

# 香菇废料秸秆反应堆在平泉市温室 越冬茬黄瓜栽培中的应用

武春成<sup>1</sup>, 马楠<sup>1</sup>, 曹霞<sup>1</sup>, 魏新雨<sup>1</sup>, 张宁<sup>1</sup>, 谢洋<sup>1</sup>, 庞瑞斌<sup>2</sup>

(1. 河北省特色园艺种质挖掘与创新利用重点实验室·河北科技师范学院园艺科技学院 河北秦皇岛 066004;

2. 平泉市益农科技育苗有限公司 河北平泉 067500)

**摘要:** 为探索平泉市香菇废料作为秸秆反应堆填充物在温室越冬茬黄瓜栽培上的应用效果, 以传统种植方式为对照, 研究了以整株玉米秸秆、粉碎玉米秸秆、玉米芯、香菇废料为填充物的秸秆反应堆对黄瓜生长、土壤理化性质和细菌多样性的影响。结果表明, 香菇废料秸秆反应堆可以明显增加黄瓜株高、茎粗和总节数, 小区产量比对照显著提高12.25%, 与生产上常用的整株玉米秸秆反应堆无显著差异; 显著提高了土壤pH以及有机质、碱解氮和速效磷含量, 降低了EC值, 与对照相比有机质含量增加了35.01%, EC值降低了19.76%; 显著提高了土壤细菌多样性, 改变了细菌的群落结构, 增加了有益细菌数量。综合分析认为, 香菇废料可以作为温室越冬茬黄瓜秸秆反应堆填充物, 在平泉市等香菇废料丰富的地区使用, 从而实现农业废弃物循环利用。

**关键词:** 黄瓜; 生长; 香菇废料; 秸秆反应堆; 土壤理化性质; 细菌多样性

中图分类号: S642.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)04-033-06

## Effect of shiitake waste straw reactor on overwinter cucumber cultivation in greenhouse in Pingquan city

WU Chuncheng<sup>1</sup>, MA Nan<sup>1</sup>, CAO Xia<sup>1</sup>, WEI Xinyu<sup>1</sup>, ZHANG Ning<sup>1</sup>, XIE Yang<sup>1</sup>, PANG Ruibin<sup>2</sup>

(1. Hebei Key Laboratory of Horticultural Germplasm Excavation and Innovative Utilization/College of Horticulture Science and Technology, Hebei Normal University of Science & Technology, Qinhuangdao 066004, Hebei, China; 2. Pingquan Yinong Science & Technology Seedling Co., LTD., Pingquan 067500, Hebei, China)

**Abstract:** To explore the effect of shiitake waste added to the straw reactor for overwinter cucumber production in greenhouse in Pingqun, traditional planting methods were used as control, cucumber growth, soil physical and chemical properties and bacterial diversity were studied with the treatment of straw reactor filled with whole corn stalk, crushed corn stalk, corn cob and shiitake waste were. The results showed that the shiitake waste added straw reactor significantly increased plant height, stem diameter and total node number of cucumber, and the yield was 12.25% higher than that of the control, similar to the commonly used whole corn plant straw reactor. Soil pH, organic matter, alkali-hydrolysable nitrogen and available phosphorus were significantly increased, and EC was decreased. Compared with the control, organic matter was 35.01% higher, EC was 19.76% lower, so soil physical and chemical properties were improved. Shiitake waste significantly increased the diversity of soil bacteria, changed the community structure of bacteria, and increased the number of beneficial bacteria. Comprehensive analysis shows that shiitake waste can be used as straw reactor filling material for overwinter cucumber production in greenhouse in Pingquan city and other areas where shiitake waste is abundant.

