

高粱绿肥种植密度对设施黄瓜根系生长相关因子的影响

刘金泉 李明 胡云 李发虎 张清梅 王雪玉

(内蒙古农业大学职业技术学院, 包头 014109)

摘要: 以设施黄瓜为研究对象,在黄瓜定植前 40 d 分别播撒 240、120、60 kg/hm² 不同密度高粱种子,并于黄瓜定植前将高粱植株作为绿肥翻入土壤,研究其对黄瓜结果期生长指标、根际土壤养分含量以及细菌群落结构变化的影响,探讨其影响黄瓜生长指标、根际养分含量和菌群结构变化的内在机制。试验结果表明:240 kg/hm² 种植密度的高粱绿肥可显著提高黄瓜根际土壤有机质质量比 31.66%、碱解氮质量比 8.75%、速效磷质量比 13.89%、速效钾质量比 16.86%、脲酶活性 6.85%,显著提高结果期黄瓜茎粗 12.83%、根系数 15.81%、根总体积 24.11%、叶片总面积 11.43%、单株结瓜数 10.97%、总产量 9.81%;240 kg/hm² 种植密度的高粱绿肥可明显提高黄瓜根际土壤中变形菌门、放线菌门、厚壁菌门比例而降低酸杆菌门、绿弯菌门、拟杆菌门比例,明显提高鞘脂单胞菌科、黄色单胞菌科、红螺菌科、中华杆菌科、生丝微菌科比例而降低 Gp6 科、Gp16 科、Gp4 科比例。该处理主要通过降低根际土壤绿弯菌门和提高鞘脂单胞菌科、中华杆菌科比例而提高脲酶活性,通过提高厚壁菌门、黄色单胞菌科、红螺菌科和降低根际土壤酸杆菌门比例而促进碱解氮质量比、速效磷质量比、茎粗、叶片总面积、根系数、根总体积的提高,最终促进黄瓜生长并提高产量。

关键词: 设施黄瓜; 根际土壤; 细菌群落; 高粱绿肥; 种植密度; 根系生长

中图分类号: S158.3; S627 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2018)05-0323-07

Effect of Planting Density of Sorghum as Green Manure on Root Growth Factors of Facilities Cucumber

LIU Jinquan LI Ming HU Yun LI Fahu ZHANG Qingmei WANG Xueyu
(Vocational and Technical College, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou 014109, China)

Abstract: The cucumber of solar greenhouse was used to study the effect of sorghum green manure on cucumber growth, nutrient content and bacterial community of rhizosphere soil. In the test, treatments were amount of 240 kg/hm², 120 kg/hm² and 60 kg/hm² of sorghum seeds which were respectively planted into the soil of greenhouse before planting cucumber. When the cucumber was planted, the green manure was cut into the soil to study on the change rule of cucumber growth, nutrient content, bacterial community of rhizosphere soil, and the regulated mechanism between these factors under the condition of sorghum green manure. The study showed that the effect of 240 kg/hm² of sorghum green manure was better than those of other treatments, which significantly and respectively improved organic matter content by 31.66%, resolution N content by 8.75%, available P content by 13.89%, available K content by 16.86% and urease activity by 6.85% of rhizosphere soil, and increased stem diameter by 12.83%, root number by 15.81%, total root volume by 24.11%, total leaf area by 11.43%, fruit number per plant by 10.97% and total yield by 9.81% of cucumber. The study also showed that the treatment of 240 kg/hm² increased the proportions of *Proteobacteria*, *Actinobacteria* and *Firmicutes*, but reduced the proportions of *Acidobacteria* and *Chloroflexi*, and improved the proportions of *Sphingomonadaceae*, *Xanthomonadaceae*, *Rhodospirillaceae*, *Sinobacteraceae* and *Hyphomicrobiaceae*, but decreased the proportions of Gp6, Gp16 and Gp4. The treatment of 240 kg/hm² promoted urease activity by decreasing the proportion of *Chloroflexi* and improving the proportions of *Sphingomonadaceae* and *Sinobacteraceae* of rhizosphere soil, and the treatment increased content of resolution N and available P, stem diameter,

total leaf area, root coefficient and total root volume by improving the proportions of *Firmicutes*, *Xanthomonadaceae* and *Rhodospirillaceae* and decreasing the proportion of *Acidobacteria*. The cucumber growth and yield were promoted ultimately through these ways as above.

