

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.21354

不同基肥措施对甜瓜产量和土壤性质、细菌多样性的影响

马 阳¹, 张立宏^{2*}, 张 培³, 苏美荣², 刘淑桥³, 刘胜蓝², 李旭光^{3*}

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 石家庄市鹿泉区农业技术推广中心, 河北 石家庄 050200; 3. 河北省耕地质量监测保护中心, 河北 石家庄 050051)

摘 要: 设施甜瓜种植作为河北省特色农业, 广泛存在连续种植、化肥农药过量施用, 造成土壤性质恶化、微生物群落失衡等问题, 设置了施用腐熟羊粪、土壤调理剂和生物有机肥的措施, 研究不同基肥措施对土壤理化性质、细菌多样性及甜瓜产量的影响。结果表明, 羊粪、土壤调理剂和生物有机肥平均提高 0 ~ 20 cm 土层土壤 pH 和可培养微生物总数 1.94% 和 9.10%, 降低土壤容重、水溶性盐总量和真菌数量 6.25%、24.68% 和 6.80%。与生物有机肥 (T1) 相比, 腐熟羊粪 (T2)、生物有机肥 + 土壤调理剂 (T3)、腐熟羊粪 + 土壤调理剂 (T4) 处理增加了变形菌门 (Proteobacteria)、酸杆菌门 (Acidobacteria) 和硝化螺旋菌门 (Nitrospirae) 等的丰度, 降低了绿弯菌门 (Chloroflexi)、拟杆菌门 (Bacteroidetes) 等的丰度, T3、T4 明显增加了土壤细菌丰度; T4 显著提高耕层土壤有效磷、速效钾、微生物数、细菌数和细菌 / 真菌 29.07%、57.65%、20.82%、21.07% 和 11.93%, 降低了土壤容重 6.68%, 增产 2.87%。综合比较, 腐熟羊粪 + 调理剂既能显著改良土壤微生态环境, 又能增产提质, 可以在河北省设施甜瓜栽培中推荐应用。

关键词: 甜瓜; 产量; 基肥措施; 土壤性质; 细菌多样性

设施栽培在我国农业生产中占据重要地位, 设施蔬菜作为农业设施栽培发展的代表产业, 其生产面积、产值、经济价值分别占全国蔬菜的 20%、35%、60%^[1]。随着社会生活水平的提高, 我国设施蔬菜栽培迅速发展, 由于经济和技术的原因, 连作成为设施栽培的常态^[2]。设施蔬菜生产中过度施用化肥问题普遍存在, 导致蔬菜硝酸盐累积, 肥料利用率降低, 菜地土壤肥力下降, 土壤出现次生盐渍化、微生态环境失衡, 从而影响蔬菜正常生长, 并且降低其产量和品质^[3-5]。

随着我国养殖产业化水平的提高, 大量畜禽粪便的不合理利用阻碍了畜牧业的可持续发展, 严重污染了周围环境^[6]。而畜禽粪便中富含有机质、氮、磷、钾等作物所需营养, 在土壤中易被矿化成为植物能够利用的营养元素, 可提高植物生长速率, 粪肥用作底物或部分培养基, 可实现畜禽粪便减量化、资源化^[7-8]。化肥和有机肥合理配施可改

善设施菜田土壤板结、酸化、养分流失等状况, 提高土壤肥力以及农产品产量和品质^[9-10]。研究表明, 有机无机配施能激发土壤微生物活性, 促进氮转化和固定, 根据作物需氮量减少化肥用量, 从而减少氮损失, 保证蔬菜产量^[11-13]。土壤调理剂在提升次生盐渍化土壤肥力、降低盐胁迫程度、促进黄瓜植株生长发育和增产提质方面具有显著效果^[14]。

目前设施蔬菜施用肥料以无机肥为主, 针对设施甜瓜连续种植中存在的化肥农药过量施用、土壤性质恶化、微生物群落失衡等问题, 本研究以设施甜瓜为研究对象, 研究腐熟羊粪、土壤调理剂和生物有机肥对土壤理化性质、细菌多样性, 甜瓜产量和品质的影响, 为河北省设施甜瓜生产中土壤环境改善提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2020 年 2 月 6 日至 7 月 20 日在河北省石家庄市鹿泉区石井乡石井村禾晟合作社 (114°18' E, 38°05' N) 设施大棚进行。供试甜瓜品种为金楼兰, 供试肥料及其他材料为腐熟羊粪、金正大土壤调理剂 I 型 (pH 8 ~ 10、N ≥ 3.0%、P₂O₅ ≥ 3.0%、CaO ≥ 15.0%、MgO ≥ 3.0%)、生物有机肥 (有