**Key words:** Cucumber; Growth; Shiitake waste; Straw reactor; Physical and chemical properties of soil; Microbial diversity

平泉市属河北省承德市所辖, 位于河北省东北部, 辽宁、河北与内蒙古的交界处, 是典型“七山一水两田”的山区地貌。由于其独特的场地环境和冬

季光照充足的气候优势, 黄瓜种植规模大、产业基础好、品质优, 已成为河北省日光温室越冬茬黄瓜的主产区, 2019年平泉黄瓜成为河北省特色农产品

收稿日期: 2021-07-27; 修回日期: 2021-09-10

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFD1001903); 河北省重点研发计划(21326901D, 19226922D); 河北省现代农业产业技术体系(HBCT2018030209); 河北省属高校基本科研业务费专项(2021JK14)

作者简介: 武春成, 男, 教授, 现从事设施蔬菜栽培与生理研究工作。E-mail: wuchuncheng1979@126.com

优势产区。同时平泉市香菇产业发展迅速,平泉香菇是第一批河北省中国特色农产品优势区,目前该市每年可产生香菇废料 100 万~150 万 t,如处理不当不仅会造成资源的极大浪费,还会污染环境<sup>[1]</sup>。据统计,香菇废料造成平泉市的园区污染指数连年升高,阻碍了食用菌产业的可持续发展。因此,香菇废料的再利用成为亟待解决的一大难题<sup>[2]</sup>。

食用菌生产后产生的废弃物,除被菌丝吸收的营养外,仍然残留了大量的营养物质,包含大量的有机质、氮、磷、钾以及微量元素,这些都可供作物吸收。因此,常作为无土栽培的基质和土壤改良剂<sup>[3-5]</sup>。有研究表明,黑木耳菌渣加入发酵剂制成有机肥施入土壤后可以提高土壤中的营养物质,从而提高土壤肥力<sup>[6]</sup>。秸秆反应堆技术是改良设施土壤理化性质和微生态环境的一种重要方式,该技术是将生物技术与秸秆相结合,微生物菌种发酵会产生热量、抗病孢子以及各种营养物质。其分解过程中还会产生大量的有益物质来改善土壤环境,减少土壤病原体,创造出适合园艺作物生长发育的环境,提高经济产量和品质<sup>[7-8]</sup>。目前,生产上秸秆反应堆的填充物主要是玉米秸秆,而利用食用菌废料作为填充物的研究较少。如果能将平泉市香菇废料作为秸秆反应堆的填充物,在越冬茬黄瓜上进行应用,不但能解决废弃物的污染问题,而且可以促进该区域黄瓜产业绿色发展,一举两得。由此,笔者以香菇废料作为秸秆反应堆的填充物与其他填充物进行比较,探明秸秆反应堆不同填充物对温室越冬茬黄瓜生长、土壤理化性质和细菌多样性的影响,以期香菇废料秸秆反应堆在平泉市温室越冬茬黄瓜生产中的应用提供理论支撑。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

供试黄瓜品种为抗寒性较强的密刺类黄瓜品种中荷 17,由天津德瑞特种业有限公司培育。秸秆反应堆所需要的材料为香菇废菌棒、整玉米秸秆、粉碎玉米秸秆、玉米芯、麦麸、腐熟有机肥,均采自平泉市榆树林子镇。发酵复合菌剂由承德丰酵素菌有限公司生产,有效菌素含量 $\geq 0.20$  亿 $\cdot g^{-1}$ ,有机质含量( $w$ ,后同) $\geq 25.0\%$ 。

### 1.2 试验设计

试验于 2019 年 10 月至 2020 年 5 月在河北省承德市平泉市榆树林子镇平泉市益农业科技育苗有限公司日光温室内进行。试验采用随机区组设计,

设整株玉米秸秆(T1)、粉碎玉米秸秆(T2)、玉米芯(T3)、香菇废菌棒(T4)4 个不同秸秆反应堆填充物处理,以不使用秸秆反应堆为对照(CK)。每畦为 1 个小区,4 次重复,共 20 个畦。