Key words: facilities cucumber; rhizosphere soil; bacterial communities; sorghum green manure; planting density; root growth

0 引言

我国 2016 年蔬菜生产规模、产量和出口规模均居世界第一,其中设施蔬菜播种面积 4 973.10 km²、产量 2.62 亿 t,预计今后几年蔬菜产业规模仍将保持小幅增长势头^[1]。但是,目前我国设施蔬菜生产过程中由于连作、简单轮作、肥料过分投入等原因造成土壤理化性状恶化、微生物区系失衡、植物源有害物累积等问题,普遍引起了土壤质量退化和作物产量下降,如何阻控土壤功能衰退并恢复土壤健康,实现设施蔬菜产业可持续发展,是设施蔬菜生产亟待解决的问题^[2-3]。20 世纪 80 年代以来,随着化肥工业的迅猛发展,绿肥生产和应用日益减少,在目前我国农业“减肥增效、土壤有机质提升、绿色安全生产”等的需求背景下,利用绿肥改良设施土壤成为一种重要途径。研究表明:绿肥可为农田提供肥源、减少化肥施用,并可合理用地养地、提供饲草来源、改善生态环境、节能减耗等^[4];绿肥翻压还田不仅改善土壤的通透性、提高土壤中养分质量比和土壤酶活性,而且可以增加土壤微生物数量、调控微生物群落结构、减少和抑制土传病害发生^[5-6]。

目前,虽然绿肥影响土壤菌群、养分和作物生长方面的研究较多,但多为大田试验,并且对于影响根际菌群结构的研究偏少,在北方设施条件下利用高粱作为绿肥改良设施土壤菌群结构和黄瓜生长方面研究鲜见报道。本文针对北方设施土壤菌群退化现状,通过在黄瓜定植前种植不同密度高粱作绿肥处理,研究其影响黄瓜生长、根际土壤养分和菌群变化规律和内在机制,以期绿肥在设施生产应用上提供一定的理论依据和实践指导。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验于 2017 年 3—7 月在内蒙古农业大学设施园艺基地进行,试验用日光温室南北跨度 7 m,东西长 52 m,黄瓜品种为“津春改良 2 号”。土壤性质为沙壤土,有机质、全氮、全磷、全钾质量比分别为 41.16、1.31、1.37、12.48 g/kg,容重 1.28 g/cm³,电导率 106.82 μS/cm。

1.2 试验方法

采用田间试验法,以正常定植土壤设为 CK(对

照),设 A1、A2、A3 3 种处理,分别为在黄瓜定植前 40 d 播撒 240、120、60 kg/hm²高粱种子,在黄瓜定植前将长出的高粱植株翻入土壤中作为绿肥。黄瓜苗 4 月 10 日定植,种植密度 42 000 株/hm²,每处理小区面积 14 m²,重复 3 次,各处理生长期管理措施一致。在黄瓜结果盛期(6 月 15 日)测定植株根系数、根总体积、根冠比、茎粗、总叶面积、单株结瓜数和总产量;每种处理均用抖落法分别取 6 处样地根际 0~20 cm 处土壤,均匀混合测定细菌群落;用抖落法取根际 0~20 cm 处土壤,测定有机质、碱解氮、速效磷、速效钾质量比以及过氧化氢酶、脲酶活性,每处理重复 3 次。