收稿日期: 2021-07-06; 录用日期: 2021-08-27

基金项目: 河北省化肥减量增效项目。

作者简介: 马阳 (1993-), 博士研究生, 主要从事土壤养分化学与调控研究。E-mail: 63999319@qq.com。

通讯作者: 张立宏, E-mail: luquantfz@126.com; 李旭光, E-mail: 314489681@qq.com。

机质 $\geq 40\%$ 、 $N+P_2O_5+K_2O \geq 5.0\%$ 、菌种 ≥ 2.0 亿 $\cdot g^{-1}$ ）、微动力生物菌剂、平衡复合肥（17-17-17）、生根膨果王菌剂（稀土型全水溶生物菌肥，菌种 ≥ 0.20 亿 $\cdot g^{-1}$ 、有机质 $\geq 20\%$ 、 $N+P_2O_5+K_2O \geq 8.0\%$ 、稀土黄腐酸钾 $\geq 38\%$ ）。供试土壤为壤质潮褐土，基本理化性状见表 1。

表 1 供试土壤基本理化性状

土壤深度 (cm)	pH	有机质 (g $\cdot$ kg ⁻¹)	全氮 (g $\cdot$ kg ⁻¹)	有效磷 (mg $\cdot$ kg ⁻¹)	速效钾 (mg $\cdot$ kg ⁻¹)	水溶性盐总量 (g $\cdot$ kg ⁻¹)
0 ~ 20	7.89	24.26	1.84	77.44	384.39	2.97

1.2 试验设计

试验共设计 4 个基肥处理：T1，生物有机肥；T2，腐熟羊粪；T3，生物有机肥 + 土壤调理剂；T4，腐熟羊粪 + 土壤调理剂。这些调理物质的用量均按照产品的

推荐用量使用。试验选择种植年限为 5 年的棚室，每个处理重复 3 次，随机区组排列。根据各处理施肥要求进行提前混匀，于 2 月 6 日施肥后进行旋耕（表 2），于 3 月 8 日进行定植、浇水，密度为 27000 株 $\cdot$ hm⁻²。

表 2 试验处理及不同基肥措施的底肥施用量

处理名称	处理代号	生物有机肥 (t $\cdot$ hm ⁻²)	腐熟羊粪 (m ³ $\cdot$ hm ⁻²)	土壤调理剂 (kg $\cdot$ hm ⁻²)
生物有机肥	T1	30	—	—
腐熟羊粪	T2	—	60	—
生物有机肥 + 土壤调理剂	T3	30	—	750
腐熟羊粪 + 土壤调理剂	T4	—	60	750

本试验各处理只有基肥不同，后面的追肥保持一致：于 3 月 8 日追施微动力生物菌剂 45 kg $\cdot$ hm⁻²；于 4 月 20 日追施微动力生物菌剂 45 kg $\cdot$ hm⁻²、平衡复合肥（17-17-17）150 kg $\cdot$ hm⁻²；于 5 月 11 日追施生根膨果王菌剂 300 kg $\cdot$ hm⁻²；于 5 月 20 日追施生根膨果王菌剂 300 kg $\cdot$ hm⁻²。其他田间病虫害防治和栽培管理等技术措施按照当地实际生产水平统一管理。6 月 11 日开始采收，7 月 20 日拉秧。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤理化性质测定

于试验布置前和甜瓜成熟期采集 0 ~ 20 cm 土层土壤，自然风干后过筛，采用电位法测定土壤 pH；油浴加热重铬酸钾氧化 - 容量法测定有机质；凯氏定氮法测定全氮；碳酸氢钠浸提 - 钼锑抗比色法测定有效磷；乙酸铵提取 - 火焰光度法测定速效钾；电导法测定水溶性盐总量^[15]。

1.3.2 土壤可培养微生物数量测定

成熟期采集 0 ~ 20 cm 土层土壤放到无菌袋中，将采集的土样低温保存运至实验室，4℃冷藏保存。采用稀释涂布平板法测定微生物数量，其中细菌培养采用牛肉膏蛋白胨培养基，真菌培养采用马丁氏

培养基，放线菌培养采用改良高氏一号培养基^[16]。

1.3.3 土壤微生物多样性分析

于成熟期采集 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。委托北京百迈客生物科技有限公司进行微生物多样性分析，基于 Illumina Miseq 测序平台，采用双末端测序法对细菌的 16S rDNA 基因的 V3 ~ V4 区进行扩增及测序。通过对 Reads 拼接过滤，在 97% 的相似水平下将序列分成不同的操作分类单元 OTU，并进行物种注释及丰度分析，揭示各处理样品的物种构成；进一步进行 Alpha 多样性分析、Beta 多样性分析和显著物种差异分析等。

1.3.4 甜瓜产量及糖度测定

果实成熟后，每个小区选取具有代表性甜瓜果实 5 个，根据小区面积折算产量，采用 PAL-1 型数显折射仪（日本爱拓）测定果实糖度 Brix 值。

1.4 统计分析

通过 Excel 2016 和 SPSS 21.0 对数据进行单因素方差分析，采用邓肯法（Duncan）进行检验差异显著性（ $P<0.05$ ）分析。采用 Mothur 1.30 进行 Alpha 多样性分析，QIIME 进行 Beta 多样性分析。利用 R