### 1.3 方法

1.3.1 秸秆反应堆的制作及黄瓜定植 定植前 10 d,将充分腐熟的羊粪有机肥按  $10 m^3 \cdot 667 m^2$  施入土壤旋耕后,在种植行下开沟,沟宽 0.55 m,沟深 0.35 m,沟长与栽培畦长一致,将土壤放在两边,向沟内填加不同填充物,铺好后踏实,厚度约为 0.30 m,而后将拌有麦麸的菌种均匀撒在填充物上,用铁锹轻拍使之充分接触,覆土整平,然后浇水使填充物浸透。3 d 后覆土做畦,畦长 6 m,畦宽 1.2 m,大行距 0.80 m,小行距 0.40 m。2019 年 11 月 13 日定植 2 叶 1 心黄瓜插接嫁接苗,双行定植,株距 0.25 m,行距 0.40 m,每畦定植 48 株,畦面覆盖黑色地膜,膜下铺设滴灌管,整个生育期对照和秸秆反应堆处理的黄瓜水肥管理和植株调整保持一致。

1.3.2 黄瓜生长指标及产量的测定 于 2020 年 5 月 1 日黄瓜拉秧期,每个小区随机选取 4 株测定其生长指标,株高采用米尺测量黄瓜基部到生长点的长度;茎粗使用游标卡尺测量植株第 1 片真叶下部节间的直径;总节数采用计数法测定,准确数出黄瓜植株拉秧期的总节数。按小区定期采收成熟果实称质量,于拉秧后统计黄瓜小区产量。

1.3.3 土壤样品采集方法 于 2020 年 5 月 1 日黄瓜拉秧后,采集根区土壤,每个处理采用五点法取 0~20 cm 土层的土壤,将土壤中根系、杂物等去除干净并过筛,混合均匀,一部分置于室内风干后进行理化性质测定,另一部分转移至 $-80$  °C 冰箱中用于土壤细菌多样性的测定。

1.3.4 土壤理化性质的测定 土壤 pH 值和 EC 值采用上海雷磁多参数水质分析仪 DZS-708 测定(土水质量比为 1:5);土壤有机质含量采用重铬酸钾容量稀释法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;土壤速效磷采用钼蓝比色法测定;土壤速效钾含量采用火焰法测定<sup>[9-10]</sup>。

1.3.5 土壤细菌群落结构分析 将土壤样品送至上海美吉生物医药科技有限公司,采用 Illumina Miseq 平台进行高通量测序分析。采用 338F/806R 引物对 16S rRNA V4-V5 区进行 PCR 扩增,每个样品的引物序列中包含 6 bp 的特异标签序列用于区分不同样品,引物序列如下<sup>[11]</sup>:

338F:ACTCCTACGGGAGGCAGCAG(5'-3')

806R:GGACTACHVGGGTWTCTAAT(5'-3')。

### 1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2019 整理数据,采用 DPS 7.05 版分析软件对数据进行显著性分析。采用 Mothur(V1.30.2)软件进行微生物 Alpha 多样性分析;采用 Qiime(V1.9.1)进行 beta 多样性距离计算。采用 R 语言 Vegan 包进行非度量多维尺度 NMDS (Non-metric multi-dimensional scaling)分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同秸秆反应堆对黄瓜生长及产量的影响

由表 1 可以看出,T4 以香菇废菌棒为填充物的秸秆反应堆的黄瓜株高、茎粗和总节数显著高于 T2 以粉碎玉米秸秆为填充物的秸秆反应堆,与 CK 不使用秸秆反应堆和 T1 以整株玉米秸秆为填充物的秸秆反应堆无显著差异,株高和总节数显著高于 T3 以玉米芯为填充物的秸秆反应堆。秸秆反应堆可以提高黄瓜产量,各处理在黄瓜小区产量上表现为 T3>T4>T1>T2>CK。其中,T1、T3 和 T4 的产量无

显著差异,但均显著高于 CK 和 T2;与对照相比,T4 在黄瓜小区产量上的增幅为 12.25%。

表 1 不同秸秆反应堆对黄瓜生长及产量的影响

处理	株高/m	茎粗/mm	总节数	小区产量/kg
CK	6.61 a	8.18 ab	61.75 a	58.39 c
T1	6.69 a	8.36 a	63.00 a	64.15 ab
T2	6.19 b	7.76 b	60.75 b	60.12 bc
T3	6.02 b	8.17 ab	57.13 b	67.11 a
T4	6.68 a	8.22 a	62.13 a	65.54 a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

