

文章编号: 1674-7054(2019)04-0352-08

联合施用微生物菌剂和氨基酸水溶肥对哈密瓜土壤性质及细菌群落结构的影响

齐 钊¹, 张曼丽², 闫 臻¹, 徐 敏¹, 李相煌²,
马 叶², 熊 睿¹, 柳晓磊², 汤 华¹

(1. 海南大学 热带生物资源可持续利用重点实验室/热带作物学院, 海口 570228;

2. 海南省植物保护总站, 海口 571100)

摘 要: 为了研究施用复合微生物菌剂和氨基酸水溶肥组合对土壤性质及微生物群落结构的影响, 笔者在海南省乐东市开展了哈密瓜大田施肥试验, 对哈密瓜不同生长阶段的土壤进行土壤理化性质测定及土壤微生物高通量测序。结果表明: (1) 处理组土壤碱解氮和速效钾含量升高; 根结线虫和腐生线虫含量降低。(2) 土壤微生物高通量测序显示, 处理组土壤细菌菌群结构相对稳定, 无菌群异常现象。处理组 and 对照组间关系较远, 组内关系较近。(3) 处理组较对照组而言, 门水平上相对丰度最高的是 Proteobacteria(变形菌门)、Acidobacteria(酸杆菌门); 纲水平上含有致病菌种的 Alphaproteobacteria(α -变形菌纲) 和 Gammaproteobacteria(丙型变形菌纲) 相对丰度降低; 目水平上具有硝化作用和促进氮素利用效率的 Nitrosomonadales(亚硝化单胞菌目) 相对丰度升高, 能够产生有益次生代谢产物的 Myxococcales(黏球菌目) 相对丰度升高。实验结果显示, 联合施用复合微生物菌剂和氨基酸水溶肥, 对土壤理化性质和细菌群落结构具有明显的改善作用。

关键词: 哈密瓜; 微生物菌剂; 氨基酸水溶肥; 土壤细菌群落; 高通量测序; 土壤理化性质

中图分类号: S 625.5⁺4

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdsxb.2019.04.008

在我国农业生产过程中, 化肥在提高作物产量方面作出了巨大贡献。然而, 过量施肥不仅导致生产成本上升、农作物品质下降、产量递减, 而且还引发了严重的农业面源污染, 造成水体富营养化、耕地质量退化^[1-3]等环境问题。微生物菌剂和氨基酸水溶肥具有经济、高效、无污染等特点, 已广泛应用于农业生产。研究表明, 微生物菌剂对菠菜、黄瓜等有促生及壮苗的功能^[4-5], 对小麦纹枯病及根腐病有很好的防治效果^[6]。氨基酸水溶肥富含活性肽、氨基酸、钙元素和天然生长活性物质等, 能够提高辣椒、小白菜、小麦等蔬菜和作物的产量和品质^[7-9]。复合微生物菌剂含有枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌等大量的有益活菌物质及多种天然发酵活性物质, 能在根部土壤繁殖, 形成有利于作物生长的微生物优势菌群, 恢复土壤微生态平衡, 而且还能产生各类植物生长激素, 刺激植物生长。氨基酸水溶肥易于被作物吸收, 也能为枯草芽孢杆菌提供营养物质, 有利于微生物菌扩繁^[10]。联合施用微生物菌肥和氨基酸水溶肥可能是解决农作物高产与病害防治等问题的有效措施, 但目前相关研究相对较少。因此, 笔者通过联合施用复合微生物菌剂和氨基酸水溶肥于哈密瓜, 研究施用土壤的细菌群落结构变化及土壤理化性质的变化趋势, 旨在为两者联合施用提供理论依据。

收稿日期: 2019-04-23

修回日期: 2019-05-28

基金项目: 海南省重点研发项目(ZDYF2018080); 国家自然科学基金(31360364); 海南省植保总站横向合作课题(HD-KYH-2017157)

作者简介: 齐钊(1989-), 女, 海南大学热带作物学院2018级博士研究生. E-mail: island517@126.com

通信作者: 张曼丽(1981-), 女, 高级农艺师, 硕士. 研究方向: 昆虫行为学. E-mail: manlizhang3@126.com;