语言计算物种和环境因子的皮尔森相关系数,采用 Canoco 5.0 进行冗余分析(RDA)并作图。

2 结果与分析

2.1 基肥措施对甜瓜产量和糖度的影响

由表 3 可知,不同基肥措施下的甜瓜果实产量为 T3>T4>T1>T2,其中 T3 较 T1、T2 处理显著增产 4.60%、5.81%,T4 较 T2 处理显著增产 4.07%,而 T3 和 T4、T1 和 T2 处理间均无显著差异。与 T4 比,T1、T2 和 T3 处理的甜瓜糖度 Brix 值分别提高 4.84%、1.33% 和 5.75%,其中 T1、T3 与 T4 间差异达显著水平,T1、T2 和 T3 间差异不显著。以上表明生物有机肥配施土壤调理剂、腐熟羊粪配施土壤调理剂均能显著增加甜瓜产量;与施羊粪(T2、T4)相比,土壤增施生物有机肥平均可促进果实糖度提高 4.60%。

表 3 不同基肥措施下的甜瓜产量和糖度

处理	果实产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	糖度 Brix 值 (%)
T1	46980 ± 855bc	17.33 ± 0.13a
T2	46440 ± 173c	16.75 ± 0.24ab
T3	49140 ± 1230a	17.48 ± 0.33a
T4	48330 ± 495ab	16.53 ± 0.64b

注:同列数字后不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下同。

2.2 基肥措施对土壤理化性质的影响

由表 4 可知,不同基肥措施水溶性盐总量较试验前降低 9.13% ~ 39.80%,但差异不显著;与 T4 相比,T1、T2 和 T3 的土壤 pH 分别显著提高 1.97%、2.27% 和 2.14%;试验前后各处理土壤有机质无显著差异;T2 土壤全氮分别较 T1 和 T4 显著增加 32.92% 和 25.62%;与 T1 相比,T2 和 T4 的有效磷分别显著提高 23.86% 和 29.07%;与 T1 相比,T2、T3 和 T4 的速效钾含量分别显著提高 36.41%、29.95% 和 57.65%,与试验前相比,T4 显著提高土壤速效钾 35.03%。与试验前相比,各基肥措施试验后土壤 pH 提高 0.34% ~ 2.62%,其中 T1、T2、T3 达显著水平;各处理土壤容重平均降低 2.61% ~ 9.12%,其中 T4 达显著水平;T2、T3 和 T4 速效钾平均分别提高 16.84%、11.30% 和 35.03%,其中 T4 与试验前土壤速效钾间达显著水平;试验前土壤有机质、全氮和有效磷与试验后各处理平均含量变化差异不明显。以上表明,土壤增施生物有机肥、腐熟羊粪和土壤调理剂可提高表层土壤 pH,有效降低土壤容重和水溶性盐总量,试验前后土壤有机质、全氮和有效磷差异不大。

2.3 基肥措施对土壤可培养微生物数量的影响

由表 5 可知,不同基肥措施表层土壤可培养微生物、细菌、真菌数量、细菌/真菌均为

表 4 不同基肥措施下的 0 ~ 20 cm 土壤理化性质

处理	pH	容重 ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	全氮 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	水溶性盐总量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
试验前	7.89 ± 0.01b	1.31 ± 0.01a	24.26 ± 0.13a	1.84 ± 0.06ab	77.44 ± 3.00ab	384 ± 8.00bc	2.97 ± 0.10a
T1	8.07 ± 0.07a	1.28 ± 0.04ab	22.43 ± 0.83a	1.66 ± 0.29b	65.65 ± 10.20b	329 ± 17.35c	1.79 ± 0.06a
T2	8.10 ± 0.01a	1.23 ± 0.04ab	25.11 ± 4.01a	2.21 ± 0.24a	81.32 ± 8.27a	449 ± 65.98b	2.70 ± 1.30a
T3	8.09 ± 0.08a	1.22 ± 0.05ab	24.62 ± 1.69a	1.87 ± 0.14ab	75.92 ± 1.74ab	428 ± 16.08b	2.14 ± 0.14a
T4	7.92 ± 0.05b	1.19 ± 0.09b	26.12 ± 0.66a	1.76 ± 0.26b	84.74 ± 10.54a	519 ± 37.80a	2.32 ± 0.36a

表 5 不同基肥措施下的土壤可培养微生物数量

处理	微生物总数 ($\times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$)	细菌 ($\times 10^7 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$)	真菌 ($\times 10^4 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$)	放线菌 ($\times 10^6 \text{ cfu} \cdot \text{g}^{-1}$)	细菌/真菌 ($\times 10^3$)
试验前	5.51 ± 0.07b	5.19 ± 0.06b	7.29 ± 0.10a	3.19 ± 0.08a	0.74 ± 0.03c
T1	5.55 ± 0.29b	5.22 ± 0.25b	6.43 ± 0.36b	3.20 ± 0.37a	0.81 ± 0.03b
T2	6.04 ± 0.12b	5.72 ± 0.12b	6.91 ± 0.04ab	3.12 ± 0.43a	0.83 ± 0.02b
T3	5.77 ± 0.63b	5.42 ± 0.59b	6.71 ± 0.55ab	3.37 ± 0.59a	0.81 ± 0.02b
T4	6.70 ± 0.04a	6.32 ± 0.08a	7.12 ± 0.17a	3.74 ± 0.49a	0.89 ± 0.01a

