质设置 4 个处理：（1）腐熟秸秆；（2）腐熟秸秆：土壤=2：1；（3）腐熟秸秆：土壤=1：1；（4）土壤。

2020 年 8 月 31 定植番茄，每个处理 50 株，3 次重复，统一常规管理。测定各处理植株田间长势、产量等。每株施用氮磷钾复合肥底肥 20 g，生长期间均不再追肥。

表 1 田间试验设计
Table 1 Field experiment design

腐熟秸秆：土壤 Decomposed straw:soil	处理名称 Treatment ID				
	A	B	C	D	E
1：0	A1	B1	C1	D1	
2：1	A2	B2	C2	D2	
1：1	A3	B3	C3	D3	

1.6 测定指标

腐熟秸秆中微生物多样性^[16]、养分指标^[17-18]，秋茬番茄株高、茎粗、叶绿素含量、产量。

1.7 数据处理

采用 Excel、SPSS 等软件对数据进行方差分析及显著性检验。

2 结果与分析

2.1 测序结果分析

采集的 4 个秸秆样品和 1 个土壤样品上机测序的数据经过过滤、高质量拼接、去除嵌合体

等操作后，细菌共得到高质量序列 397 995 条，平均每个样品有 79 599 条高质量序列（表 2），通过 Usearch 软件按照 97% 相似度对所有高质量序列进行聚类，共得到 1 546 种 OTU，平均每个样品中有 776 个 OTU。同理，真菌共得到高质量序列 396 826 条，平均每个样品有 79 365 条高质量序列，通过 Usearch 软件按照 97% 相似度对所有高质量序列进行聚类，共得到 436 种 OTU，平均每个样品中有 148 个 OTU。

表 2 各样品最终序列数与 OTU 数统计
Table 2 Statistical table of final sequence number and OTU number of each treatment

处理名称 Treatment ID	高质量序列数 Clean reads		分类单位数 OTUs	
	细菌	真菌	细菌	真菌
A	79 422	78 988	598	148
B	79 655	80 043	727	84
C	79 886	79 754	749	80
D	79 326	79 664	717	63
E	79 706	78 377	1 092	365

2.2 样品测序深度验证

稀释性曲线 (Rarefaction Curve) 从样本中随机抽取一定数量的序列，统计这些序列所代表的物种数目，并以序列数与物种数来构建曲线，用于验证测序数据量是否足以反映样品中的物种多样性，并间接反映样品中物种的丰富程度^[19]。如图 1 所示，反映了持续抽样下新特征（新物种）出现的速率：在一定范围内，随着测序条数的加大，若曲线表现为急剧上升则表示群落中有大量物种被发现；当曲线趋于平缓，则表示此环境中的物种并不会随测序数量的增加而显著增多。

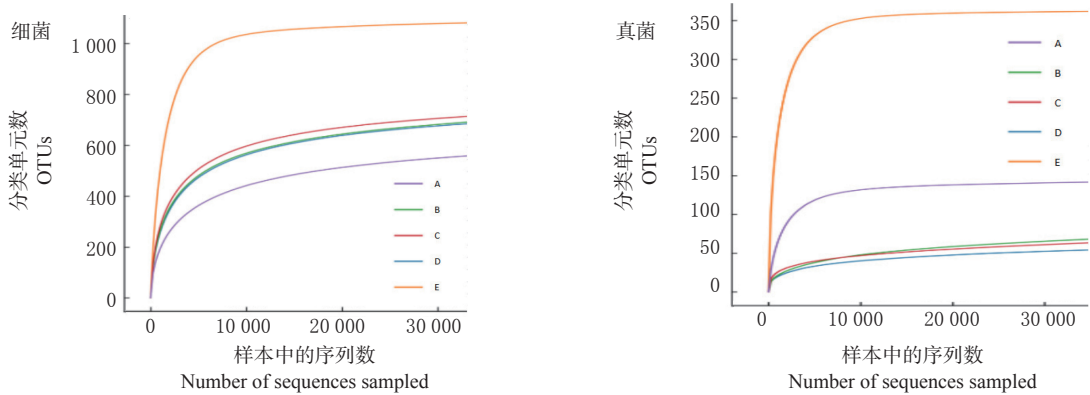


图 1 样品稀释曲线
Fig.1 Rarefaction curves of samples

同样, 香农指数曲线 (Shannon Index) 利用 Mothur 软件和 R 语言工具依据各样品的测序量在不同测序深度时的 Shannon 指数 (反映样品中微生物多样性的指数) 绘制 Shannon 多样性指数稀释曲线, 以此反映各样本在不同测序数量时的微生物多样性。Shannon index 越大则物种种类越多, 物种越丰富, 表明样品中已涵盖绝大多数的微生物物种信息。当