### 2.2 不同秸秆反应堆对土壤理化性质的影响

从表 2 可以看出,秸秆反应堆处理均显著提高了土壤 pH,降低了土壤 EC 值。T4 的 pH 值显著高于 CK 和 T2,分别提高了 0.49 和 0.28;与对照相比,T4 的 EC 值降低了 19.76%。秸秆反应堆处理能提高土壤有机质、碱解氮、速效磷含量。其中,T4 效果最明显,显著高于对照,有机质含量增加了 35.01%;速效钾含量除 T1 外,其他处理均高于对照。综上说明秸秆反应堆在一定程度上能够缓解土壤酸化和盐渍化,提高土壤养分含量,改善土壤

表 2 不同秸秆反应堆对土壤养分含量的影响

处理	pH	EC/( $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ )	w(有机质)/( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	w(碱解氮)/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	w(速效磷)/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	w(速效钾)/( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )
CK	6.87 c	416.25 a	40.96 b	124.00 c	146.42 c	246.37 b
T1	7.23 ab	345.50 b	45.68 ab	212.00 a	222.90 b	235.15 b
T2	7.08 b	325.00 b	45.01 ab	145.25 bc	183.07 bc	271.21 b
T3	7.37 a	345.75 b	52.00 ab	154.00 abc	184.26 bc	337.16 a
T4	7.36 a	334.00 b	55.30 a	203.75 ab	284.03 a	277.39 ab

理化性质。

### 2.3 不同秸秆反应堆对土壤细菌多样性的影响

2.3.1 土壤细菌 Alpha 多样性和 OTU 分析 高通量测序分析结果如表 3 所示,各处理的土壤细菌群落 OUT 数量均显著高于对照,测序覆盖率均大于 96%,说明本试验测序量能够反映土壤样本的细菌群落种类和结构多样性。土壤细菌 Alpha 多样性指数中,ACE 指数和 Chao1 指数可以表示物种的丰富度,秸秆反应堆处理后均显著高于对照,但各处理之间差异不显著;Shannon 指数和 Simpson 指数反

映种群多样性,各处理的 Shannon 指数均高于对照,Simpson 指数均低于对照,其中 T4 的 Shannon 指数显著高于除 T1 以外的其他处理,其 Simpson 指数显著低于 CK 和 T2 处理。表明秸秆反应堆可以增加土壤微生物的丰富度和种群多样性。其中,以 T4 香菇菌棒为填充物的秸秆反应堆效果最明显。

图 1 是根据各样品测序数据计算出的每个样品共有和独有的 OTU 数量,以此来反映各处理间 OTU 的差异。CK、T1、T2、T3、T4 的土壤细菌群落总 OTU 数分别为 3523、3823、3844、3885、3821 个;

表 3 不同秸秆反应堆对土壤细菌 Alpha 多样性的影响

处理	OUT 数	覆盖率/%	ACE 指数	Chao 1 指数	Shannon 指数	Simpson 指数
CK	3523 b	97.48 a	4 438.52 b	4 380.79 b	6.93 c	0.003 1 a
T1	3823 a	97.16 ab	4 809.37 a	4 691.65 a	7.11 ab	0.002 0 bc
T2	3844 a	97.22 ab	4 909.85 a	4 878.67 a	7.02 bc	0.002 6 ab
T3	3885 a	97.10 b	4 909.85 a	4 917.59 a	7.06 b	0.002 5 abc
T4	3821 a	96.93 b	4 874.17 a	4 800.63 a	7.16 a	0.001 8 c