1.3 测定方法

根系数为统计超过 0.5 cm 长的黄瓜植株一级和二级侧根总和;根体积通过将根系平铺于 Epson Perfv700 型扫描仪进行扫描,并用 WinRHIZO Pro 2009a 软件分析测得;根冠比通过植株地下部和地上部干质量比值计算;茎粗用游标卡尺测定;叶片总面积用叶面积扫描仪测定;产量用千分之一天平测定。土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾质量比分别用重铬酸钾外加热法、碱解-扩散法、碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法和乙酸铵浸提-火焰光度计法测定,过氧化氢酶活性测定用高锰酸钾滴定法,脲酶活性用奈氏比色法。细菌物种用 16SrDNA 高通量测序法测定,采用双可变区鉴定菌种,使用高可变区 PCR 扩增产物建库,文库构建遵循 Illumina 测序仪文库构建方法,以 V3、V4 为目标区域进行引物设计,使用 DNA 模板 50 ng、25 μL 的 PCR 体系,使用 Phusion 酶扩增 25~35 个循环,扩增后 PCR 产物使用 Beads 纯化,之后将构建好的文库上样到 cBots 或簇生成系统,用于簇生成和 MiSeq 测序,对测序获得数据进行样品区分、拼接、过滤及 Q20、Q30 等质控分析,对最终获得数据进行 OUT 聚类分析和物种分类学分析。

1.4 数据处理及分析

试验数据用 Microsoft Excel 2007 整理,处理间生长指标差异用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA),显著性水平为 0.05,以平均值±标准差的形式来表达,用 SPSS 19.0 软件做数据间 Pearson 相关分析;用 RDP、GREENGENE 和

NCBI 数据库资源做细菌物种分类分析,并用 R 语言绘制物种热图,在不同分类水平上列出比例最大的前 20 种优势菌群,通过不同颜色和长度反映各处理细菌群落组成的差异性和比例,基于各处理的 OUT 组成分析结果,用 EUCLIDEAN、UNWEIGHTED UNIFRAC、WEIGHTED UNIFRAC 3 种不同算法计算样品间距离矩阵,用 UPGMA (Unweighted pair group method with arithmetic mean) 方法对样品进行丰度相似性聚类,将聚类结果表示在热图上。

2 结果与分析

2.1 不同处理对黄瓜根际土壤养分指标的影响

由表 1 可见,在黄瓜结果期,与对照相比,A1、

A2、A3 处理分别显著提高有机质质量比 31.66%、15.55%、10.61%,分别显著提高碱解氮质量比 8.75%、5.35%、3.13%,分别显著提高速效磷质量比 13.89%、16.86%、20.65%,分别显著提高速效钾质量比 16.86%、16.45%、21.07%;与对照相比,过氧化氢酶活性各处理差异不显著,脲酶活性 A1 处理显著提高 6.85%,而 A2 和 A3 处理差异不显著。

2.2 不同处理对黄瓜结果期生长指标和产量的影响

由表 2 可见,在黄瓜结果期,与对照相比,根冠比各处理与对照差异不显著,根系数、叶片总面积 A1、A2 处理均显著高于对照,而 A3 处理与对照差异不显著。对于茎粗、根总体积、单株结瓜数和总产

表 1 不同处理对黄瓜根际土壤养分指标的影响

Tab.1 Effects of different treatments on nutrient index of rhizosphere soil of cucumber

处理	有机质质量比/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮质量比/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷质量比/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾质量比/ (mg·kg ⁻¹)	过氧化氢酶活性/ (mol·h ⁻¹ ·g ⁻¹)	脲酶活性/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
CK	(37.62 ± 0.92) ^c	(87.77 ± 0.90) ^c	(102.34 ± 6.44) ^c	(383.97 ± 8.34) ^b	(0.31 ± 0.02) ^a	(43.36 ± 1.67) ^b
A1	(49.53 ± 0.82) ^a	(95.45 ± 0.76) ^a	(116.56 ± 1.69) ^b	(448.71 ± 14.02) ^a	(0.31 ± 0.01) ^a	(46.33 ± 1.72) ^a
A2	(43.47 ± 0.92) ^b	(92.47 ± 0.98) ^b	(119.59 ± 3.30) ^{ab}	(447.14 ± 13.62) ^a	(0.30 ± 0.01) ^a	(41.07 ± 1.88) ^b
A3	(41.61 ± 1.18) ^b	(90.52 ± 1.60) ^b	(123.47 ± 4.94) ^a	(464.86 ± 25.74) ^a	(0.28 ± 0.01) ^a	(41.68 ± 2.55) ^b