曲线趋向平坦时, 说明测序数据量足够大, 特征种类不会在随测序量增加而增长; 如果曲线没有趋于平坦, 则表明不饱和, 增加数据量可以发现更多特征。

通过稀释曲线和香农指数曲线可以看出本次测序各个处理的深度均足够, 当前测序结果可以反映出该样品中的土壤微生物的真实情况。

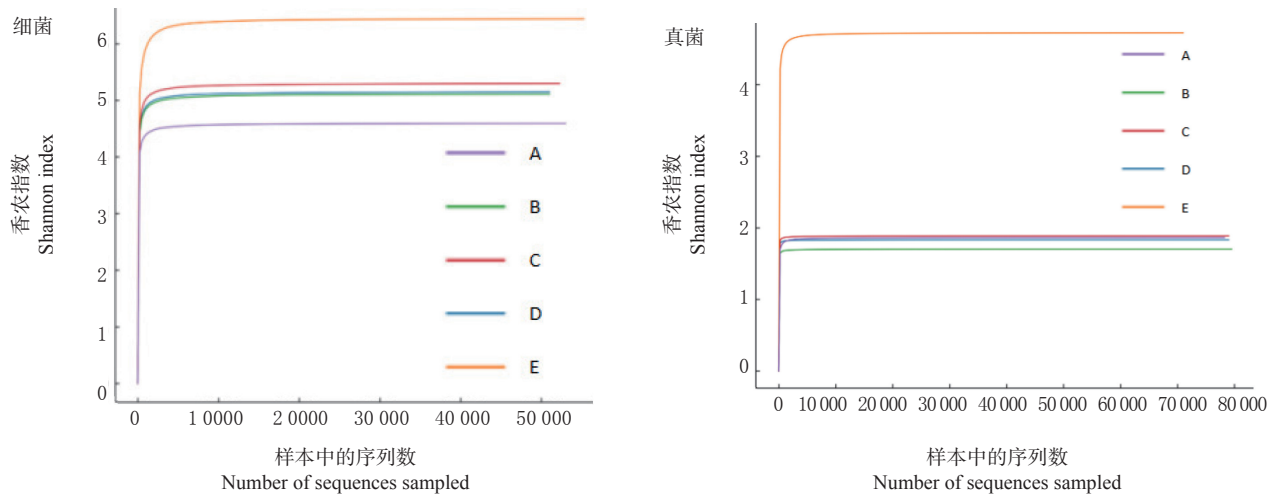


图 2 香农指数曲线
Fig.2 Shannon curves of samples

2.3 不同处理微生物多样性指数

物种多样性指数是表征物种丰富度和均匀度的函数, Chao1 和 Ace 指数衡量物种丰度即物种数量的多少。Shannon 和 Simpson 指数用于衡量物种多样性, 受样品群落中物种丰度和物种均匀度 (Community evenness) 的影响。相同物种丰度的情况下, 群落中各物种具有越大的均匀度, 则认为

群落具有越大的多样性, Shannon 指数和 Simpson 指数值越大, 说明样品的物种多样性越高^[20]。

由下表可以看到, 不同处理中细菌的 Chao1、Ace、Shannon 和 Simpson 指数均小于真菌的各项指数值, 因此, 细菌的多样性高于真菌的多样性。处理 E 的细菌和真菌多样性均高于其他各处理。

表 3 不同处理微生物多样性指数

Table 3 Indexes of microbial diversity in different treatments

样品名称 Sample ID	Chao1 指数 Chao1 index		ACE 指数 ACE index		香农指数 Shannon index		辛普森指数 Simpson index	
	细菌	真菌	细菌	真菌	细菌	真菌	细菌	真菌
A	689.74±27.94c	162.67±27.30b	651.45±28.57c	167.84±14.37b	6.63±0.41c	2.69±0.20b	0.98	0.71±0.03b
B	785.88±42.34b	101.27±9.78c	775.92±28.69b	119.41±11.62c	7.37±0.42b	2.46±0.33b	0.98	0.76±0.03b
C	813.31±37.40b	134.17±12.20b	790.25±29.61b	180.76±11.24b	7.64±0.28b	2.72±0.16b	0.99	0.78±0.06b
D	751.17±32.04bc	67.18±4.72d	750.88±39.47b	69.35±5.43d	7.42±0.34b	2.64±0.27b	0.99	0.78±0.05b
E	1 098.48±37.28a	379.27±16.41a	1 100.33±37.49a	368.81±19.72a	9.29±0.23a	6.81±0.34a	0.99	0.98±0.01a