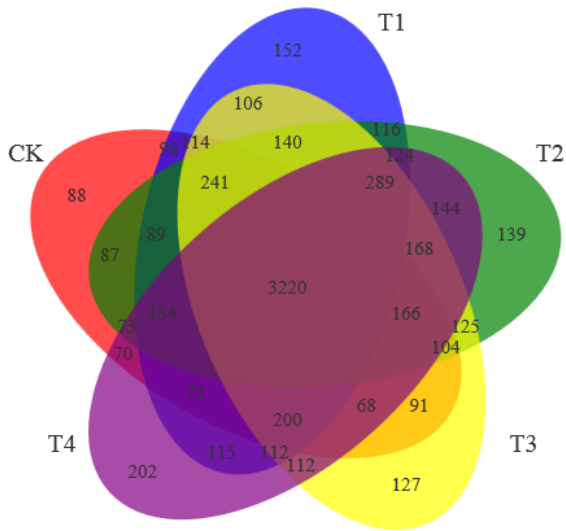


图1 不同秸秆反应堆的土壤细菌组成维恩图

各处理共有的 OTU 为 3320 个,CK、T1、T2、T3、T4 处理各自特有的 OTU 数量分别是 88、152、139、127、202,分别占相应样品总 OTU 的比例为 2.50%、3.98%、3.62%、3.27%、5.29%;由此可见,与对照相比各处理均增加了独有土壤细菌群落数量。其中,T4 以香菇菌为填充物的秸秆反应堆效果最明显。

2.3.2 土壤细菌 Beta 多样性分析 由层级聚类分析(图 2)可知在土壤细菌属水平上,CK、T1 和 T3

处理能够聚合在一起,T2 和 T4 处理分别独立处于一个分枝。土壤细菌属水平上 NMDS 分析结果如图 3 所示,每个处理中 3 个重复的土壤细菌群落都能聚集在一个区域,与其他处理明显分开,说明各个处理之间的细菌种群均有一定的差异,且同一处理内存在较强的一致性。其中,CK、T1 和 T3 处理距离较近,T2 和 T4 处理分别独自处在一个区域。