注:表中同列中不同小写字母表示差异显著(P<0.05),下同。

表 2 不同处理对黄瓜结果期生长指标和产量的影响

Tab.2 Effects of different treatments on cucumber growth index and yield in fruiting period

处理	茎粗/cm	根系数/条	根总体积/cm ³	根冠比	叶片总面积/m ²	单株结瓜数/个	总产量/(t·hm ⁻²)
CK	(0.12 ± 0.01) ^b	(515.50 ± 30.68) ^c	(15.72 ± 1.82) ^b	(0.13 ± 0.01) ^a	(0.70 ± 0.03) ^b	(13.67 ± 1.03) ^b	(162.58 ± 11.01) ^b
A1	(0.14 ± 0.01) ^a	(597.00 ± 41.32) ^a	(19.51 ± 1.83) ^a	(0.14 ± 0.02) ^a	(0.78 ± 0.02) ^a	(15.17 ± 0.75) ^a	(178.53 ± 5.53) ^a
A2	(0.13 ± 0.01) ^{ab}	(571.00 ± 25.34) ^{ab}	(16.91 ± 1.61) ^b	(0.13 ± 0.02) ^a	(0.76 ± 0.03) ^a	(14.17 ± 0.75) ^{ab}	(170.29 ± 7.29) ^b
A3	(0.12 ± 0.02) ^b	(549.67 ± 24.65) ^{bc}	(15.89 ± 2.27) ^b	(0.13 ± 0.02) ^a	(0.72 ± 0.03) ^b	(13.83 ± 1.47) ^{ab}	(163.23 ± 12.18) ^b

量,A1 处理均显著高出对照,而 A2、A3 处理均与对照差异不显著。综合来看,A1 处理效果最为显著,而 A2、A3 则与对照差异不显著。与对照相比,A1 处理可显著提高结果期黄瓜茎粗 12.83%、根系数 15.81%、根总体积 24.11%、叶片总面积 11.43%、单株结瓜数 10.97%、总产量 9.81%;并且与对照相比,A1 处理每公顷可提高黄瓜产量 15.95t,而仅需投入 240 kg 的高粱种子,塑料膜、工具等生产资料不需额外投资,人工只需种植,日常几乎不需要管理,经济上可行,同时设施土壤质量得到提升。

2.3 不同处理对黄瓜根际土壤细菌群落结构的影响

由图 1 可见,在门分类水平上,对照和 A3 处理归为一类,A2 处理与上述二者有所差别,而 A1 处理与上述三者类别差异最大;构成黄瓜根际土壤优势细菌群落结构为变形菌门(Proteobacteria)、酸杆菌门(Acidobacteria)、放线菌门(Actinobacteria)、绿弯菌门(Chloroflexi)、芽单胞菌门(Gemmatimonadetes)、

拟杆菌门(Bacteroidetes)、厚壁菌门(Firmicutes),占到各样品土壤细菌群落比例 91.12%~93.59%;与对照相比,各处理可明显提高放线菌门、厚壁菌门比例而降低拟杆菌门比例。与对照相比,A1 处理可明显提高变形菌门比例 13.84%、放线菌门比例 22.83%、厚壁菌门比例 17.26%,降低酸杆菌门比例 18.49%、绿弯菌门比例 18.69%、拟杆菌门比例 22.90%。

由图 2 可见,在科分类水平上,对照和 A2 处理归为一类,A3 处理与上述二者有所差别,而 A1 处理与上述三者类别差异最大;构成黄瓜根际土壤优势细菌群落结构为 Gp6 科、鞘脂单胞菌科(Sphingomonadaceae)、芽单胞菌科(Gemmatimonadaceae)、黄色单胞菌科(Xanthomonadaceae)、Gp16 科、Gp4 科、红螺菌科(Rhodospirillaceae)、中华杆菌科(Sinobacteraceae)、生丝微菌科(Hyphomicrobiaceae),占到各样品土壤

