

张泽旺, 张军强, 张永春, 等. 有机源调理剂对草莓品质和土壤理化性质、细菌群落结构的影响[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(3): 531-537.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2024.03.016

有机源调理剂对草莓品质和土壤理化性质、细菌群落结构的影响

张泽旺^{1,2}, 张军强³, 张永春², 马洪波², 张 辉², 孙书慧⁴, 葛高飞¹

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014; 3. 恩施土家族苗族自治州农业农村局, 湖北 恩施 445000; 4. 金陵科技学院, 江苏 南京 210038)

摘要: 为提升土壤质量, 减少化肥用量, 改善草莓品质, 本研究以草莓品种红颜为试验材料, 采用大棚小区试验, 设置常规施肥(CK)、有机源调理剂4 800 kg/hm²+常规施肥(T1)、有机源调理剂4 800 kg/hm²+基肥减量 10%(T2)、有机源调理剂4 800 kg/hm²+基肥减量 20%(T3)、有机源调理剂4 800 kg/hm²+基肥减量 30%(T4) 5 个处理, 分析有机源调理剂应用与化肥减量对草莓产量、品质、根腐病发病率以及土壤理化性质和土壤细菌群落结构的影响。结果表明, 与常规施肥相比, T1 处理能显著提高草莓产量、土壤有机质含量和 pH 值, 增加变形菌门和拟杆菌门细菌相对丰度。施用有机源调理剂能显著降低根腐病发病率(39.68%~64.09%)。T1 和 T4 处理能降低放线菌门相对丰度。土壤有效磷含量、速效钾含量、有机质含量是土壤细菌群落结构的主要影响因子。T1 处理对提高草莓产量和改善土壤细菌群落结构效果较好, T4 处理对提高土壤有机质含量、改善团聚体结构和缓解土壤酸化效果较好。

关键词: 有机源调理剂; 土壤理化性质; 细菌群落结构; 草莓

中图分类号: S531.06 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)03-0531-07

Effects of organic source conditioners on strawberry quality and soil physicochemical properties and bacterial community structure

ZHANG Ze-wang^{1,2}, ZHANG Jun-qiang³, ZHANG Yong-chun², MA Hong-bo², ZHANG Hui², SUN Shu-hui⁴, GE Gao-fei¹

(1. College of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Agricultural and Rural Bureau of Enshi Tujia and Miao Autonomous Prefecture, Enshi 445000, China; 4. Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038, China)

Abstract: In order to improve the soil quality, reduce the amount of chemical fertilizer and improve the quality of strawberry, a plot experiment was carried out in greenhouse with Hongyan as the experimental material in this study. Five treatments were set up: conventional fertilization (CK), 4 800 kg/hm² organic source conditioner + conventional fertilization

(T1), 4 800 kg/hm² organic source conditioner + base fertilizer reduction 10% (T2), 4 800 kg/hm² organic source conditioner + base fertilizer reduction 20% (T3), 4 800 kg/hm² organic source conditioner + base fertilizer reduction 30% (T4). The effects of organic source conditioner application and chemical fertilizer reduction on strawberry yield, quality, root rot incidence, soil physical and chemical properties and soil bacterial community structure

收稿日期: 2022-12-01

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(21)1009]; 江苏省重点研发计划项目(BE2021378)

作者简介: 张泽旺(1999-), 男, 安徽铜陵人, 硕士研究生, 主要从事农业生态研究。(E-mail) 1721757514@qq.com

通讯作者: 葛高飞, (E-mail) gegaofei@ahau.edu.cn; 马洪波, (E-mail) 274579992@qq.com

were analyzed. The results showed that compared with conventional fertilization, T1 treatment could significantly increase strawberry yield, soil organic matter content and pH value, and increase the relative abundance of Proteobacteria and Bacteroidetes. The application of organic source conditioner could significantly reduce the incidence of root rot (39.68%–64.09%). T1 and T4 treatments could reduce the relative abundance of Actinobacteria. Soil available phosphorus content, available potassium content and organic matter content were the main influencing factors of soil bacterial community structure. T1 treatment had a better effect on increasing strawberry yield and improving soil bacterial structure. T4 treatment had a better effect on increasing soil organic matter content, improving aggregate structure and alleviating soil acidification.