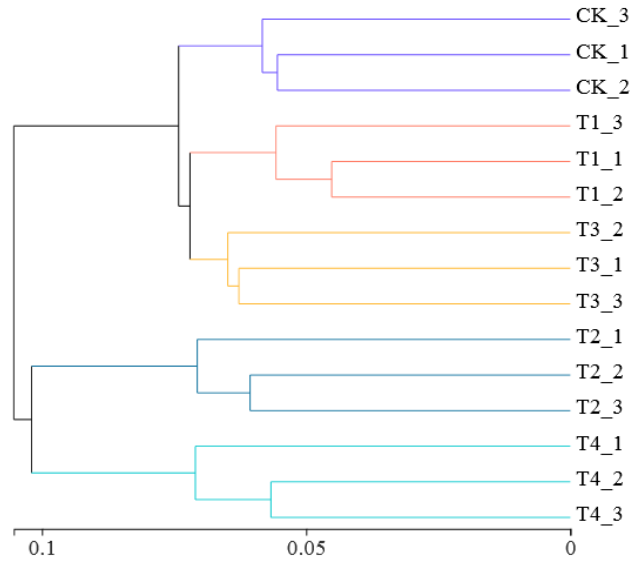


图2 土壤细菌群落属水平的样本层级聚类分析

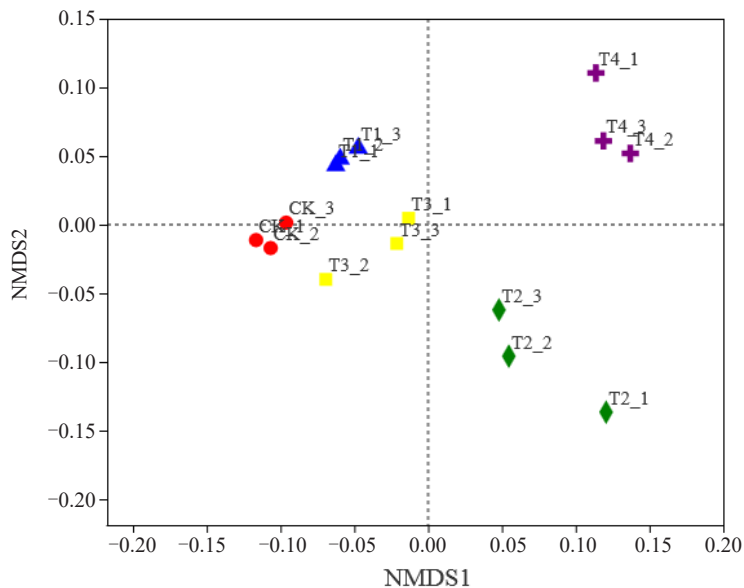


图3 土壤细菌群落属水平的 NMDS 分析

层级聚类分析结果和 NMDS 分析结果相似,总体说明 T2 以粉碎玉米秸秆为填充物的秸秆反应堆和 T4 以香菇菌棒为填充物的秸秆反应堆能够较明显地影响越冬茬黄瓜根系周围的土壤细菌群落多样性。

2.3.3 土壤细菌相对丰度分析 由图 4 可知,各处理土壤细菌在门水平上相对丰度大于 5%的细菌门有 4 个,分别是变形菌门(Proteobacteria)、放线菌门(Actinobacteria)、绿弯菌门(Chloroflexi)、酸杆菌门

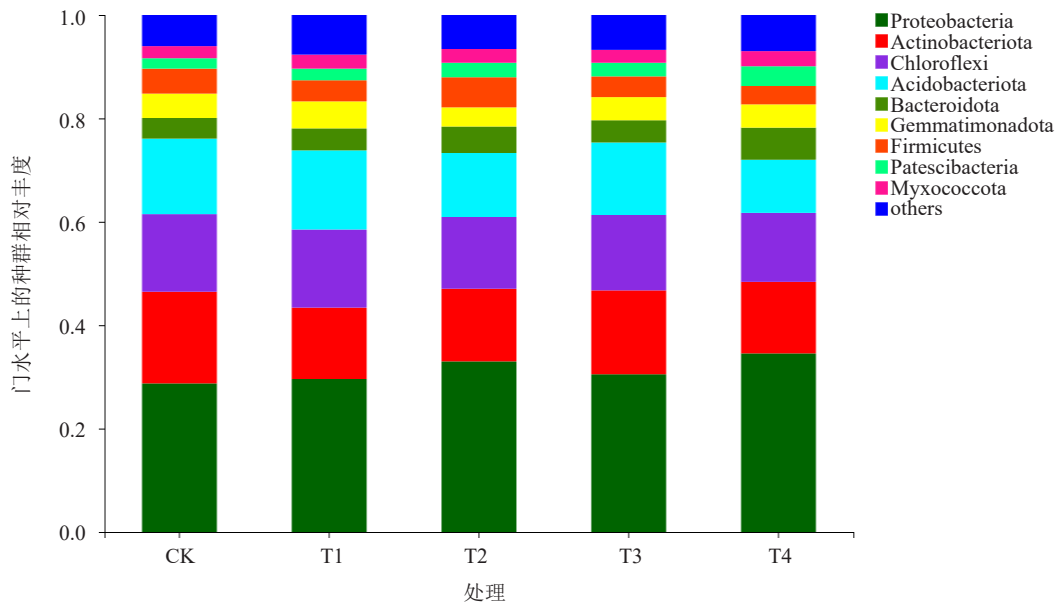


图4 土壤细菌在门水平上种群的相对丰度

(Acidobacteria),这些细菌优势门的相对丰度分别是28.67%~34.53%、13.76%~17.76%、13.44%~15.11%、10.29%~15.29%。通过对数据进行方差分析,可知秸秆反应堆处理后明显增加了变形菌门(Proteobacteria)的相对丰度,各处理分别比对照增加3.24%、13.15%、4.54%、16.97%,其中,T4处理增加幅度最大;降低了放线菌门(Actinobacteria)的相对丰度,各处理之间无明显差异;T4的酸杆菌门和绿弯菌门相对丰度明显降低,其他处理较对照无明显变化。