T4>T2>T3>T1，放线菌数量为 T4>T3>T1>T2。T4 的土壤可培养微生物总数、细菌数、细菌/真菌较其他处理分别显著提高 10.88% ~ 19.89%、10.55% ~ 21.07%、7.30% ~ 9.95%，T4 真菌数较 T1 显著提高 10.78%，其他各处理间差异均不显著。与试验前相比，试验后土壤可培养微生物、细菌、放线菌数量分别提高 9.10%、9.35%、5.17%，细菌/真菌显著提高 11.93%，真菌数量降低 6.80%，其中 T4 的微生物、细菌数量与试验前差异达显著水平。说明土壤增施生物有机肥、腐熟羊粪、土壤调理剂可改善表层土壤可培养微生物数量，降低土壤真菌数，其中 T4 处理改善土壤微生态的效果最佳。

表 6 不同基肥措施下的土壤细菌群落 Alpha 多样性指数

处理	OTU	Simpson 指数	Shannon 指数	Chao1 指数	ACE 指数	覆盖率
T1	1248	0.0095	5.7039	1288.50	1282.32	0.9988
T2	1226	0.0062	5.9711	1288.51	1280.61	0.9954
T3	1316	0.0054	6.0728	1334.34	1333.52	0.9988
T4	1322	0.0048	6.1954	1335.14	1333.74	0.9988

2.5 基肥措施对土壤细菌群落丰度及组成的影响

图 1 表明，当测序量超过 30000 条时，整个曲线趋于平缓，表明该测序文库已经达饱和。不同处理用不同颜色表示，不同颜色图形之间交叠部分数字为 2 个处理之间共有的特征个数（OTU 数目）。

2.4 基肥措施对土壤细菌群落 Alpha 多样性的影响

对土壤样品中 16S rDNA 基因的 V3 ~ V4 区进行测序，共获得细菌有效序列 368497 个，这些序列在 97% 的相似性水平上被划分为 1226 ~ 1322 个 OTU，土壤细菌文库覆盖率 99%。不同基肥措施土壤细菌多样性 Chao1 和 ACE 指数反映出 T3 和 T4 处理的物种丰度明显高于 T1 和 T2，其中 T3 和 T4 间、T1 和 T2 间的物种丰度差异不大。Shannon 指数表现出 T4>T3>T2>T1，Shannon 和 Simpson 指数反映出 T4 和 T3 的物种多样性最高，其次是 T2，T1 的物种多样性最低。以上表明，土壤施生物有机肥配合土壤调理剂、施腐熟羊粪配合土壤调理剂明显提高了表层土壤的细菌群落多样性。

不同基肥措施处理的共有细菌 OTU 数量为 1100，与 T1 相比，T2、T3、T4 的特异性细菌 OTU 数量分别为 97、102、100，与 T2 相比，T1、T3、T4 的特异性细菌 OTU 数量分别为 117、104、115，说明与 T1 和 T2 相比，T3、T4 的特异性细菌 OTU 数量较多。