汤华(1974-), 男, 教授, 博士生导师. 研究方向: 作物遗传育种与分子生物学. E-mail: thtiger@163.com

1 材料与方法

1.1 供试材料及样品采集 氨基酸水溶肥, 商标名为“霖田”, 登记证号为农肥(2015)临字8794号, 有效成分: 氨基酸 = $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $\text{Mn} + \text{Zn} + \text{P} + \text{Fe} = 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$; 复合微生物菌剂, 商标名为“霖田甘露”, 登记证号为微生物肥(2014)临字(2378)号, 有效成分: 枯草芽孢杆菌 + 地衣芽孢杆菌 + 解淀粉芽孢杆菌 = $2 \text{ 亿个} \cdot \text{mL}^{-1}$, 两者均由海南霖田农业生物技术有限公司研制生产。

试验时间: 2016年10—12月。试验选择在海南省乐东县的哈密瓜种植基地进行, 哈密瓜品种为‘西州蜜’。灌溉设施为滴灌。试验共设置2个处理: 不施肥料, 只用清水滴灌为对照组(HC); 复合微生物菌剂与氨基酸水溶肥联合施用为处理组(HE), 每个处理4次重复, 共8个小区, 每个小区面积 0.33 hm^2 , 其他的田间管理正常进行。取样分3个时期, 分别是施肥前期(哈密瓜苗移栽恢复后第5天, CK)、定植期(施肥后约1个月)、结果期(施肥后约2个月)。取样时间点分别是10-21, 11-16, 12-21。对土壤进行棋盘式取样, 每小区4个点, 选取深度5~15 cm的土样, 将所取土样混合均匀后进行检测。

1.2 土壤理化性质的检测 土壤碱解氮的测定采用碱解蒸馏法, 有效磷的测定参照 NY/T1121.7—2014, 速效钾的测定参照 NY/T889—2004, 有机质的测定参照 NY/T1121.6—2006, pH值的测定参照 NY/T1121.6—2016, 线虫检测参照改良后贝曼漏斗法。

1.3 高通量测序 土壤微生物DNA提取用 Genbank 土壤微生物DNA提取试剂盒进行提取, 取质量合格的DNA样品送北京百迈客生物科技有限公司, 由该公司采用 Illumina Miseq 测序平台对样品进行高通量测序及基础分析。

1.4 数据处理 采用 Excel 2016 和 SPSS21 邓肯(Duncan)新复极差($P < 0.05$)对数据进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同时期不同处理哈密瓜土壤氮磷钾含量的变化 从表1可知, 与施肥前(CK)相比, 清水处理(HC)和施肥处理(HE)条件下的碱解氮、有效钾含量都有不同程度的下降。这是由于哈密瓜在不同的生长发育期, 需要的营养不同所致(前期需要大量的氮肥, 等果实长大, 果皮开始拉出网纹时, 对钾肥的需求较高)。所以, 随着时间的推移, 土壤的碱解氮、有效钾含量都会有不同程度的下降, 但与清水组相比, 施肥组的碱解氮、有效钾含量下降得比较少, 这可能与施肥补充了一些营养元素有关。定植期哈密瓜对营养的需求量提高, 由于菌肥联用补充了相关营养, 因此, 除碱解氮外, 定植期施肥组有效磷和速效钾含量变化不明显。结果期两组处理的土壤理化性质差异不显著, 表明菌肥联用对哈密瓜提供了更多营养。不同处理的氮磷钾的含量随时间的变化而变化的趋势大致相同。综上所述, 复合微生物菌剂和氨基酸水溶肥的联合施用对改善土壤性质具有一定的作用。

表1 不同时期不同处理下土壤氮磷钾含量的变化

Tab.1 Changes in NPK contents of soil under different treatments

$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

项目	施肥前 CK	清水组 Control group		处理组 Treatment group	
		定植期 HC1	结果期 HC2	定植期 HE1	结果期 HE2
碱解氮 AN	$57.46 \pm 9.89\text{a}$	$19.64 \pm 7.04\text{c}$	$28.11 \pm 4.56\text{bc}$	$41.00 \pm 5.67\text{b}$	$30.42 \pm 4.00\text{bc}$
有效磷 AP	$209.03 \pm 10.28\text{a}$	$134.30 \pm 14.24\text{b}$	$34.21 \pm 3.82\text{c}$	$207.71 \pm 20.4\text{a}$	$35.06 \pm 3.33\text{c}$
速效钾 AK	$65.63 \pm 11.98\text{a}$	$40.50 \pm 7.55\text{a}$	$44.50 \pm 11.93\text{a}$	$55.75 \pm 12.07\text{a}$	$61.3 \pm 13.32\text{a}$