进一步分析属水平上的种类和丰度(图5),各

处理的优势属或亚属主要属于变形菌门(Proteobacteria)、放线菌门(Actinobacteria)、绿弯菌门(Chloroflexi)、酸杆菌门(Acidobacteria)、芽单胞菌门(Geumtimonadota)、厚壁菌门(Fimmicutes)。通过对数据进行方差分析,可知T4处理使变形菌门(Proteobacteria) *Aquicella* 属的丰度显著升高,酸杆菌门(Acidobacteria) *Vicinamibacteraceae* 属的丰度显著降低。综上所述,香菇废料秸秆反应堆处理后能够增加较多细菌门和属的相对丰度,且以有益细菌为主。

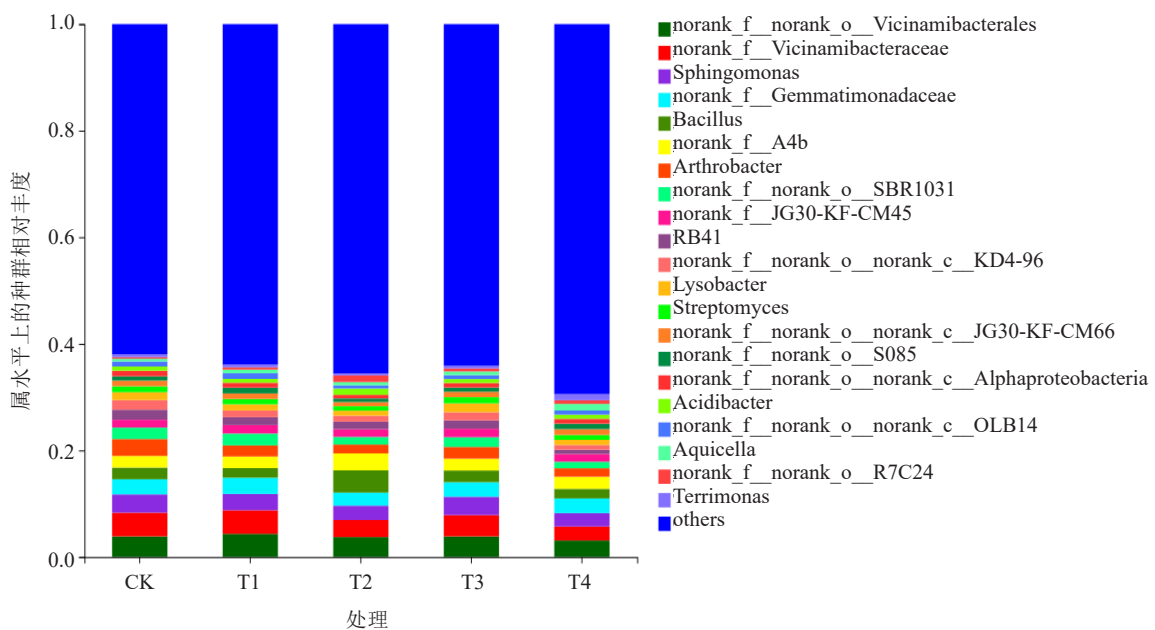


图5 土壤细菌在属水平上种群的相对丰度

### 3 讨论与结论

秸秆反应堆对提高越冬茬黄瓜产量和品质效果显著<sup>[12]</sup>,能够明显改善设施内土壤微环境,促进园艺作物的生长发育<sup>[13]</sup>。有研究者发现秸秆反应堆技术与菌剂共施能够提高设施土壤温度,为植株根系创造出适宜生长的环境<sup>[14]</sup>。本试验结论与前人相似,研究结果表明香菇废料秸秆反应堆处理后的温室越冬茬黄瓜株高、茎粗、总节数均高于对照,产量显著高于对照,与生产上常用的整株玉米秸秆反应堆无显著性差异,这说明香菇废料秸秆反应堆有利于温室越冬茬黄瓜的生长和产量的提高。

多数研究表明,秸秆反应堆技术不仅能够改善土壤理化性质,同时秸秆在分解过程中会连续向土壤释放营养物质,提高土壤有机质含量和氮磷钾等有效养分含量,提高了土壤肥力<sup>[15]</sup>。本试验结果表明,秸秆反应堆处理后均提高了土壤 pH 值,降低了土壤 EC 值,一定范围内缓解了土壤酸化和盐渍化;香菇废料秸秆反应堆处理后与对照相比显著提高了有机质、碱解氮和速效磷的含量,与其他秸秆反应堆相比,也表现出了相对优势,说明香菇废料秸秆反应堆可以改善土壤理化性质。