Key words: organic source conditioners; soil physical and chemical properties; bacterial community structure; strawberry

草莓 (*Fragaria×ananassa* Duch.), 蔷薇科草莓属, 又叫作红莓、地莓和洋莓子等, 是一种多年生草本植物^[1]。草莓果实富含维生素 C, 具有极高的药用价值和营养价值, 能够促进机体消化和提高抗衰老能力, 深受广大消费者的喜爱^[2-3]。中国是世界草莓种植大国^[4], 种植户为提高草莓产量在种植过程中通常会施用过量的化肥, 这不仅导致草莓种植区土壤板结、酸化以及肥料利用率和土壤微生物多样性降低, 还造成草莓品质和产量急剧下降^[5-6]。为实现减肥增效, 促进农业生产可持续发展, 中国在 2015 年提出了化肥零增长战略^[7]。

土壤调理剂具有改善土壤结构和化学性状, 调节土壤酸碱度及修复污染土壤等功效^[8-10]。但不同类型的土壤调理剂常具有不同的功效, 同时亦可能伴随一定的副作用。化学和矿物类土壤调理剂能有效缓解土壤酸化, 但不能明显改善土壤生物学性状^[11]。生石灰、硅钾土壤调理剂都能有效缓解土壤酸化, 提高土壤有机质含量, 但两者都可能导致土壤板结和养分含量降低^[12]。高钙高镁土壤调理剂能显著增加土壤肥力和细菌群落的多样性, 但也会导致细菌群落均匀度的降低, 其原因在于高钙高镁土壤调理剂能抑制部分有益菌的活性^[13]。含有腐殖酸的有机土壤调理剂可以使土壤形成弱酸缓冲体系, 维持土壤酸碱度平衡, 提升土壤有机质含量, 改善土壤结构和微生物群落结构, 提高作物的产量和品质^[14-15], 在苹果^[15]、水稻^[16]等作物的生产中得到了初步应用, 并取得了较好的增产效果。近年来, 一款生产成本低廉、以餐厨垃圾为主要原料的生物强化腐殖化土壤调理剂 (简称为有机源调理剂) 研制成功, 并在生产中得到了初步应用。但目前有机源土壤调理剂在草莓化肥减量及其对草莓产量、品质、根腐发病率以及土壤理化性质和土壤细菌群落结构的影响尚缺乏系统研究。鉴于此, 本研究在草莓基

肥减量的基础上配施有机源土壤调理剂, 明确其对草莓产量、品质、土壤性质和细菌群落结构的影响, 旨在实现减肥减药的草莓生产及草莓种植土壤保育, 促进草莓产业的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2021 年 11 月至 2022 年 3 月在江苏省丹阳访仙镇红果家庭农场 (31°98'N, 110°74'E) 设施大棚内进行。该农场地势平坦, 日照充足, 季节分明, 雨水充沛, 无霜期较长。土壤全氮含量 1.27 g/kg, 有效磷含量 16.51 mg/kg, 速效钾含量 108 mg/kg, 有机质含量 19.15 g/kg, pH 6.67。

1.2 试验材料

试验用草莓品种为当地主栽品种红颜。P₂O₅、N、K₂O 含量均为 15% 的复合肥及氮含量为 46.66% 的尿素购自江苏华昌化工股份有限公司。有机源调理剂购自北京嘉博文生物科技有限公司。有机源调理剂的有机质含量为 376.56 g/kg, pH 值 8.01, 全氮含量 1.02 g/kg, 有效磷含量 89.03 mg/kg; 速效钾含量 57.03 mg/kg, 含水量 6.55%, 总腐殖酸含量 27.32%。

1.3 试验设计

本试验设置常规施肥 (CK)、有机源调理剂 4 800 kg/hm²+常规施肥 (T1)、有机源调理剂 4 800 kg/hm²+基肥减量 10% (T2)、有机源调理剂 4 800 kg/hm²+基肥减量 20% (T3)、有机源调理剂 4 800 kg/hm²+基肥减量 30% (T4) 共 5 个处理。每个处理重复 3 次, 随机区组排序, 每个小区面积为 4 m²。于 11 月初施入有机源调理剂和基肥 (复合肥), 草莓移栽完成后, 每隔 15 d 追施尿素 1 次, 共追肥 6 次, 每次追肥量为 25 kg/hm²。各处理施肥情况见表 1。