2.4 不同处理间微生物种群分布

采用 QIIME 软件生成不同分类水平上的物种丰度表, 再利用 R 语言工具绘制成样品各分类学水平下的群落结构图。从结果可以看出不同处理中的微生物无论在种、属水平, 还是在科、目水平上菌群

均基本相同, 但是含量存在明显差异。

2.4.1 细菌种群分布 图 3 为不同处理中细菌在目水平上的菌群分布情况, 各处理的优势细菌目均为芽孢杆菌目 (Bacillales)、β 变形杆菌目 (Betaproteobacteriales)、根瘤菌目 (Rhizobiales)、

黄单胞菌目(Xanthomonadales)、微球菌目(Micrococcales)、海洋螺菌目(Oceanospirillales),处理A中海洋螺菌目(Oceanospirillales)的含量最高,为12.7%,B、C、D处理中芽孢杆菌目(Bacillales)的含量最高,分别为17.07%、14.69%、16.96%,处理E中 β 变形杆菌目(Betaproteobacteriales)的含量最高,为7.51%。从排名前6位的优势细菌菌群所占的百分比来看,5个处理优势细菌菌群所占百分比分别为46.93%、45.73%、38.43%、46.61%和23.87%,说明发酵秸秆比土壤中含有的优势细菌菌群数量多,且秸秆腐熟剂发酵的秸秆比对照(C)的优势细菌菌群含量高。

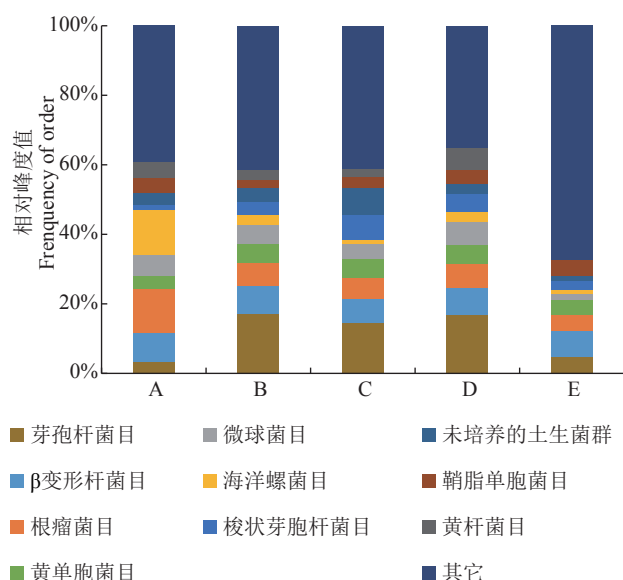


图3 不同处理中细菌在目水平上的菌群分布图

Fig.3 Distribution bar plot of bacteria according to the order under different treatments

2.4.2 真菌种群分布 图4为不同处理中真菌在目水平上的菌群分布情况,各处理的优势真菌目均为粪壳菌目(Sordariales)、伞菌目(Agaricales)、球孢霉目(Glomerellales)、散囊菌目(Eurotiales)、肉座菌目(Hypocreales),处理A中伞菌目(Agaricales)的含量最高45.55%,B中散囊菌目(Eurotiales)的含量最高55.49%,C中粪壳菌目(Sordariales)含量最高54.11%,D中球孢霉目(Glomerellales)含量最高38.62%,E中肉座菌目(Hypocreales)的含量最高21.19%。从排名前5位的优势真菌菌群所占的百分比来看,5个处理优势真菌菌群所占百分比分别为75.91%、97.99%、93.91%、98.64%和49.38%,说明发酵秸秆比土壤

中含有的优势真菌菌群数量多。

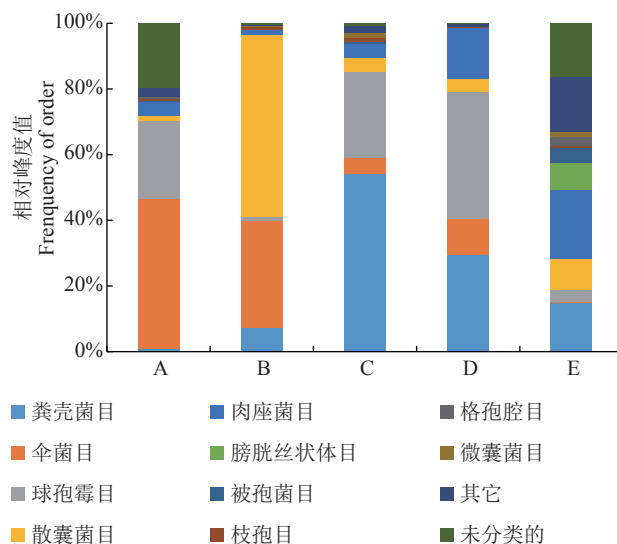


图4 不同处理中真菌在目水平上的菌群分布图

Fig.4 Distribution bar plot of fungus according to the order under different treatments