秸秆还田可以显著影响细菌群落结构,增加土壤中变形菌门等的丰度并且增加了土壤微生物多样性<sup>[16-17]</sup>。本研究结果表明,添加香菇废料显著增加了土壤细菌群落的丰富度和均匀度,保持了较高的细菌群落多样性,这可能与其自身富含多种微生物有关。通过聚类分析和非度量多维尺度(NMDS)分析发现,以香菇废料为填充物的秸秆反应堆显著影响了细菌群落结构。土壤中的优势菌门为变形菌门,其次为放线菌门、绿弯菌门和酸杆菌门;较多的细菌门和属处于上升趋势,且以有益细菌为主。

综上所述,香菇废料秸秆反应堆增加了土壤养分含量,改善了土壤理化性状,提高了土壤细菌种群多样性,改善了黄瓜根区土壤微环境,促进了黄瓜生长和产量提高。综合考虑认为在平泉市等香菇主产区,香菇废料可替代生产上常用的其他填充

物来制作秸秆反应堆,不仅可以促进温室越冬茬黄瓜生长发育,还可减少环境污染,实现农业废弃物循环利用。

#### 参考文献

- [1] 刘桂娟,曹红竹,王秀清,等.平泉市发展食用菌的优势及菌渣多级循环利用现状[J].农技服务,2020,37(8):85-86.
- [2] 白宇.平泉县食用菌产业发展研究[D].河北保定:河北农业大学,2015.
- [3] 卜文文,陶鸿,赵大刚,等.食用菌菌糠综合再利用研究概述[J].中国瓜菜,2012,25(3):40-43.
- [4] 周祥,严媛媛,陈爱晶.食用菌菌渣资源化利用研究进展[J].食用菌,2018,40(1):9-12.
- [5] 张黎杰,周玲玲,田福发,等.日光温室西葫芦菌渣复合基质栽培技术[J].中国瓜菜,2018,31(3):56-57.
- [6] 刘冉,董莎,姚志超,等.黑木耳菌糠有机肥的制备及肥效研究[J].东北农业科学,2018,43(6):20-24.
- [7] 蔡琳,汤志洪.秸秆生物反应堆对温室黄瓜生长发育环境的影响[J].北方园艺,2015(15):43-46.
- [8] 徐全辉,赵强.秸秆生物反应堆技术的应用对温室生态环境因子的影响[J].安徽农业科学,2010,38(24):12999-13000.
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [10] 严超升.土壤肥力研究方法[M].北京:农业出版社,1988.
- [11] NAVARRO-NOYA Y E, GOMEZ-ACATA S, MONTOYA-CIRIACO N, et al. Relative impacts of tillage residue management and crop-rotation on soil bacterial communities in a semi-arid agroecosystem[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2013, 65: 86-95.
- [12] 刘冰.秸秆反应堆条件下日光温室越冬黄瓜栽培效果研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.
- [13] 何志刚,王秀娟,董环,等.秸秆反应堆和功能菌对日光温室番茄生长发育及土壤微生态环境的影响[J].北方园艺,2013(22):184-187.
- [14] 彭杏敏,陈之群,陈青云,等.内置秸秆反应堆和菌剂对日光温室土壤温度及越冬番茄生长的影响[J].中国蔬菜,2011(S1):63-67.
- [15] 孙婧,田永强,高丽红,等.秸秆生物反应堆与菌肥对温室番茄土壤微环境的影响[J].农业工程学报,2014,30(6):153-164.
- [16] 陈静,胡云,崔文芳.秸秆还田对温室黄瓜根际土壤代谢和菌群的影响[J].中国瓜菜,2020,33(7):14-18.
- [17] 萨如拉,杨恒山,高聚林,等.短期玉米秸秆还田对土壤细菌多样性的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(9):145-149.