1.4 测试项目与方法

1.4.1 草莓产量及品质测定 移栽后 30 d 调查各

小区草莓苗的死亡株数,结合死亡植株根系特征及草莓根腐病根系病症^[17],得到各小区草莓根腐病发病率。在草莓头茬果实成熟后,每3 d进行各小区草莓果实的采摘,记录每次采摘的各小区产量、果实数量及单果质量 ≥ 20 g且果形端正的优质果数量,直到收获结束,得到各小区产量、果实总数及优质果数量,计算优果率(优质果数量比率)。各处理随机选取10个大小一致的头茬草莓果实进行品质测定。采用TD-45糖度仪(浙江托普云农科技股份有限公司产品)测定草莓果实糖分含量,采用2,6-二氯酚比色法测定草莓果实维生素C含量。

表1 草莓有机源土壤调理剂与化肥配施试验方案

Table 1 Strawberry organic source soil amendment and chemical fertilizer combined application test scheme

处理	基肥用量 (kg/hm ²)	追肥用量 (kg/hm ²)
常规施肥(CK)	600	150
有机源调理剂4 800 kg/hm ² +常规施肥(T1)	600	150
有机源调理剂4 800 kg/hm ² +基肥减量10%(T2)	540	150
有机源调理剂4 800 kg/hm ² +基肥减量20%(T3)	480	150
有机源调理剂4 800 kg/hm ² +基肥减量30%(T4)	420	150

1.4.2 土壤理化性质测定 2022年2月15日每小区按照S形采样法采集表层(0~20 cm)土壤样品,各处理采集样品均匀混合后过20目筛用于测定土壤pH、碱解氮含量、有效磷含量和速效钾含量,另外过100目筛用于测定土壤有机质含量。采用Five Easy Plus pH计(瑞士Mettler toledo科技有限公司产品)测定pH,分别采用外加热法、碱解扩散法、钼锑抗比色法、火焰光度计法测定土样有机质含量、碱解氮含量、有效磷含量、速效钾含量。在草莓种植地块取表层土壤采用湿筛法测定土壤团聚体,团聚体分级为粗大团聚体(>2.000 mm)、细大团聚体(0.251~2.000 mm)、微团聚体(0.053~0.250 mm)和粉黏粒组分(<0.053 mm)。采用环刀法测定土壤容重。

1.4.3 土壤细菌群落结构分析 2022年1月10日采集0~20 cm土层土壤放到无菌袋中,采用干冰冷藏运输、-80℃冰箱保存。土样微生物多样性测定方法如下:首先利用引物(正向引物:5'-CCTACGGGNGGC-WGCAG-3';反向引物:3'-GACTACHVGGGTATCTA-

ATCC-5')对细菌16S rRNA的V3~V4区进行PCR扩增,扩增产物利用Illumina Miseq平台采用双末端测序法进行测序(南京集思慧远有限公司完成)。使用Qiime v1.8.0软件对Read拼接得到原始序列(RawTag),使用Trimmomatic v0.33软件对原始序列进行拼接过滤得到高质量序列(CleanTag),采用Uchime v4.2软件对CleanTag进行鉴定并去除嵌合体得到有效序列。以97%相似度聚类得到操作分类单元(OTU)。基于细菌分类学数据库(Silva)对OTU进行物种注释及各处理样品物种丰度分析。基于环境因子与主要细菌群落进行冗余分析,分析环境变量与细菌群落结构之间的关系。

1.5 数据处理

采用Excel 2010、SPSS 26等软件进行数据统计与分析,采用Duncan's多重检验法分析处理间差异显著性,采用Mothur 1.30软件进行细菌Alpha多样性分析,采用Canoco 5.0软件进行冗余分析(RDA)分析,采用Origin 2021软件绘制图、表。

2 结果与分析

2.1 有机源调理剂对草莓产量、优果率、发病率及品质的影响

由表2可知,有机源调理剂处理(T1~T4)的草莓单果质量和优果率与CK相比均无显著差异。增施有机源调理剂(T1处理)后,草莓产量比CK提高了20.83%,差异显著。施用有机源调理剂处理(T1~T4)间,随着复合肥施用量的减少,草莓产量呈减少趋势,其中T1和T4处理差异显著,T2和T3处理的草莓产量与T1、T4处理均无显著差异。CK草莓根腐病发病率为16.96%,显著高于施用有机源调理剂处理(T1~T4)。而施用有机源调理剂处理(T1~T4)间草莓根腐病发病率无显著差异。施用有机源调理剂后,各处理草莓糖分含量和维生素C含量均与CK无显著差异。