注: 同一行数据后的字母代表不同时期不同处理间的差异显著性($P < 0.05$), 下同

Note: The lowercase letters in the same line mean significant difference at 0.05 level, similarly hereinafter

2.2 不同时期不同处理的土壤 pH、有机质和线虫含量变化 土壤有机质是土壤固相部分的重要组成部分,能改善土壤的物理性质,是土壤肥力的基础,是衡量土壤肥力的重要指标。如表 2 所示,清水组和处理组与施肥前相比,其 pH 并没有显著变化。在清水组和处理组中,有机质都是下降的,但是处理组的下降幅度小,说明处理组有利于保持土壤有机质。根结线虫寄生于作物和蔬菜中,严重影响产量,本研究中,HE 组的根结线虫和腐生线虫的数量都有明显的下降。对于清水组 HC,在定植期时腐生线虫大面积爆发,数量较 CK 组增长了 10 倍之多,值得注意的是,同一时期其有机质含量明显升高,说明两者可能具有一定的相关性;对于处理组 HE,腐生线虫数量较 CK 组只增长了 2 倍,有效抑制了腐生线虫的繁殖,在结果期,根结线虫基本消失。可见,复合微生物菌剂和氨基酸水溶肥联合施用后,能有效抑制土壤中线虫的数量。

表 2 不同时期不同处理下土壤 pH、有机质和线虫含量的变化

Tab.2 Changes in pH, OM content and number of nematodes of soil under different treatments

理化性质 Physical and Chemical Properties	施肥前 CK	清水组 HC Control group		处理组 HE Treatment group	
		定植期 HC1	结果期 HC2	定植期 HE1	结果期 HE2
pH 值	6.71 ± 0.44a	6.52 ± 0.06a	6.46 ± 0.17a	6.57 ± 0.17a	6.32 ± 0.21a
有机质 OM/%	1.17 ± 0.17bc	1.49 ± 0.17a	0.69 ± 0.10d	1.38 ± 0.15ab	0.95 ± 0.18cd
每 200 mL 土根结线虫条数 RN	17 ± 9.71ab	25 ± 20.79a	18 ± 12.87ab	13 ± 9.74ab	1 ± 1.00c
每 200 mL 土腐生线虫条数 SN	10 ± 6.23a	118 ± 12.74c	73 ± 44.24b	21 ± 11.20ab	15 ± 2.38a

2.3 哈密瓜土壤细菌群落的测序序列统计 通过对土壤样品进行基于 16SrRNA 的高通量测序,所有样品共获得 354 713 个有效序列,基于相似度 97% 进行聚类分析,得到 OTUs 数为 6 968(表 3)。本研究中的 6 组处理覆盖度均高于 99.7%(表 3),稀疏曲线和香农曲线(图 1)趋于平缓,表明不同处理土壤细菌所测序列库容都可以较好地反映细菌群落的种类与数量,基本涵盖了设施土壤中所有细菌种群,说明测序数据充分可靠。

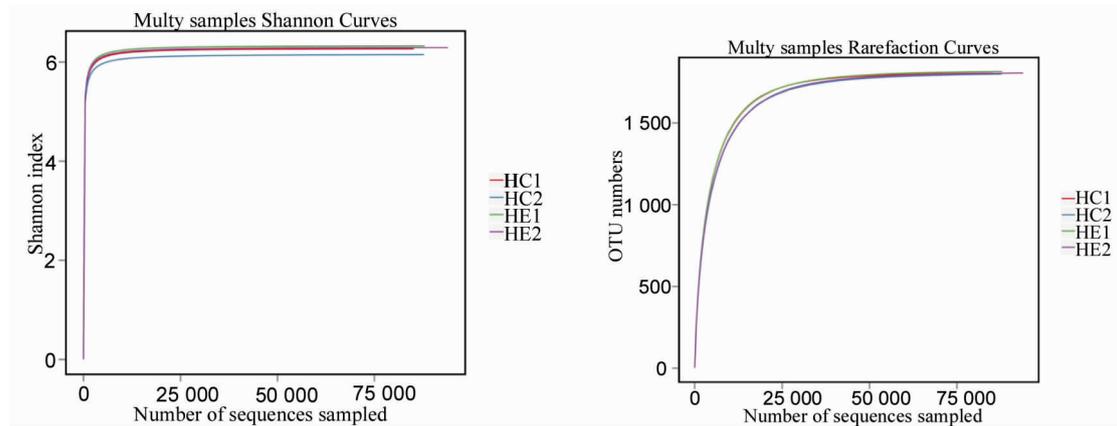


图 1 土壤细菌的香农曲线和稀疏曲线

Fig. 1 Shannon curve and rarefaction curve analysis of OTUs of the bacterial in soil