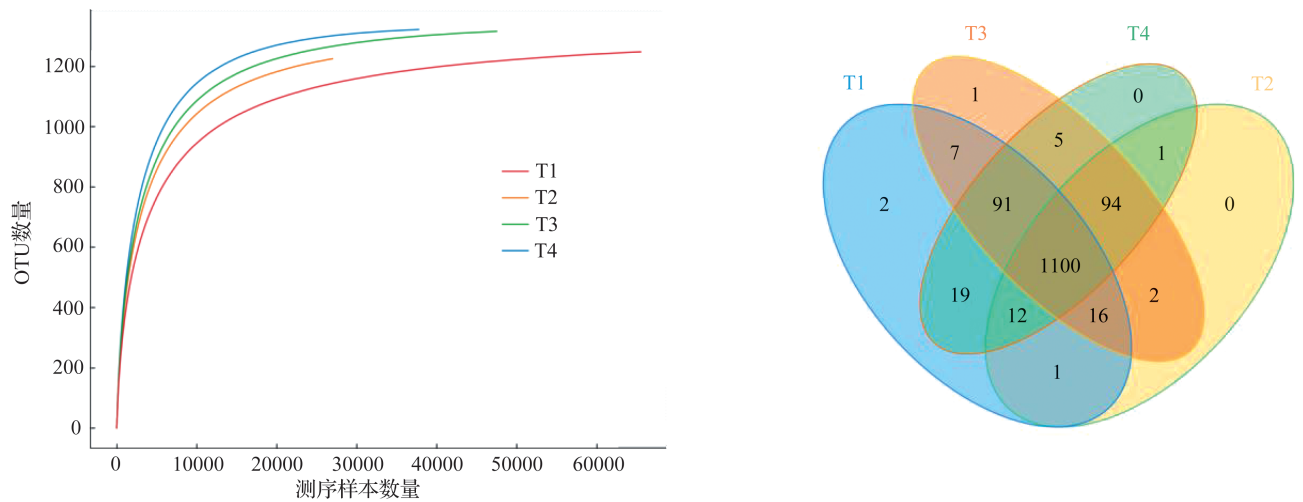


图 1 不同基肥措施下的土壤细菌群落高通量测序文库稀释曲线及韦恩图

由图2可知,在门水平(图2左)下,不同基肥措施处理相对丰度最高的菌门为变形菌门(Proteobacteria)占28.60%~36.09%,随后依次是酸杆菌门(Acidobacteria)占12.98%~27.30%、绿弯菌门(Chloroflexi)占8.23%~14.82%、放线菌门(Actinobacteria)占7.81%~9.33%、芽单胞菌门(Gemmatimonadetes)占7.13%~9.46%、拟杆菌门(Bacteroidetes)占2.53%~9.79%、浮霉菌门(Planctomycetes)占0.80%~4.08%、Patescibacteria占0.50%~7.88%,低于4.0%的有己科河菌门(Rokubacteria)、硝化螺旋菌门(Nitrospirae)和其他。与T1相比,T2、T3、T4的变形菌门(Proteobacteria)、酸杆菌门(Acidobacteria)、己科河菌门(Rokubacteria)、硝化螺旋菌门(Nitrospirae)的丰度增加,绿弯菌门(Chloroflexi)、拟杆菌门(Bacteroidetes)、Patescibacteria的丰度降低。在纲水平(图2右)下,不同基肥措施处理相对丰度较高的有 γ -变形菌纲(Gammaproteobacteria)占14.36%~16.90%, α -

变形菌纲(Alphaproteobacteria)占4.86%~14.64%,Subgroup_6占4.26%~16.98%,芽单胞菌纲(Gemmatimonadetes)占6.20%~8.26%, δ -变形菌纲(Deltaproteobacteria)占5.73%~7.09%,拟杆菌纲(Bacteroidia)占2.45%~9.62%,Blastocatellia_Subgroup_4占3.27%~4.44%,酸微菌纲(Acidimicrobiia)占2.48%~5.14%,低于4%的有厌氧绳菌纲(Anaerolineae)、KD4-96和其他。与T1相比,T2、T3、T4的 α -变形菌纲(Alphaproteobacteria)、Subgroup_6、Blastocatellia_Subgroup_4、酸微菌纲(Acidimicrobiia)丰度增加, γ -变形菌纲(Gammaproteobacteria)、拟杆菌纲(Bacteroidia)、厌氧绳菌纲(Anaerolineae)、KD4-96丰度降低。变形菌门含有丰富的固氮细菌,放线菌门和拟杆菌门多为致病细菌,硝化螺旋菌门可将亚硝酸盐氧化成硝酸盐,表明土壤施生物有机肥配合调理剂、施腐熟羊粪配合调理剂均可增强土壤固氮能力,提升土壤抵御外来病原体的能力。