2.2 有机源调理剂对草莓经济效益的影响

从表3可以看出,T2处理的产值最高,常规施肥的产值最低。T1处理的成本最高,利润也最高。与CK相比,T1处理利润增加23.45%,表明T1处理有利于增加草莓产量和利润。从产投比上看,T1处理最高,其次为CK;与CK相比,T1处理产投比增加7%,其余处理的产投比均低于CK,表明T2、T3、T4处理不利于经济效益的提高。

表 2 有机源调理剂对草莓产量、优果率、发病率及品质的影响

Table 2 Effects of organic source conditioners on yield, excellent fruit rate, root rot incidence and quality of strawberries

处理	单果质量 (g)	产量 (kg/hm ²)	优果率 (%)	根腐病发病率 (%)	糖分含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/g)
CK	28.64a	18 489.30b	83.62a	16.96a	13.3a	0.476 5a
T1	30.17a	22 340.20a	86.25a	8.62b	14.3a	0.502 6a
T2	28.88a	19 001.10ab	84.50a	10.23b	13.5a	0.489 3a
T3	29.33a	18 991.65ab	84.37a	7.40b	14.0a	0.491 2a
T4	28.72a	18 725.55b	84.00a	6.09b	13.8a	0.493 5a

CK、T1、T2、T3、T4 处理见表 1。同列数字后的不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

表 3 有机源调理剂对草莓经济效益的影响

Table 3 Effects of organic source conditioners on economic benefits of strawberries

处理	产值 (元, 1 hm ²)	成本 (元, 1 hm ²)	利润 (元, 1 hm ²)	产投比
CK	277 340b	92 430	184 910	2.00
T1	335 103a	106 830	228 273	2.14
T2	285 017ab	106 722	178 295	1.67
T3	284 875ab	106 614	178 261	1.67
T4	280 883ab	106 506	174 377	1.64

CK、T1、T2、T3、T4 处理见表 1。有机源调理剂、复合肥、尿素、草莓每 1 kg 按 3.0 元、1.8 元、1.5 元和 15.0 元计算, 试验地租金、人工成本每 1 hm² 按 30 000 元和 60 000 元计算。

2.3 有机源调理剂对土壤理化性质的影响

由表 4 可知, T4 处理的土壤有机质含量增加显著, 即减施基肥的情况下, 补充有机源调理剂有利于提高土壤有机质含量。与 CK 相比, T4 处理的土壤 pH 值与 CK 差异达显著水平, 表明增施有机源调理剂能缓解土壤酸化。各处理土壤碱解氮含量和有效磷含量无显著差异, 而 T1 处理、T2 处理的土壤速效钾含量显著高于 T3 和 T4 处理, 增施有机源调理剂的处理 (T1~T4) 与 CK 均无显著差异。

2.4 有机源调理剂对土壤结构的影响

由表 5 可知, 增施有机源调理剂处理的土壤容

重比 CK 略有降低, 其中 T4 处理的土壤容重与 CK 有显著差异, 而 T1、T2、T3 处理与 CK 差异不显著, 因此增施有机源调理剂有利于提高土壤的疏松度。施用有机源调理剂后, 土壤团聚体的粒径占比亦发生了一定的变化, 主要表现为 T2、T3、T4 处理土壤 0.251~2.000 mm 粒径的细大团聚体占比显著高于 CK 和 T1 处理; CK 0.053~0.250 mm 粒径的微团聚体占比显著低于 T1 和 T2 处理, 而高于 T3 和 T4 处理; T1 处理粉黏粒 (粒径<0.053 mm) 占比最高, CK 次之, T3 和 T4 处理的粉黏粒占比最低; CK、T3 处理、T4 处理 (粒径>2.000 mm) 的粗大团聚体占比显著高于 T1、T2 处理。

2.5 有机源调理剂对细菌群落丰富度的影响

由图 1A 可知, 当测序样本 10 000 以内时, 操作分类单元 (OUT) 迅速增加, 当测序样本数量超过 60 000 条时, 整个曲线趋于平坦, 表明该测序文库达到饱和, 物种数趋势稳定。T1 处理土壤细菌 ACE 指数比 CK 高 30.67%, 差异显著; 而 T2、T3、T4 处理 ACE 指数虽比 CK 略高, 但没有显著差异。即有机源调理剂能增加土壤细菌群落丰富度, 但在基肥减量的情况下, 土壤细菌群落丰富度越来越低, 与 CK 无显著差异 (图 1B)。

表 4 有机源调理剂对土壤理化性质的影响

Table 4 Effects of organic source conditioners on soil physical and chemical properties