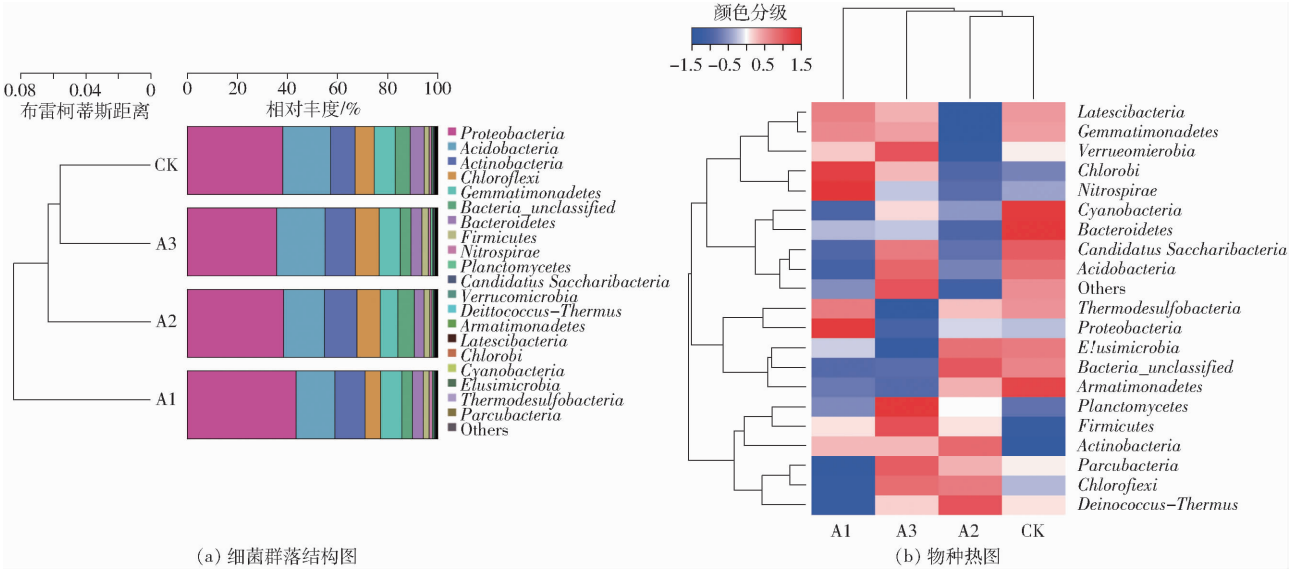


图 1 门分类水平上各处理细菌群落结构图和物种热图

Fig.1 Structure diagram and heat map of bacterial community at level of classification of phylum