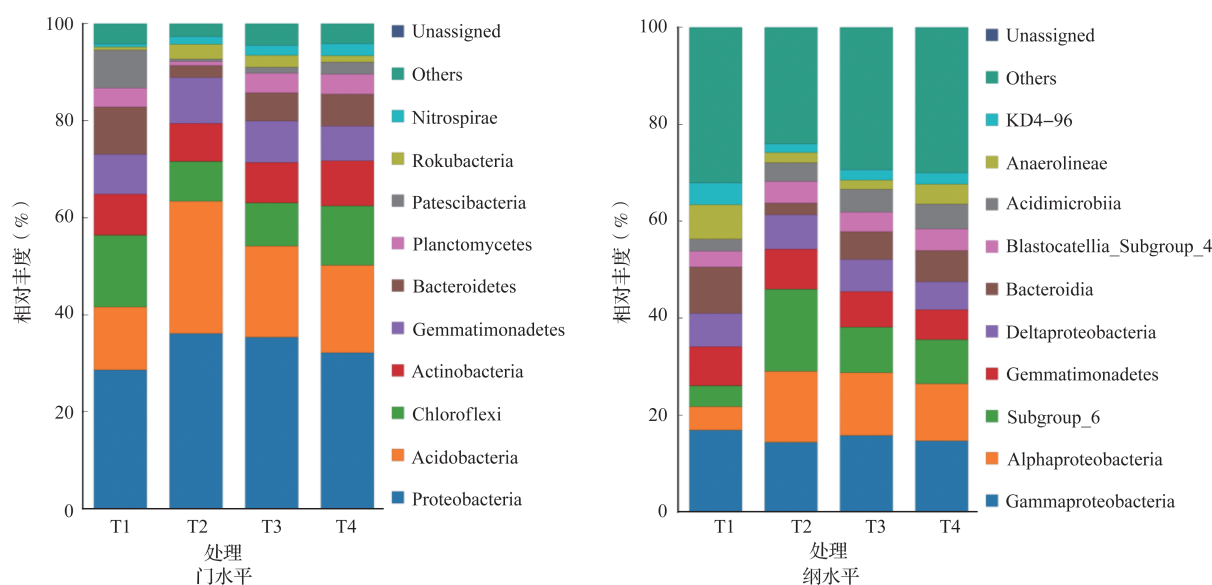


图2 门和纲水平上最大丰度排名前10的物种相对丰度

2.6 部分环境因子与主要细菌群落间的关系

采用冗余分析(RDA)表明(图3),2个主要轴特征值分别为60.6%和28.46%,相关系数为0,RDA分析结果可信。不同基肥措施细菌群落变化差异明显,T1、T4处理在第一排序轴的正端,T2与T3在第一排序轴的负端;T1和T2处理在第二排序轴的正端,T3和T4处理在第二排序轴的负端。第一轴排序与土壤有机质、全氮和水溶性盐含量均呈负相关。土壤水溶性盐总量、有机质、速效

钾均与细菌群落中硝化螺旋菌门(Nitrospirae)、变形菌门(Proteobacteria)、己科河菌门(Rokubacteria)、酸杆菌门(Acidobacteria)呈正相关,与Patescibacteria、绿弯菌门(Chloroflexi)、拟杆菌门(Bacteroidetes)呈负相关;此外,土壤全氮和水溶性盐含量还与芽单胞菌门(Gemmatimonadetes)呈正相关,与放线菌门(Actinobacteria)、浮霉菌门(Planctomycetes)呈负相关。

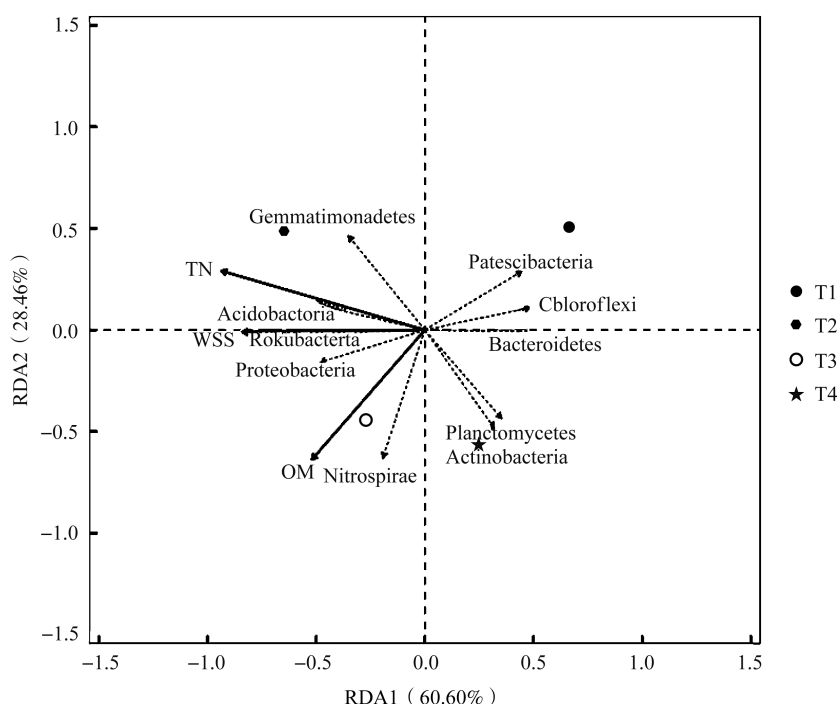


图3 不同基肥措施部分环境因子与主要细菌群落(门水平)的冗余分析

注: OM, 土壤有机质; TN, 土壤全氮; WSS, 土壤水溶性盐总量。

3 讨论与结论

因连作种植、过量施用化肥造成的土壤微生态失衡、次生盐渍化已成为制约设施甜瓜生产的突出问题,通过施用生物有机肥、腐熟粪肥、土壤调理剂可改良土壤环境^[17-18]。本研究表明,土壤增施生物有机肥、腐熟羊粪和土壤调理剂可提高表层土壤 pH 0.34% ~ 2.62%,有效降低土壤容重和水溶性盐总量 2.61% ~ 9.12% 和 9.13% ~ 39.80%,提高可培养微生物总数 9.10%,降低土壤真菌数 6.80%。其中 T4 (腐熟羊粪 60 m³ · hm⁻² + 调理剂) 提高了土壤有机质、有效磷、速效钾含量,增加了土壤微生物、细菌、放线菌数量,降低了土壤容重的效果最佳, T1 (生物有机肥 30 t · hm⁻²) 降低土壤水溶性盐总量、真菌数的效果最佳。较 T1 相比, T4 分别显著提高了土壤有效磷、速效钾、微生物数、细菌数、细菌/真菌 29.07%、57.65%、20.82%、21.07%、11.93%,降低土壤容重 6.68%,增产 2.87%,甜瓜糖度差异不显著。表明施用腐熟羊粪配合土壤调理剂较单施生物有机肥更能改善土壤理化性质,平衡土壤微生态,进而促进甜瓜增产。