处理	有机质含量 (g/kg)	pH	碱解氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
CK	21.34b	6.24b	149.29a	40.37a	126.57ab
T1	23.68b	6.38ab	154.48a	44.51a	135.38a
T2	22.56b	6.29b	151.80a	41.86a	131.59a
T3	23.76b	6.40ab	147.66a	39.22a	122.42b
T4	24.02a	6.41a	145.71a	37.35a	120.40b

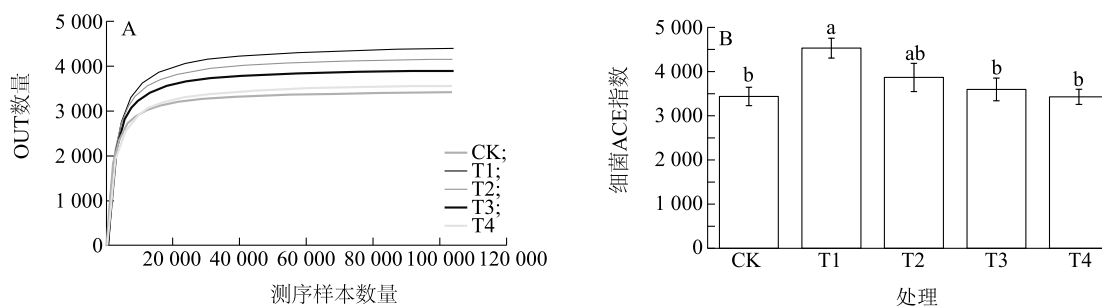
CK、T1、T2、T3、T4 见表 1。同列数字后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

表 5 有机源调理剂对土壤容重和团聚体的影响

Table 5 Effects of organic source conditioners on soil bulk density and aggregates

处理	容重 (g/cm ³)	不同粒径团聚体占比 (%)			
		<0.053 mm	0.053~0.250 mm	0.251~2.000 mm	>2.000 mm
CK	1.33a	21.82b	21.70b	41.84b	14.64a
T1	1.28ab	25.16a	25.22a	43.44b	6.18b
T2	1.30ab	18.36c	27.34a	50.20a	4.10b
T3	1.28ab	13.10d	15.54c	57.62a	13.74a
T4	1.27b	15.22d	16.30c	53.78a	14.70a

CK、T1、T2、T3、T4 见表 1。同列数字后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。



CK、T1、T2、T3、T4 见表 1。柱上不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

图 1 不同处理高通量测序文库稀释曲线和土壤细菌 ACE 指数

Fig.1 Dilution curve of high flux sequencing library and soil bacteria ACE index under different treatments

由图 2 可知,在门水平下,变形菌门(Proteobacteria, PBA)细菌相对丰度最高,占22.91%~31.25%,其次为酸杆菌门(Acidobacteria, ACI) 12.5%~20.83%、绿弯菌门(Chloroflexi, CFI) 5.83%~15.21%、拟杆菌门(Bacteroidetes, BOS) 2.08%~5.42%、放线菌门(Actinobacteria, ABA) 2.08%~4.17%。T1 处理 PBA 和 BOS 相对丰度比 CK 均有增加,T1 和 T4 处理 ABA 细菌相对丰度比 CK 有所降低。PBA 含有丰富的固氮细菌,ABA 多为致病细菌,表明增施有机源调理剂可提升土壤的固氮能力和降低病害风险。

2.6 土壤理化性质与主要细菌群落间的关系

土壤理化性质与主要细菌群落丰富度的冗余分析结果表明,2 个主要轴特征值分别是 61.44% 和 27.32%,相关系数为 0,RDA 分析结果可信(图 3)。第一轴排序与有效磷含量和速效钾含量呈负相关,与有机质含量呈正相关。土壤有效磷含量和速效钾含量与 PBA、BOS、ACI 细菌相对丰度呈正相关,与 CFI 和 ABA 等菌相对丰度呈负相关。有机质含量与 PBA、BOS、ACI 细菌相对丰度呈负相关,与 CFI 和 ABA 等菌相对丰度呈正相关。