番茄易发病害为叶霉病、灰霉病、茎基腐病、早疫病、晚疫病、叶斑病、根腐病、髓坏死病等,经查阅相关资料,未发现此检测结果中含有与这些病害相关的致病细菌和真菌。

2.5 不同处理间微生物菌群相似性分析

对不同秸秆腐熟剂处理的秸秆微生物Beta多样性进行UPGMA分析,细菌和真菌的相似性分析如图5、6所示。

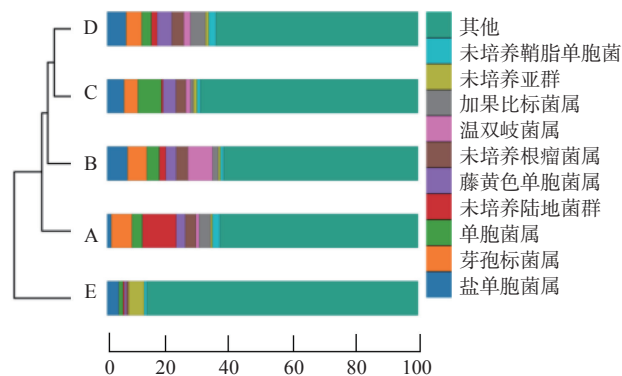


图5 不同处理细菌种群相似性分析

Fig.5 The taxonomic composition of bacteria under different treatments

2.5.1 细菌相似性分析 由图5可以看出,D和C聚类于一个分支,之后是B、A、E独立处于一个分支,说明袋装的秸秆腐熟剂发酵效果与无微生物发酵菌剂的细菌群落相似,土壤中的细菌群落与其他处理差别较大,因此秸秆腐熟剂发酵秸秆后与土壤中的

细菌群落差别较大。

2.5.2 真菌相似性分析

由图 6 可以看出 D 和 C 先聚类于一个分支，之后 A 和 B 聚为一个分支，E 独立处于一个分支。因

此袋装秸秆腐熟剂与无秸秆腐熟剂处理的秸秆中的真菌群落相似，EM 菌剂与水剂秸秆腐熟剂处理的秸秆中的真菌群落相似，而土壤中的真菌群落单独成为一个体系。

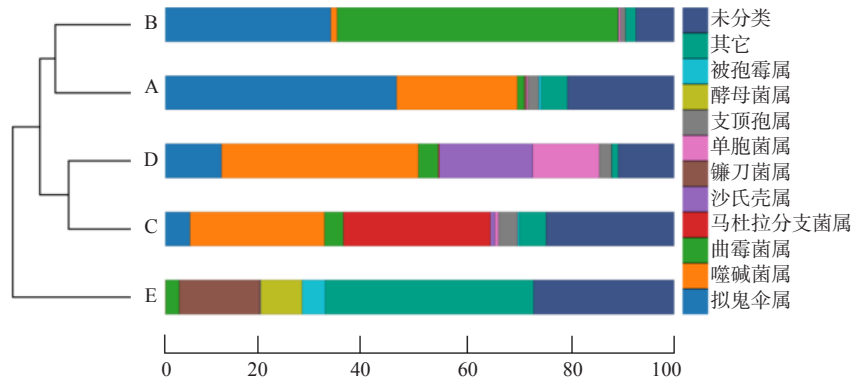


图 6 不同处理真菌种群相似性分析

Fig.6 The taxonomic composition of fungus under different treatments

2.6 不同秸秆腐熟剂处理后秸秆的理化性质

由表 4 所示，处理 D 的全钾含量最高，为 22.20 g/kg，显著高于其他各处理，处理 A 的全钾含量最低，为 10.60 g/kg，显著低于其他各处理；处理 B 的全氮、全磷、pH 值均最高，分别为 28.9 g/kg、1.84 g/kg、8.28，均显著高于其他各处理，处理 E 的全氮、全磷、pH 值均最低，分别为 1.82 g/kg、0.26 g/kg、7.70，均显著低于其他各处理；处理 A 的钙含量最高，为

61.87 g/kg，显著高于其他各处理，处理 E 的钙含量最低，为 20.40 g/kg，显著低于其他各处理；处理 E 的镁含量最高，为 55.73 g/kg，显著高于其他各处理，处理 B 的镁含量最低，为 14.00 g/kg，显著低于其他各处理；电导率最大的是处理 C，9.83 mS/m，显著高于其他各处理，处理 E 的电导率最低，为 4.05 mS/m，显著低于其他各处理。处理 E 除镁含量最高外，其他指标几乎均最低。