刘晓月等^[19]在研究中发现,土壤调理剂由多种天然矿物质组成,并添加将矿物质与土壤相互

激活的有机活性成分,可改善土壤 pH,有机肥施入土壤,有机官能团加强了对 H⁺ 和 Al³⁺ 的吸附作用,有机肥矿化过程中发生有机阴离子脱羧基化,并且释放碱性物质(钙、镁等),致使土壤 pH 上升^[20-21];连作和不合理施肥会引起土壤细菌数量下降、真菌数量上升,土壤从“细菌型”向“真菌型”转化,导致土壤性质和土壤微生物多样性改变,使碳、氮、磷养分循环受阻,土壤中有益细菌丰度降低、病原真菌丰度和病害程度增加^[22-23]。郑立伟^[24]和曲成闯等^[17]研究表明,设施蔬菜连作使土壤供肥能力下降、养分失调,微生物群落结构趋向于真菌化状态,生物有机肥含有较多的有机质和活性微生物,肥效持续时间长,能有效提高土壤养分含量及土壤细菌数量,对真菌数量产生抑制作用,同时促进作物生长。张蕾等^[25]、孙瑶等^[26]在研究中得出,土壤调理剂可以通过改善土壤结构,平衡土壤酸碱性,使土质疏松,利于土壤微生物对土壤中氮素的固持作用,提升土壤肥力,增加土壤微生物数量,降低盐胁迫程度,促进设施蔬菜生长发育和增产提质。

本研究中,生物有机肥配施调理剂和腐熟羊粪配施调理剂土壤细菌物种丰度和多样性均较单施生物有机肥和腐熟羊粪高。与 T1 (生物有机肥) 相比,

T2、T3、T4 的变形菌门 (Proteobacteria)、酸杆菌门 (Acidobacteria)、己科河菌门 (Rokubacteria)、硝化螺旋菌门 (Nitrospirae) 丰度增加, 绿弯菌门 (Chloroflexi)、拟杆菌门 (Bacteroidetes)、Patesciobacteria 丰度降低, 表明各处理均可增强土壤固氮能力, 也可提升土壤抵御外来病原体的能力, 其中 T4 处理效果更佳, 土壤微生物多样性最丰富。RDA 分析表明, 土壤有机质、全氮、水溶性盐总量均与微生物多样性关系密切。霍朝晨等^[27]研究也发现土壤养分和水溶性盐含量是影响土壤细菌群落的重要土壤因子。土壤调理剂中的天然矿物、酵母残渣可改善土壤结构, 平衡酸碱性, 提高保水保肥能力, 降低土壤盐渍化, 有利于微生物生长; 有机肥和腐熟粪肥为土壤微生物生长发育提供营养, 促进有机质分解, 增加和平衡土壤养分含量^[28-29]。

综上所述, 生物有机肥、腐熟羊粪和调理剂均可不同程度提高表层土壤微生物数量, 改善微生物群落结构的多样性和丰富度, 提升表层土壤养分含量。土壤施腐熟羊粪配施土壤调理剂处理的效果最佳, 在生产中建议推荐使用。

参考文献:

- [1] Liang L, Ridoutt B G, Lal R, et al. Nitrogen footprint and nitrogen use efficiency of greenhouse tomato production in North China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 208 (20): 285-296.
- [2] Zhou X, Wu F. Dynamics of the diversity of fungal and Fusarium communities during continuous cropping of cucumber in the greenhouse [J]. *Fems Microbiology Ecology*, 2012, 80 (2): 469-478.
- [3] Liu T, Cheng Z H, Meng H W, et al. Growth, yield and quality of spring tomato and physicochemical properties of medium in a tomato/garlic intercropping system under plastic tunnel organic medium cultivation [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 170: 159-168.
- [4] Zhao F, Zhang Y, Dong W, et al. Effects of amendments on base cation and micronutrient availabilities in soils planted with tomato in a solar greenhouse [J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2018, 64 (6): 782-792.
- [5] 王玉敏, 张恩平, 张淑红, 等. 有机与无机氮肥配施对设施栽培菜田土壤肥力及产量的影响 [J]. *北方园艺*, 2008 (9): 63-65.
- [6] 赵玉海, 张丁丁, 王鑫. 浅谈畜禽粪便、秸秆等有机废弃物肥料化的研究现状 [J]. *再生资源与循环经济*, 2018, 11 (9): 15-17.
- [7] Liu Z, Howe J, Wang X, et al. Use of dry dairy manure pellets as nutrient source for tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) growth in soilless media [J]. *Sustainability*, 2019, 11 (3): 1-12.
- [8] 王亚杰, 倪圣亚, 薛民琪, 等. 浅谈沿海地区农业废弃物资资源化利用的现状——以盐城市利用畜禽粪便生产有机肥为例 [J]. *农业科技通讯*, 2018 (8): 204-206.
- [9] 王丽英, 张彦才, 赵梅素, 等. 以氮磷推荐有机肥对温室番茄干物质、产量和品质的影响 [J]. *华北农学报*, 2013, 28 (3): 121-126.
- [10] 戚兴超. 有机无机肥配施对设施番茄生长和土壤生态环境因子的影响及其机制 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [11] 罗佳, 王同, 刘丽珠. 水葫芦有机肥与化肥配施对青椒生长、产量和氮素利用率的影响 [J]. *江西农业学报*, 2015, 27 (4): 19-23.
- [12] 李盟军, 姚建武, 王荣辉, 等. 不同养分管理措施下常年菜地蔬菜生长及氮素径流特征 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (5): 1190-1199.
- [13] Min J, Zhang H L, Shi W M. Optimizing nitrogen input to reduce nitrate leaching loss in greenhouse vegetable production [J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 111 (4): 53-59.
- [14] 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.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第3版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
- [17] 曲成闯, 陈效民, 张志龙, 等. 生物有机肥提高设施土壤生产力减缓黄瓜连作障碍的机制 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25 (5): 814-823.
- [18] 吴峰. 化肥与牛粪肥配施对设施黄瓜增产提质及氮肥利用效率的研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- [19] 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.
- [20] Hue N V. Alleviating soil acidity with crop residues [J]. *Soil Science*, 2011, 176 (10): 543-549.
- [21] 李志安, 邹碧, 丁永祯, 等. 植物残茬对土壤酸度的影响及其作用机理 [J]. *生态学报*, 2005, 25 (9): 2382-2388.
- [22] 李春格, 李晓鸣, 王敬国. 大豆连作对土体和根际微生物群落功能的影响 [J]. *生态学报*, 2006, 26 (4): 1144-1150.
- [23] 韩海蓉, 李屹, 陈来生, 等. 设施辣椒连作对土壤理化性状、酶活性及微生物区系的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2021 (3): 237-242.
- [24] 郑立伟. 生物有机肥对甜瓜连作土壤的改良效果研究 [D]. 石家庄: 河北经贸大学, 2020.
- [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] 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.
- [27] 霍朝晨, 赵铎, 何水清, 等. 盐碱土旱田改水田后其理化性质与微生物多样性差异 [J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2020, 32 (1): 60-66.
- [28] 马茜, 武守朝, 赖德强, 等. 微生物菌剂与有机肥配施对设施土壤盐渍化以及甜瓜产量和品质的影响 [J]. 河北农业科学, 2020, 24 (4): 62-66.
- [29] 刘肖肖, 董元华, 李建刚. 不同土壤改良剂对番茄青枯病的防治效果 [J]. 农业环境科学学报, 2013, 32 (7): 1368-1374.

Effects of different basal fertilizer measures on muskmelon yield, soil properties and bacterial diversity

MA Yang¹, ZHANG Li-hong^{2*}, ZHANG Pei³, SU Mei-rong², LIU Shu-qiao³, LIU Sheng-lan², LI Xu-guang^{3*}
(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding Hebei 071000; 2. Agricultural Technology Extension Center of Luquan, Shijiazhuang Hebei 050200; 3. Hebei Cultivated Land Quality Monitoring and Protection Center, Shijiazhuang Hebei 050051)

Abstract: As a characteristic agriculture of Hebei province, facility melon cultivation has widespread problems such as continuous planting and excessive application of fertilizers and pesticides, which can cause the deterioration of soil properties and the imbalance of micro-ecological flora. Three basal fertilizers were adopted, including decomposed sheep manure, soil conditioners and bio-organic fertilizers. The effects of different base fertilizer measures on soil physical and chemical properties, bacterial diversity and melon yield were studied. The results showed that sheep manure, soil conditioner and bio-organic fertilizer increased the pH of 0 ~ 20 cm soil layer and the total number of cultivable microorganisms by 1.94% and 9.10% on average, and decreased soil bulk density, total water-soluble salt and fungi count by 6.25%, 24.68% and 6.80%, respectively. Compared with bio-organic fertilizer (T1), decomposed sheep manure (T2), bio-organic fertilizer+soil conditioner (T3) and decomposed sheep manure+soil conditioner (T4) treatments increased the abundance of Proteobacteria, Acidobacteria, Nitrospirae, etc., and decreased the abundance of Chloroflexi, Bacteroidetes, etc., T3 and T4 significantly increased the abundance of soil bacteria. Compared with T1, T4 significantly increased the available phosphorus, available potassium, microbial count, bacteria count, and bacteria/fungus of the cultivated layer by 29.07%, 57.65%, 20.82%, 21.07% and 11.93%, respectively, reduced soil bulk density by 6.68%, and increased yield by 2.87%. By comprehensive comparison, decomposed sheep manure+conditioner can not only significantly improve the soil micro-ecological environment, but also increase yield and quality, and can be recommended for application in facility muskmelon cultivation in Hebei province.

Key words: muskmelon; yield; basal fertilizer measures; soil properties; bacterial diversity