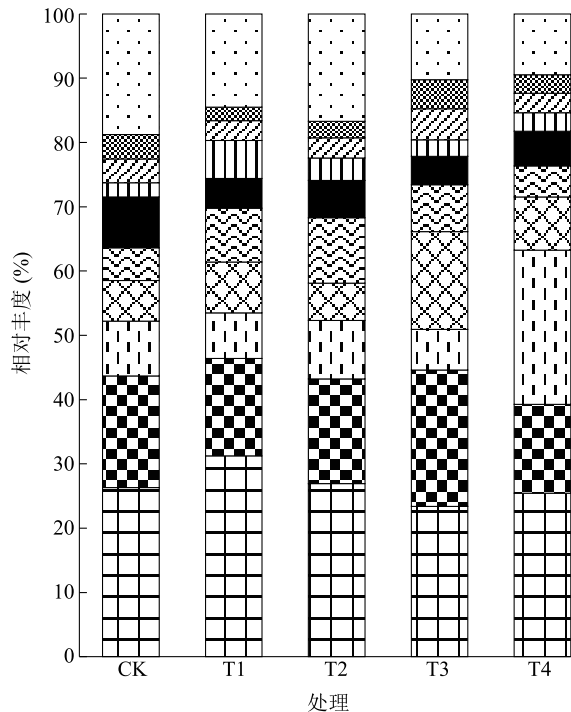
3 讨论

3.1 有机源调理剂对草莓产量与品质的影响

增施土壤调理剂能提高作物的产量和品质^[17-18]。李丹等^[19]研究发现多种土壤调理剂能缓解土壤酸化,提高辣椒的产量和品质,戴黎等^[20]研究发现大棚土壤增施硅镁土壤调理剂后,草莓产量提升 19.5%,草莓浆果的可溶性糖含量和维生素 C 含量均有增加。栗方亮等^[21]研究结果表明土壤调理剂能够提升蜜柚的产量、维生素 C 含量以及可溶性糖含量。本研究结果表明,施用有机源调理剂后草莓产量提升 1.28%~20.80%,其中 T1 处理草莓产量增加显著;糖度和维生素 C 含量增加不显著;根腐病发病率降低了 39.68%~64.09%。产量增加的原因在于调理剂中富含的有益菌代谢产物可以调节土壤微生物生态平衡,导致根腐病发病率显著减少^[22-23];同时有机源调理剂施入土壤后分解产生的多肽类物质对作物生理生化过程产生调节作用^[24]。

3.2 有机源调理剂对土壤性质的影响

张蕾等^[25]、吴辰晨等^[26]研究结果表明土壤调理剂可以缓解土壤酸化和土壤疏松性和土壤肥力。本



□ 其他; ▨ 放线菌门(Actinobacteria); ▩ 浮霉菌门(Planctomycetes); ▪ 拟杆菌门(Bacteroidetes); ■ 疣微菌门(Verrucomicrobia); ▧ 芽单胞菌门(Gemmatimonadetes); ▦ 绿弯菌门(Chloroflexi); ▨ Patescibacteria; ▩ 酸杆菌门(Acidobacteria); ▪ 变形菌门(Proteobacteria)

CK, T1, T2, T3, T4 见表 1。

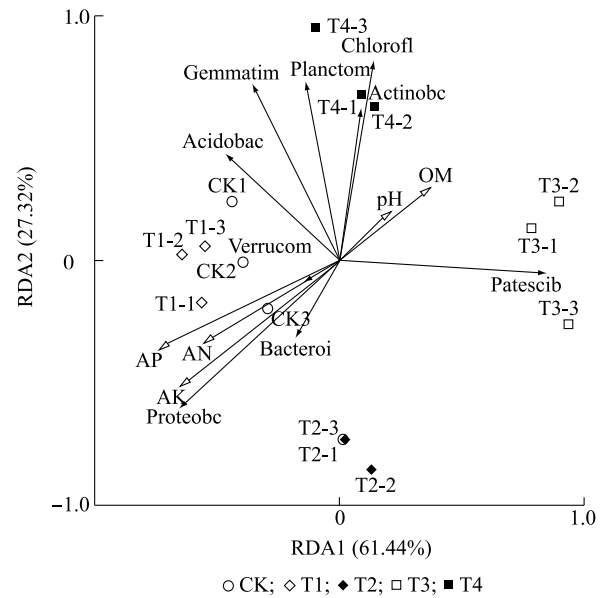
图 2 不同处理土壤门水平上的细菌相对丰度

Fig.2 Relative abundance of bacteria at the phylum level in soil under different treatments