2.4 不同处理下哈密瓜土壤细菌的 α - 多样性分析 表 3 为依据细菌 OTUs 数量计算的各处理土壤细菌 α - 多样性指数(相似度为 97%)。从表 3 可以看出,HE 组土壤细菌 Chao I 指数和 Shannon 指数均高于 HC 组。施肥 1 个月后,HE1 组 Chao I 指数和 Shannon 指数均高于 HC1 处理的;施肥 2 个月后,HE2 组 Chao I 指数和 Shannon 指数均高于 HC2 组,说明施肥处理明显增加了哈密瓜土壤细菌多样性,并且随着施肥时间的延长,这种效果更显著。

2.5 不同处理下哈密瓜土壤细菌群落的主成分分析 为了比较不同处理下土壤细菌群落结构差异, 对其进行主成分分析(PCA), 结果共提取了 2 个主成分, 贡献率分别为 58.06% 和 36.89% (图 2), 施肥处理 (HE1 和 HE2) 组与清水处理(HC1 和 HC2) 组围绕 PC1 轴完全分开, 施肥处理(HE1 和 HE2) 组在 PC1 轴的负轴, 清水处理(HC1 和 HC2) 组在 PC1 轴的正轴。说明施肥与清水处理组土壤的细菌群落数量差异明显。此外, 在哈密瓜不同的发育时期, 施肥和清水处理的土壤细菌群落结构也不一样, HE1 和 HE2 绕 PC2 轴完全分开, HC1 和 HC2 也绕 PC2 轴完全分开, 说明哈密瓜在不同的生长发育时期, 其土壤细菌群落结构也不同, 施肥处理增加了土壤细菌的多样性。

表 3 不同处理下哈密瓜土壤微生物细菌群落的多样性分析

Tab.3 Analysis of OTUs diversity of microorganism community from honey melon fields

样品 Sample	靶序列 Target	OTU 数 OTUs	序列数 Number of sequences	丰富度指数 Chao1 richness	覆盖率/% Coverage	香农指数 Shannon index
定植期 HC1	细菌 16sRNA	1 754	85 155	1 784 ± 18	99.80 ± 0.028	6.23 ± 0.04
结果期 HC2	细菌 16sRNA	1 728	87 740	1 771 ± 32	99.76 ± 0.014	6.10 ± 0.09
定植期 HE1	细菌 16sRNA	1 759	87 922	1 799 ± 24	99.80 ± 0.064	6.28 ± 0.02
结果期 HE2	细菌 16sRNA	1 727	93 896	1 784 ± 13	99.75 ± 0.007	6.21 ± 0.09

2.6 不同处理下哈密瓜土壤细菌群落组成及相对丰度分析 根据测序结果, 样品土壤细菌一共来自 30 门, 根据相对丰度由高到低, 排前十的分别是: Proteobacteria(变形菌门)、Acidobacteria(酸杆菌门)、Gemmatimonadetes(芽单胞菌门)、Actinobacteria(放线菌门)、Chloroflexi(绿弯菌门)、Nitrospirae(硝化螺旋菌门)、Bacteroidetes(拟杆菌门)、Verrucomicrobia(疣微菌门)、Firmicutes(厚壁菌门)、和 Parcubacteria(浮霉菌门)。如图 3 所示, 变形菌门是第 1 大门, 物种相对丰度 40% 以上。其次是酸杆菌门, 物种相对丰度 20% 左右, 与前人研究结果一致^[11-12]。样品间在门水平上的排列顺序没有差别, 但是相对丰度存在差别, 这说明土壤微环境相对稳定, 没有发生颠覆性变化。