表 4 不同秸秆腐熟剂发酵后各处理的理化性质

Table 4 Physical and chemical properties of each treatment after fermentation of different straw decomposing agents

不同处理 Different treatments	全氮/(g·kg ⁻¹) Total nitrogen	全磷/(g·kg ⁻¹) Total phosphorous	全钾/(g·kg ⁻¹) Total potassium	Ca/(g·kg ⁻¹) Calcium	Mg/(g·kg ⁻¹) Magnesium	电导率/(mS·m ⁻¹) EC	pH
A	25.73 ± 0.21 b	1.64 ± 0.08 b	10.60 ± 0.01 e	61.87 ± 0.12 a	15.50 ± 0.01 d	7.33 ± 0.06 d	7.84 ± 0.09 c
B	28.90 ± 0.26 a	1.84 ± 0.10 a	14.23 ± 0.06 d	50.33 ± 0.12 d	14.00 ± 0.01 e	8.38 ± 0.10 c	8.28 ± 0.06 a
C	13.50 ± 0.10 c	1.02 ± 0.03 d	18.30 ± 0.01 b	58.40 ± 0.01 b	16.70 ± 0.01 c	9.83 ± 0.06 a	8.06 ± 0.07 b
D	13.17 ± 0.45 c	1.36 ± 0.02 c	22.20 ± 0.01 a	55.13 ± 0.06 c	18.03 ± 0.06 b	9.55 ± 0.09 b	7.94 ± 0.05 bc
E	1.82 ± 0.03 d	0.26 ± 0.01 e	15.20 ± 0.02 c	20.40 ± 0.01 e	55.73 ± 0.06 a	4.05 ± 0.07 e	7.70 ± 0.07 d

2.7 不同试验处理番茄生理指标情况

定植后 52 和 89 d 分别测定了番茄植株的株高、茎粗和叶绿素含量，方差分析结果如表 3。定植后 52 d 处理 A2 的植株株高最高，为 54.67 cm，显著高于处理 A1、B1、C1、D1，处理 B1 的株高最低，显著低于其他各处理；处理 A2、D3 的植株茎粗最粗，分别为 6.88、6.19 mm，显著高于处理 B1、C1、D1，处理 B1 的茎粗最细，为 3.11 mm，显著低于

其他各处理，说明处理 A2 的基质最适宜植株生长，由于处理 A1、B1、C1、D1 的基质全部为腐熟秸秆，未添加土壤，因此分析全部为腐熟秸秆处理不利于植株生长；叶绿素含量最高的为处理 D1，55.47 mg/g，显著高于处理 B1、B3、C3、D2，处理 B1、B3 的叶绿素含量最低，分别为 50.23、48.23 mg/g。定植后 89 d 处理 C3 的株高最高，为 186.33 cm，显著高于其他各处理，处理 C1 的株高最低，为 144.67 cm；

处理 B2 的茎粗最粗，为 16.62 mm，显著高于处理 E、A2、A3、C2、C3、D1、D3，处理 E 的茎粗最细，为 12.05 mm，除处理 C3、D3 外，显著低于其他各处理；叶绿素含量除 D2 最低外，38.17 mg/g，其他各处理间无显著差异。由定植后不同天数的叶绿素含量可知，定植后 52 d 的植株较定植后 89 d 的植株健壮，且定植后 89 d 不同处理的生长状况基本无差异。将每处理的 50 株番茄测产并进行方差分析，结果显示处理 A2 的产量最高，为 110.75 kg，显著高于处理 A1、B1、B2，与其他处理间无差异，处理 B2 的产量最低，为 77.91 kg。