试验结果发现, T4 处理土壤有机质含量较 CK 提高 12.56%, pH 提高 2.72%, 土壤容重降低 4.51%。原因可能是有机源调理剂含有较多的天然矿质元素及激活矿物质和土壤相互作用的有效成分进而改善土壤 pH, 这与前人研究结果一致^[27-28]。本试验中 T4 处理土壤有机质含量增加的原因可能是有机源调理剂自身含有大量有机质和易氧化物质, 能够作为碳源补充有机质含量^[29-30], 以及减氮处理后, 土壤 pH 趋于中性, 有利于有机源调理剂中有机物质的转化从而增加了有机质含量。

3.3 有机源调理剂对土壤细菌群落结构的影响

Chen 等^[31]的研究结果表明施用土壤调理剂对土壤中细菌群落结构有一定的影响。本试验发现 T1 处理的细菌群落丰富度高于 CK, PBA 为土壤细菌的优势菌门, 所有处理的 PBA 相对丰度均超过 22%, 远高于其他菌落水平。前人研究结果表明 PBA 属有益菌群, 且具有土壤固氮能力^[32-33], 这与



CK, T1, T2, T3, T4 见表 1。AP 是有效磷含量, AK 是速效钾含量, OM 是土壤有机质含量, AN 是碱解氮含量。

图 3 部分环境因子与主要细菌群落(门水平)的冗余分析

Fig.3 Redundancy analysis of some environmental factors and main bacterial communities (phylum level)

本研究中 T1 处理的 PBA 相对丰度最高, 且碱解氮含量最高结果一致。另外, PBA 相对丰度与 AP、AK、OM 含量呈正相关, 表明 PBA 可能是富营养环境中的优势菌门。本试验中随着基肥减量比率的增加, 拟杆菌门(BOS)细菌相对丰度呈现下降趋势, 这与富营养环境有利于 BOS 细菌生长的研究结果一致^[34]。ABA 在低养分环境中是优势菌门^[35], 且多为致病细菌, 本研究中, T1、T2 处理的 ABA 相对丰度低于其他 3 个处理, 可能与有机源调理剂增加土壤养分含量, 减肥处理降低养分含量有关。RDA 分析结果表明, 土壤有效磷含量、有效钾含量和有机质含量与微生物多样性密切相关, BOS 和 ABA 大多为致病细菌且与环境因子显著相关, T4 处理的根腐病发病率最低, 但 BOS 和 ABA 丰度不是最低, 可能是根腐病的发生与多种细菌共同调控致病有关。

4 结论

本研究中, 有机源调理剂 4 800 kg/hm² + 常规施肥处理(T1)对增加草莓产量和改善土壤细菌结构效果较好, 有机源调理剂 4 800 kg/hm² + 基肥减量 30% 处理(T4)对增加土壤有机质含量、改善团聚体结构和缓解土壤酸化效果较好。经济效益方面, 与 CK 相

比,T1处理的利润增加23.45%,T4处理的利润略有下降。因此,在草莓种植过程中建议使用T1处理。

参考文献:

- [1] 李晓青,王晓云,张晓申,等. 草莓启动培养技术研究[J]. 农业科技通讯,2016(2):132-133.
- [2] 张奇瑞,刘小林,徐胜光,等. 外源茉莉酸甲酯对连作草莓土壤养分和酶活性的影响[J]. 西南农业学报,2022,35(8):1764-1769.
- [3] 董华芳,饶家惠,许延波,等. 不同植物生长调节剂对红颜草莓园艺性状的影响[J]. 现代农业科技,2022(10):83-87.
- [4] 李亮杰,楚宗丽,张惠妹,等. 河南省草莓生产现状调查、经济效益分析及发展建议[J]. 中国果树,2022(7):91-96.
- [5] 陈廷钦. 土壤调理剂及应用进展[J]. 云南大学学报(自然科学版),2011,33(增刊1):338-342.
- [6] 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.
- [7] 赵慧渊. 实现化肥使用零增长的途径[J]. 农业技术与装备,2021(9):81-82.
- [8] 刘惠禹. 土壤调理剂“艾加1号”试验总结[J]. 吉林蔬菜,2015(5):34.
- [9] 程文娟,王建春,宋治文,等. 土壤调理剂应用效果研究[J]. 天津农林科技,2017(3):30-32.
- [10] 李智财. 绿色防控技术在玉米病虫害防治中的应用[J]. 南方农业,2021,15(27):15-16.
- [11] 孙蓓蓓,王旭. 土壤调理剂的研究和应用进展[J]. 中国土壤与肥料,2013(1):1-7.
- [12] 王勤俭,王峰,俞巧钢,等. 不同土壤调理剂对红黄壤黄桃园土壤及黄桃品质的影响[J]. 浙江农业科学,2022,63(8):1743-1747.
- [13] 谢仕祺,林正全,陈玉蓝,等. 不同土壤调理剂对植烟土壤养分及细菌群落的影响[J]. 河南农业大学学报,2021,55(3):523-530.
- [14] 任志荣. 农药减量增产技术在玉米病虫害防治中的应用分析[J]. 农家参谋,2021(16):75-76.
- [15] 周丽,高进华,解学仕,等. 含腐植酸土壤调理剂对酸性土壤改良苹果产量及品质的影响[J]. 腐植酸,2022(4):47-51.
- [16] 熊思健,陈绍荣. 新型腐殖酸土壤调理剂的作用机理和应用研究[J]. 化肥工业,2014,41(3):53-57.
- [17] 李夏雯,卢树昌. 调理剂对旱直播稻土壤物理性状、氮素吸收与迁移的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(22):216-222.
- [18] 李迪秦,任铮,祝利,等. 土壤调理剂与枯草芽孢杆菌菌剂配施对烟草生长发育及病害的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(10):88-94.
- [19] 李丹,王道泽,赵玲玲,等. 不同土壤改良剂对设施蔬菜土壤酸化的改良效果研究[J]. 中国农学通报,2017,33(27):112-116.
- [20] 戴黎,杜延全,朱建强. 几种土壤调理剂改良大棚种植草莓土壤的效果[J]. 中国土壤与肥料,2021(2):276-282.
- [21] 栗方亮,张青,王煌平,等. 土壤调理剂对蜜柚产量、品质及土壤性状的影响[J]. 中国农学通报,2018,34(6):39-44.
- [22] ZUO Y, ZHANG J, ZHAO R, et al. Application of vermicompost improves strawberry growth and quality through increased photosynthesis rate, free radical scavenging and soil enzymatic activity[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 233:132-140.
- [23] 高鑫,周军. 生物活性土壤调理剂对草莓土壤改良试验初报[J]. 农业科技通讯,2019(9):150-151,275.
- [24] 张丽萍,黄亚丽,程辉彩,等. 土壤微生物制剂防治草莓连作病害的研究[J]. 土壤,2007(4):604-607.
- [25] 张蕾,李萍,王维瑞,等. 轻度盐胁迫下土壤调理剂对设施黄瓜土壤肥力及生长发育的影响[J]. 北方园艺,2021(9):50-60.
- [26] 吴晨晨,吴健平,傅庆林. 土壤调理剂对雷笋产量及土壤理化性状的影响[J]. 浙江农业科学,2022,63(8):1758-1760.
- [27] 刘晓月,张燕,李娟,等. 4种土壤调理剂对稻田土壤pH值及有效态Cd含量的影响[J]. 湖南农业科学,2017(10):28-31.
- [28] 孙瑶,马金昭,傅国海,等. 土壤调理剂和生草互作对果园酸化土壤化学性质及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(2):61-68.
- [29] 陈士更,张民,丁方军,等. 腐植酸土壤调理剂对酸化果园土壤理化性状及苹果产量和品质的影响[J]. 土壤,2019,51(1):83-89.
- [30] CARAVACA F, MABOREKE H, KURTH F, et al. Synergists and antagonists in the rhizosphere modulate microbial communities and growth of *Quercus robur* L. [J]. Soil Biology & Biochemistry, 2015, 82:65-73.
- [31] CHEN D L, WANG X X, ZHANG W, et al. Persistent organic fertilization reinforces soil-borne disease suppressiveness of rhizosphere bacterial community[J]. Plant and Soil, 2020, 452(1/2):313-328.
- [32] 靳晓拓,马继勇,周彦好,等. 化肥减量配施有机肥下芒果园土壤细菌多样性及群落结构特征[J]. 热带作物学报,2019,40(6):1205-1212.
- [33] 王鹏,陈波,张华. 基于高通量测序的鄱阳湖典型湿地土壤细菌群落特征分析[J]. 生态学报,2017,37(5):1650-1658.
- [34] 于冰,宋阿琳,李冬初,等. 长期施用有机和无机肥对红壤微生物群落特征及功能的影响[J]. 中国土壤与肥料,2017(6):58-65.
- [35] ZHANG G S, MA X J, NIU F J, et al. Diversity and distribution of alkaliphilic psychrotolerant bacteria in the Qinghai-Tibet Plateau permafrost region[J]. Extremophiles, 2007, 11(3):415-424.

(责任编辑:石春林)