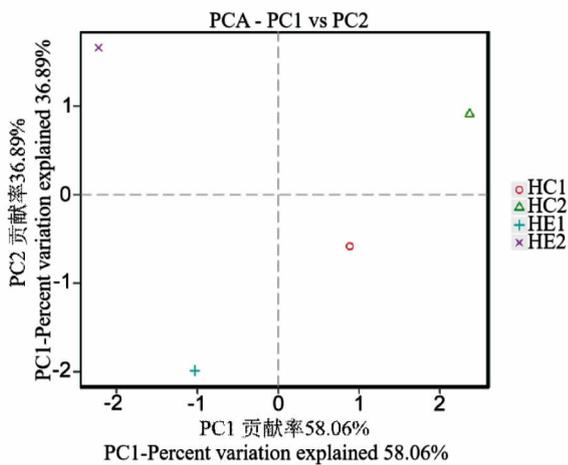


图 2 主成分 PCA 分析图

Fig.2 Analysis chart of principal component analysis

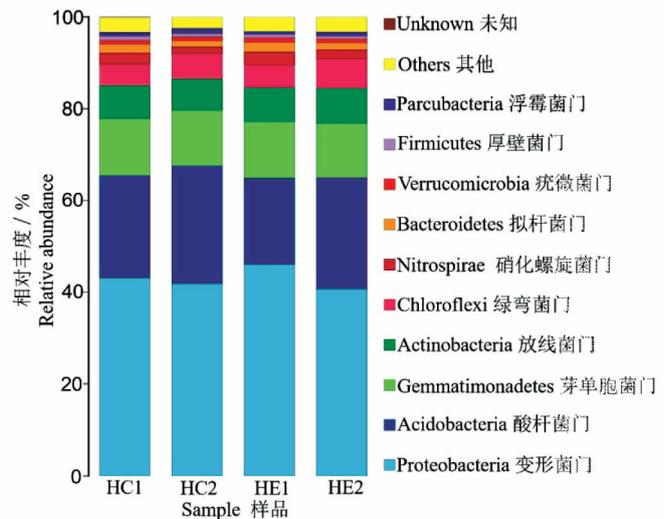


图 3 细菌门水平物种分布柱状图

Fig.3 Bacterial composition at phylum level

2.7 纲和目水平上细菌的相对丰度分析 在纲水平上, 细菌丰度由高到低排前 10 的分别为 Alphaproteobacteria(α-变形菌纲)、Betaproteobacteria(β-变形菌纲)、Gemmatimonadetes(芽单胞菌纲)、Subgroup_6、Blastocatellia、Deltaproteobacteria(δ-变形菌纲)、Gammaproteobacteria(丙型变形菌纲)、Thermoleophilia(嗜

热油菌纲)、Acidobacteria(酸杆菌纲)、Solibacteres(拟杆菌纲)(表4),其中变形菌纲占多数。与定植期相比,HE2组中 α -变形菌纲的相对丰度降低,HC2组则有所升高;又如芽单胞菌纲,HE组间的相对丰度下降,而HC组间的相对丰度上升。变形菌门中包括多种致病菌,如 α -变形菌纲中的立克次体目;芽单胞菌纲中包含如肠杆菌科(Enterobacteraceae)、弧菌科(Vibrionaceae)和假单胞菌科(Pseudomonadaceae)等重要的病原菌。因此,变形菌门中这些纲的相对丰度降低,可能是降低哈密瓜病害的原因之一。

表4 纲水平细菌菌群组成及其相对丰度

Tab.4 Bacterial composition and their relative abundance at class

纲 Class	相对丰度/% Relative abundance			
	定植期 HC1	结果期 HC2	定植期 HE1	结果期 HE2
Alphaproteobacteria(α -变形杆菌纲)	20.52	21.94	20.21	17.86
Betaproteobacteria(β -变形菌纲)	13.61	11.71	16.84	13.81
Gemmatimonadetes(芽单胞菌纲)	10.74	10.85	10.75	10.98
Subgroup_6	8.20	9.31	7.21	6.67
Blastocatellia	5.97	7.58	5.09	8.26
Deltaproteobacteria(δ -变形菌纲)	5.40	4.53	4.68	5.53
Gammaproteobacteria(丙型变形菌纲)	3.63	3.66	4.33	3.53
Thermoleophilia(嗜热油菌纲)	3.05	2.94	3.15	2.94
Acidobacteria(酸杆菌纲)	2.81	3.68	2.55	3.77
Solibacteres(拟杆菌纲)	2.57	3.07	1.97	3.78