表 5 不同处理生理生长指标
Table 5 Physiological growth indicators of different treatments

不同处理 Different treatment	定植后 52 d 52 days after planting			定植后 89 d 89 days after planting			产量/kg Yield
	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	叶绿素含量/ (mg·g ⁻¹) Chlorophyll content	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	叶绿素含量/ (mg·g ⁻¹) Chlorophyll content	
E	53.00±7.00 ab	5.00±0.94 abc	52.70±2.91 abc	148.67±3.79 de	12.05±0.14 f	43.13±5.85 ab	93.17±14.70 abc
A1	46.00±5.29 bcd	4.27±0.44 abc	52.50±2.27 abc	160.33±3.79 bc	15.68±0.62 abc	48.50±5.46 a	83.08±9.32 bc
A2	54.67±7.57 a	6.88±1.93 a	51.83±2.29 abc	160.67±4.04 bc	13.83±1.29 de	48.33±1.78 a	110.75±9.86 a
A3	48.33±2.52 abcd	5.91±3.44 ab	52.23±2.60 abc	161.33±1.15 bc	13.77±0.75 de	47.00±3.22 a	89.91±10.90 abc
B1	30.33±3.06 e	3.11±0.31 c	50.23±0.71 c	155.67±8.74 cd	15.80±0.66 ab	46.63±1.96 a	82.38±7.58 bc
B2	48.67±1.53 abcd	4.31±0.57 abc	51.67±2.06 abc	166.67±4.62 b	16.62±0.71 a	43.87±3.01 ab	77.91±8.62 c
B3	48.67±4.73 abcd	4.87±1.20 abc	48.23±3.70 c	154.33±1.53 cd	16.36±0.52 ab	44.70±2.71 a	101.92±16.79 abc
C1	41.00±3.61 d	3.55±0.67 bc	51.87±4.61 abc	144.67±5.13 e	16.14±0.50 ab	47.03±1.45 a	88.51±8.36 abc
C2	48.67±1.53 abcd	4.43±0.62 abc	51.80±2.14 abc	163.67±5.13 bc	14.82±1.04 bcd	44.60±2.65 a	92.74±18.71 abc
C3	51.00±1.00 abc	6.10±0.99 ab	50.60±0.53 bc	186.33±4.93 a	12.24±1.86 ef	45.10±3.05 a	91.09±2.997 abc
D1	43.00±1.00 cd	3.47±0.82 bc	55.47±1.70 a	168.67±8.14 b	14.11±0.95 cd	46.00±5.25 a	92.12±9.92 abc
D2	51.67±6.51 ab	5.72±0.23 abc	50.67±2.21 bc	154.00±7.00 cd	15.48±0.74 abc	38.17±2.14 b	106.77±21.49 ab
D3	50.67±3.06 abc	6.19±1.60 a	55.37±0.67 ab	160.33±3.79 bc	13.26±0.72 def	46.57±3.36 a	89.87±20.00 abc

3 讨论与结论

本研究进行了秸秆腐熟剂发酵番茄秸秆后对其真菌和细菌的稀释性曲线、香农指数曲线、Chao1、Ace、Shannon 和 Simpson 指数变化的影响，养分含量情况，及作为基质对下茬番茄生长和产量的影响情况，经细菌和真菌种类分析，发酵后的秸秆中和经高温焖棚后的土壤中均不含番茄易发病害的治病菌，因此可作为安全基质种植下茬番茄。

3.1 不同种秸秆腐熟剂对微生物群落的影响

分析细菌和真菌的稀释性曲线和香农指数曲线图断定本次测序各个处理的深度均足够，且高通量测序结果可以反映出样品中微生物的真实情况。本研究中各个处理中的细菌多样性高于真菌多样性，土壤微生物多样性高于发酵秸秆中的微生物多样性，

这与前人的研究结果相似^[21-25]，但也有研究认为秸秆还田技术可提高土壤微生物多样性^[14,26-28]，这可能与土壤类型、种植年限、秸秆还田时间等有关，如萨如拉等^[14]研究表明砂壤土秸秆还田、中壤土秸秆还田配施不同腐熟剂土壤真菌多样性差异显著，郭梨锦等^[26]和周阳等^[27]的研究对象为秸秆还田 2 和 1 a，此时期下秸秆对土壤微生物群落的促生作用可能较明显，而当秸秆还田时间超过 3 a 时^[21-23]，对于微生物多样性的影响则不显著，本研究中的秸秆是腐熟好未施入土壤时的微生物多样性分析，其细菌和真菌群落多样性低于土壤中可能是由于还未对土壤微生物群落产生促生作用。

各处理的优势细菌目均为芽孢杆菌目（Bacillales）、β 变形杆菌目（Betaproteobacteriales）、根瘤菌目（Rhizobiales）、黄单胞菌目（Xanthomo-

nadales)、微球菌目(Micrococcales)、海洋螺菌目(Oceanospirillales), 秸秆腐熟剂处理后基质中的芽孢杆菌目(Bacillales)含量较土壤中的含量高, 土壤中 β 变形杆菌目(Betaproteobacteriales)的含量最高, 芽孢杆菌具有较强的根际定殖能力^[15], 由于芽孢杆菌在根际的定殖占领根区空间, 因此能够改变土壤中微生物多样性, 从而起到防治作物土传病害、诱导产生系统抗性、促进生长等作用^[29]。优势真菌目均为粪壳菌目(Sordariales)、伞菌目(Agaricales)、球孢霉目(Glomerellales)、散囊菌目(Eurotiales)、肉座菌目(Hypocreales), 秸秆腐熟剂处理后基质中的伞菌目(Agaricales)、散囊菌目(Eurotiales)、粪壳菌目(Sordariales)、球孢霉目(Glomerellales)含量均高于土壤中, 土壤中肉座菌目(Hypocreales)的含量最高。

细菌群落相似性分析中固体腐熟剂处理和对照的样品聚类于一个分支, 之后是降解型液体秸秆腐熟剂、EM 菌剂处理的样品, 土壤样品独立处于一个分支, 说明固体秸秆腐熟剂发酵番茄秸秆与对照秸秆的细菌群落相似, 而土壤中的细菌群落与其他处理差别较大, 因此秸秆腐熟剂发酵秸秆后与土壤中的细菌群落差别较大。真菌相似性分析中固体腐熟剂处理和对照的样品聚类于一个分支, 之后降解型液体秸秆腐熟剂和 EM 菌剂处理的样品聚类于一个分支, 土壤样品独立处于一个分支。说明秸秆腐熟处理的样品与土壤样品中的细菌和真菌群落不一样, 而土壤组分不同养分含量不同, 因此土壤中分解者群落组成不同, 且土壤中资源可利用性会发生变化^[30,31]。

3.2 不同种秸秆腐熟剂处理后对基质理化性质的影响

本研究中秸秆腐熟后样品中的全氮、全磷、全钙含量均高于土壤中的含量, 这与杨冬艳等^[11]、赵英男等^[13]的研究结果基本一致, 而元素含量高所需的肥料减少, 因此秸秆还田可减少肥料的使用, 节约成本。高云超等^[32]研究表明土壤中营养元素的组成及含量, 对微生物多样性、种群分布及生命活动都有较大影响。因此秸秆还田是养分在土壤—作物—土壤中循环利用的有效途径^[33]。

3.3 不同种秸秆腐熟剂处理后对下茬番茄生长和产量的影响

将不同种秸秆腐熟剂处理后的秸秆作为基质种

植下茬番茄, 本试验共设置了 13 个不同处理, 纯秸秆和纯土壤栽培的番茄植株生长和产量均不是最好的, 而 2/3 秸秆和 1/3 土壤处理的番茄植株株高、茎粗、叶绿素和产量却是最佳的, 这与乔俊卿等^[34]研究的单独使用秸秆还田技术显著提高番茄株高、茎粗及产量的结果不一致, 这可能是由于本试验采用袋培方式, 植株的根系保水性较差, 而乔俊卿等采用的是玉米秸秆还田到土壤中栽培的番茄植株, 但秸秆还田与土壤按 2 : 1 配比可促进植株生长, 提高作物产量, 这与刘超等^[35]、于舜章等^[36]、张玲等^[37]的研究结果一致。今后还需进一步研究番茄秸秆腐熟后还田到土壤条件下种植番茄, 调查其长势。

参考文献:

- [1] 王丹丹. 基于实时生长量的日光温室袋培番茄灌溉模型研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [2] 张光星. 番茄无公害生产技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003:55-65.
- [3] 王丹丹, 齐连芬, 张庆银, 等. 日光温室不同施肥量对番茄果实品质的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2019, 42 (3):71-75+87.
- [4] 耿凤展, 李荣华, 高波, 等. 番茄秸秆高温堆肥作为番茄育苗基质的循环利用研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2016, (1):102-106.
- [5] 钟杭, 朱海平, 黄锦法. 稻麦秸秆全量还田对作物产量和土壤的影响 [J]. 浙江农业学报, 2002, 14(6): 344-347.
- [6] 唐薇, 张传云, 辛承松. 秸秆腐熟前后氮磷钾养分状况变化的研究 [J]. 河南农业科学, 2000(9): 24-25.
- [7] Riffaldi R, Levi-minzi R, Saviozzi A, et al. Adsorption on soil of dissolved organic carbon from farmyard manure [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1998, 69(2): 113-119.
- [8] 林先贵, 胡君利. 土壤微生物多样性的科学内涵及其生态服务功能 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 892-900.
- [9] 张凡. 日光温室黄瓜连作土壤和基质微生物多样性与有机质组分关系研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017.
- [10] Dilly O, Munch J C. Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils [J]. Biology and Fertility of Soils, 1998, 27(4): 374-379.
- [11] 杨冬艳, 冯海萍, 桑婷, 等. 番茄秸秆不同还田方式对番茄生长及土壤碳氮含量和酶活性的影响 [J]. 中国蔬菜, 2018, 356(10):61-65.
- [12] 张雪艳, 田蕾, 王冠, 等. 秸秆反应堆与生物菌剂对番