在目水平上,细菌相对丰度排前十的分别为Bacterium(杆菌目)、Sphingomonadales(鞘脂单胞菌目)、Gemmatimonadales(芽单胞菌目)、Nitrosomonadales(亚硝化单胞菌目)、Blastocatellales、Rhizobiales(根瘤菌目)、Myxococcales(黏球菌目)、Rhodospirillales(红螺菌目)、Xanthomonadales(黄单胞菌目)、Burkholderiales(伯克霍尔德氏菌目)(表5)。亚硝化单胞菌目在硝化作用中起到主要作用,直接影响氮素的利用率^[13],在HE组中亚硝化单胞菌目相对丰度升高,在HC组中则下降。黏球菌目产生的次级代谢产物化学结构新颖、具有抗真菌、抗病毒等生物活性^[14]。HE组间黏球菌目相对丰度增长了22.48%,HC组间则下降了13.02%。可见,施用复合微生物菌剂和氨基酸水溶肥使某些有益菌目的相对丰度升高,使微生物菌群更有益于哈密瓜的生长。

表5 目水平细菌菌群组成及其相对丰度

Tab.5 Bacterial composition and their relative abundance at order level

目 Order	相对丰度/% Relative abundance			
	定植期 HC1	结果期 HC2	定植期 HE1	结果期 HE2
Bacterium(杆菌目)	14.94	15.99	13.80	14.63
Sphingomonadales(鞘脂单胞菌目)	11.91	13.06	10.12	7.56
Gemmatimonadales(芽单胞菌目)	10.74	10.84	10.75	10.98
Nitrosomonadales(亚硝化单胞菌目)	6.16	5.62	5.90	6.95
Blastocatellales	5.97	7.58	5.09	8.26
Rhizobiales(根瘤菌目)	3.39	4.02	3.92	4.24
Myxococcales(黏球菌目)	3.38	2.58	2.94	3.16
Rhodospirillales(红螺菌目)	3.15	3.72	3.38	4.12
Xanthomonadales(黄单胞菌目)	3.01	2.91	3.36	2.79
Burkholderiales(伯克霍尔德氏菌目)	2.99	1.94	5.89	2.22

2.8 属水平上细菌的相对丰度分析 提取相似度 97% 以上的 OTUs 代表序列,应用 RDP classifier 贝叶斯算法进行分类学分析,得出各处理属水平的细菌群落组成。从表 6 可知,相同时期的不同处理中,HE 组中的 *Pseudomonas*(假单胞菌)和 *Tumebacillus*(多粘性芽孢杆菌)相对丰度均高于 HC 组;随着时间的推移,*Paenibacillus*(类芽孢杆菌)的相对丰度在 HC 组中呈下降趋势,在 HE 组中呈升高趋势;HE1 组的 *Bacillus*(芽孢杆菌)相对丰度高于 HC1 组,HE2 组的 *Bacillus* 相对丰度则比 HC2 组低。*Paenibacillus* 和 *Tumebacillus* 的相对丰度升高,而 *Bacillus* 的相对丰度减少,可能是由于复合微生物菌剂和氨基酸水溶肥的施用下,增加了芽孢杆菌中有益菌属的相对丰度,减少了有害菌属的相对丰度。

表 6 属水平细菌菌群组成及其相对丰度

Tab.6 Bacterial composition and their relative abundance at genus level

属 Genus	相对丰度/% Relative abundance			
	定植期 HC1	结果期 HC2	定植期 HE1	结果期 HE2
<i>Pseudomonas</i> (假单胞菌)	0.023	0.047	0.074	0.062
<i>Paenibacillus</i> (类芽孢杆菌)	0.013	0.006	0.008	0.011
<i>Tumebacillus</i> (膨胀芽孢杆菌)	0.013	0.009	0.016	0.014
<i>Bacillus</i> (芽孢杆菌)	0.352	0.580	0.371	0.511

2.9 物种丰度聚类分析 图 6 为土壤细菌种上水平上的相对丰度聚类图,图中颜色梯度由蓝色到红色表示相对丰度由低到高。主要展现的是优势物种相对丰度在各个样本之间的差别。由图 6 可看出,4 个样品组中在种的分布上差别明显。