- 茄土壤碳氮比与酶活性的影响[J].北方园艺,2015(4):165-169.
- [13] 赵英男,耿丽平,李博文,等.多功能秸秆腐熟剂对设施番茄产量和品质的影响[J].北方园艺,2016(2):42-45.
- [14] 萨如拉,杨恒山,邵继承,等.秸秆还田条件下腐熟剂对不同质地土壤真菌多样性的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2020,28(7):1061-1071.
- [15] 马慧媛,黄媛媛,刘胜尧,等.微生物菌剂施用对设施茄子根际土壤养分和细菌群落多样性的影响[J].微生物学通报,2020,47(1):140-150.
- [16] 赵祥,刘红玲,杨盼,等.滴灌对苜蓿根际土壤细菌多样性和群落结构的影响[J].微生物学通报,2019,46(10):2579-2590.
- [17] 杨剑虹,王成林,代亨利.土壤农化分析与环境监测[M].北京:中国大地出版社,2008:49-50.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000:212-279.
- [19] Wang Y, Sheng H-F, He Y, et al. Comparison of the levels of bacterial diversity in freshwater, intertidal wetland, and marine sediments by using millions of illumina tags[J]. Applied and environmental microbiology, 2012, 78(23): 8264-8271.
- [20] Kong H H, Conlan S, Grice E A, et al. Topographical and Temporal Diversity of the Human Skin Microbiome[J]. Science, 2009, 324(5931):1190-1192.
- [21] 张翰林,白娜玲,郑宪清,等.秸秆还田与施肥方式对稻麦轮作土壤细菌和真菌群落结构与多样性的影响[J/OL].中国生态农业学报:中英文,1-9[2021-01-26].
- [22] Sun R B, Zhang X X, Guo X S, et al. Bacterial diversity in soils subjected to long-term chemical fertilization can be more stably maintained with the addition of livestock manure than wheat straw[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015, 88: 9-18.
- [23] 张鑫,周卫,艾超,等.秸秆还田下氮肥运筹对夏玉米不同时期土壤酶活性及细菌群落结构的影响[J].植物营养与肥料学报,2020,26(2):295-306.
- [24] 张燕.不同作物秸秆对连作番茄幼苗及土壤微生物的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2017.
- [25] 李增亮.不同植物秸秆对连作番茄生长及土壤微生物群落的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2018.
- [26] 郭梨锦,曹凑贵,张枝盛,等.耕作方式和秸秆还田对稻田表层土壤微生物群落的短期影响[J].农业环境科学学报,2013,32(8):1577-1584.
- [27] 周阳,黄旭,赵海燕,等.麦秸秆和沼液配施对水稻苗期生长和土壤微生物的调控[J].土壤学报,2020,57(2):479-489.
- [28] 钟书堂,沈宗专,孙逸飞,等.生物有机肥对连作蕉园香蕉生产和土壤可培养微生物区系的影响[J].应用生态学报,2015,26(2):481-489.
- [29] 邓开英,凌宁,张鹏,等.专用生物有机肥对营养钵西瓜苗生长和根际微生物区系的影响[J].南京农业大学学报,2013,36(2):103-109.
- [30] 徐万里,唐光木,葛春辉,等.长期施肥对新疆灰漠土土壤微生物群落结构与功能多样性的影响[J].生态学报,2015,35(2):468-477.
- [31] 程凯凯,唐海明,李超,等.农田根际土壤微生物多样性研究进展[J].作物研究,2020,34(2):190-195.
- [32] 高云超,朱文珊,陈文新.秸秆覆盖免耕对土壤细菌群落区系的影响[J].生态科学,2000,19(3):27-32.
- [33] 谢双棋.稻草还田的作用及应用[J].福建农业科技,2010,1:73-74.
- [34] 乔俊卿,刘卹洲,余翔,等.集成生物防治和秸秆还田技术对设施番茄增产及土传病害防控效果研究[J].中国生物防治学报,2013,29(4):547-554.
- [35] 刘超,汪有科,湛景武,等.秸秆覆盖量对夏玉米产量影响的试验研究[J].灌溉排水学报,2008,27(4):64-66.
- [36] 于舜章,陈雨海,周勋波,等.冬小麦期覆盖秸秆对夏玉米土壤水分动态变化及产量的影响[J].水土保持学报,2004,18(6):175-178.
- [37] 张玲,祝元波,郭永杰.稻草不同方式覆盖和免耕与翻犁对油菜产量影响试验总结[J].耕作与栽培,2006,3:49-50.

(责任编辑:王佳)