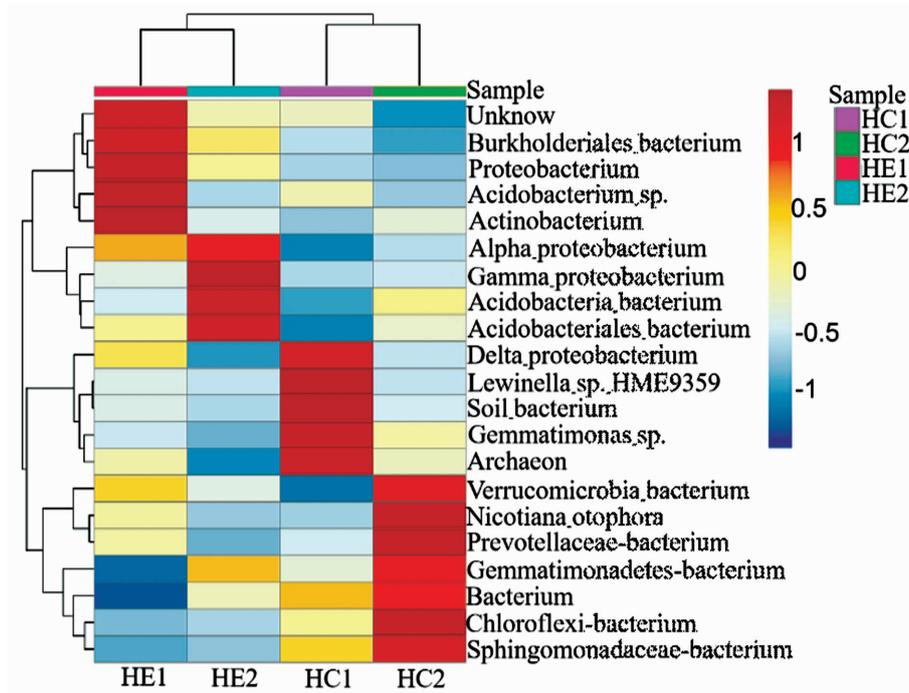


图 6 细菌样品 UPGMA 聚类树

Fig.6 UPGMA tree of bacterial samples

3 讨论

分析测序结果表明,HE 组和 HC 组间土壤细菌微生物存在明显差异,微生物的菌群结构并没有发生颠覆性变化,菌群的主要组成是 Proteobacteria(变形菌门)和 Acidobacteria(酸杆菌门),在某些菌群相对丰

度上则有所改变。含有致病菌种的变形菌纲相对丰度降低;某些致病菌目如 Burkholderiales 的相对丰度降低;可以与植物共生促进植物吸收营养的 Rhizobiales 相对丰度升高;能够促进消化作用帮助植物吸收氮素的 Nitrosomonadales 相对丰度升高;能够产生有益次生代谢产物的 Myxococcales 相对丰度升高。

本试验结果表明,HE 组 HC 组间土壤的理化性质发生了改变。其中,碱解氮含量在 HC 组定植期明显下降,而 HE 组定植期碱解氮含量高于 HC 组,且在定植期 HE 组有效磷和速效钾含量变化并不显著,但在结果期 HE 组和 HC 组并没有明显差别,由此可见,微生物菌剂和氨基酸水溶肥联合使用模式可以为哈密瓜提供更多营养。值得关注的是,HE 组土壤中线虫含量无论是在定植期还是结果期都低于 HC 组线虫含量,且在 HC 组定植期腐生线虫爆发时,HE 组仍保持稳定状态,这对于减少植物病害具有积极的意义。

综上所述,复合微生物菌剂和氨基酸水溶肥的联合应用,可以改变土壤的理化性质^[15-16],提高土壤碱解氮和速效钾的含量,增加土壤有机质,降低线虫和数量,从而改变善土壤营养结构;在土壤微生物群落稳定的前提下,增加有益菌的相对丰度,降低有害菌的相对丰度,改善土壤微环境,为防治线虫病害提供了理论依据。

参考文献:

- [1] ZHU Z L, CHEN D L. Nitrogen fertilizer use in China—Contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2002, 63(2/3): 117–127.
- [2] 朱兆良,孙波,杨林章,等. 我国农业面源污染的控制政策和措施 [J]. *科技导报*, 2005, 23(4): 47–51.
- [3] 王艳群,彭正萍,薛世川,等. 过量施肥对设施农田土壤生态环境的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(s1): 81–84.
- [4] 雷先德,李金文,徐秀玲,等. 微生物菌剂对菠菜生长特性及土壤微生物多样性的影响 [J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(4): 488–494.
- [5] 胡俊峰. 微生物菌剂对黄瓜幼苗期和成株期的影响 [J]. *蔬菜*, 2017(5): 16–18.
- [6] 常娜,张雪娇,马璐璐,等. 微生物菌剂对小麦生长及土传病害预防效果的影响 [J]. *作物杂志*, 2017(1): 155–160.
- [7] 宋亚,马政,缪辰,等. 氨基酸水溶肥在辣椒上的应用效果 [J]. *基层农技推广*, 2016, 4(12): 48–49.
- [8] 沈建华. 含氨基酸水溶肥在小麦抗逆高产栽培中的应用研究 [J]. *现代农业科技*, 2016(16): 16–16.
- [9] 李淑芬,宋忠俭,樊继刚,等. 含氨基酸水溶肥料对小白菜产量和经济效益的影响 [J]. *农业科技通讯*, 2017(6): 165–167.
- [10] 陈剑山,李鹏,张曼丽,等. 氨基酸水溶肥与微生物菌剂混用抑制豇豆枯萎病的效果 [J]. *中国植保导刊*, 2015, 35(8): 52–53.
- [11] JANSSEN P H, YATES P S, GRINTON B E, et al. Improved culture ability of soil bacteria and isolation in pure culture of novel members of the divisions Acidobacteria, Actinobacteria, Proteobacteria, and Verrucomicrobia [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2002, 68: 2391–2396.
- [12] JONES R T, ROBESON M S, LAUBER C L, et al. A comprehensive survey of soil acidobacterial diversity using pyrosequencing and clone library analyses [J]. *The ISME Journal*, 2009, 30: 442–453.
- [13] 陈秋会. 设施菜地土壤硝化作用的特征及其微生物学机制 [D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
- [14] 侯宽昭. 中国种子植物科属词典 [M]. 修订版. 北京: 科学出版社, 1982.
- [15] 贾娟,李硕,高夕彤,等. 氨基酸水溶肥与菌剂配施对松花菜生长及土壤生态特征的作用效果 [J]. *河北农业大学学报*, 2018, 41(1): 17–23.
- [16] 张曼丽,陈剑山,柳晓磊,等. 水溶肥配施微生物菌剂对海南设施哈密瓜产量及土壤的影响 [J]. *中国农技推广*, 2017, 33(2): 54–56.

Effects of Combined Treatment with Microbial Fertilizer and Amino Acid Water-soluble Fertilizer on Physicochemical Properties and Bacterial Communities Structure of Hami Melon Soils

QI Zhao¹, ZHANG Manli², YAN Zhen¹, XU Min¹, LI Xianghuang², MA Ye²,
XIONG Rui¹, LIU Xiaolei², TANG Hua¹

(1. Key Laboratory of Sustainable Utilization of Tropical Biological Resources/College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou 570228, China; 2. Hainan General Station of Plant Protection, Haikou, Hainan 571100, China)

Abstract: Hami melon (*Cucumis melon* L.) was treated with a combination of microbial fertilizer and amino acid water-soluble fertilizer in a fertilizer trial in Ledong, Hainan to analyze the changes of complex microbial communities structure and physicochemical properties of the soil. Soil samples at different growth stages of Hami melon were collected for analysis of soil physicochemical properties and high-throughput sequencing of soil bacterial community. Soil analysis showed that the contents of soil alkali-hydrolyzed nitrogen and available potassium were increased in the treatment groups, and that the numbers of root-knot nematodes (RN) and saprophytic nematodes (SN) were decreased. High-throughput sequencing of soil microorganisms showed that the soil bacterial flora in the treatment group were relatively stable in structure, with their relationship being far between the treatment and control groups but close between treatment groups. Compared with the control group, the treatment groups were most abundant in Proteobacteria and Acidobacteria at the phylum level, and had at the class level a lower relative abundance in Alpha-proteobacteria and Gamma-proteobacteria containing pathogenic bacteria and a higher relative abundance in Nitrosomonadales which play an important role in nitrification and Myxococcales which could produce good secondary metabolites. It was concluded that the combined application of compound microbial agent and amino acid water-soluble fertilizer significantly improved the soil physical and chemical properties and bacterial community.

Keywords: Hami melon; complex microbial fertilizers; Amino acid water soluble fertilizer; high-throughput sequencing; bacteria; physicochemical properties of soil

(责任编辑: 潘学峰)