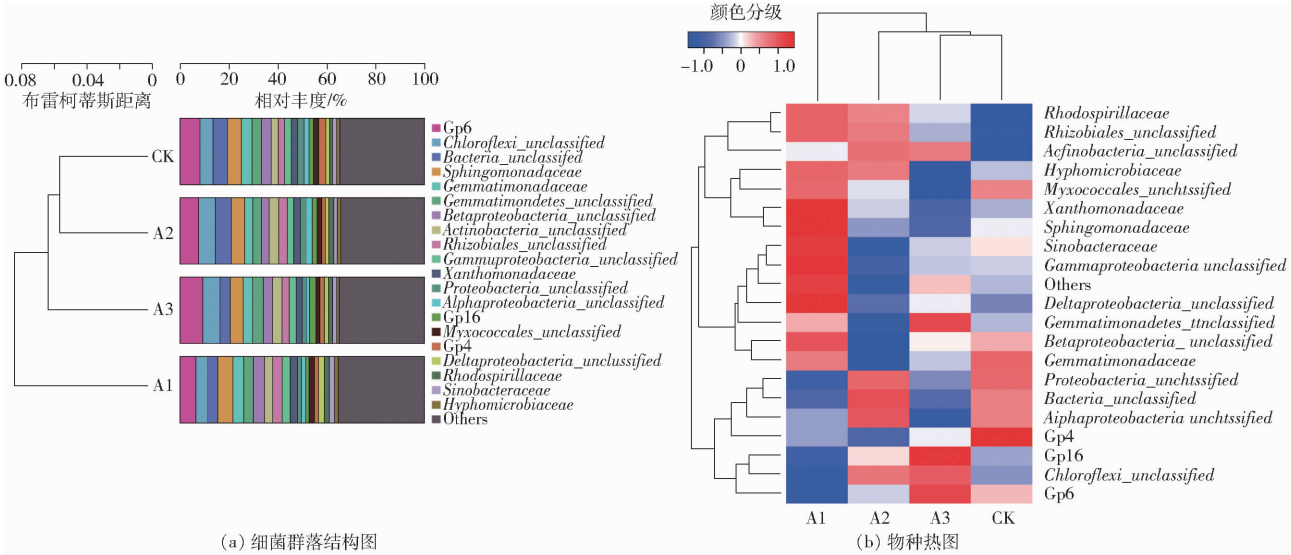


图 2 科分类水平上各处理细菌群落结构图和物种热图

Fig.2 Structure diagram and heat map of bacterial community at level of classification of family

细菌群落比例 27.22% ~ 29.50%。各处理可明显提高红螺菌科比例。与对照相比,A1 处理可明显提高鞘脂单胞菌科比例 12.27%、黄色单胞菌科比例 16.41%、红螺菌科比例 82.35%、中华杆菌科比例 23.81%、生丝微菌科比例 19.20%,降低 Gp6 科比例 20.10%、Gp16 科比例 13.33%、Gp4 科比例 43.21%。

2.4 不同处理下黄瓜生长指标和根际土壤细菌菌落比例相关性分析

由表 3 可见,在门分类水平上,酸杆菌门比例与茎粗、叶片总面积、总产量均显著负相关,绿弯菌门比例与脲酶活性显著负相关,厚壁菌门比例与速效磷质量比显著正相关;在科分类水平上,Gp16 科与过氧化氢酶活性显著负相关,鞘脂单胞菌科比例与

脲酶活性显著正相关,黄色单胞菌科比例与根总体积显著正相关,红螺菌科比例与根系数、叶片总面积、碱解氮质量比显著正相关,中华杆菌科比例与脲酶活性显著正相关。

3 讨论

赵秋等^[7]发现二月兰、冬油菜、草木樨 3 种华北绿肥对生菜增产效果显著,利于促进生菜根系发育,促进叶片可溶性糖、蛋白质和维生素 C 含量积累。冯海萍等^[8]研究表明:高丹草翻压量为 3.75 t/hm²并配施 80% 比例化肥可降低设施土壤 pH 值、显著提高土壤全氮、碱解氮和速效磷质量比,显著增加芹菜产量、土壤总菌数、细菌和放线菌的数量,减少真菌数量和比例,处理效果较好。本试验中利用高粱

表 3 黄瓜生长指标、土壤养分指标与细菌群落比例相关系数

Tab. 3 Correlation coefficient between cucumber growth and soil nutrient index with bacterial community ratio									
细菌门和 科名称	茎粗	根系数	根总 体积	叶片 总面积	总产量	碱解氮 质量比	速效磷 质量比	过氧化氢 酶活性	脲酶活性
变形菌门	0.916	0.686	0.937	0.753	0.911	0.745	-0.139	0.740	0.866
酸杆菌门	-0.961 *	-0.876	-0.879	-0.959 *	-0.950 *	-0.889	-0.245	-0.498	-0.451
放线菌门	0.489	0.770	0.391	0.729	0.498	0.710	0.896	-0.398	-0.261
绿弯菌门	-0.627	-0.316	-0.719	-0.366	-0.626	-0.399	0.476	-0.794	-0.972 *
芽单胞菌门	-0.100	-0.179	0.112	-0.296	-0.071	-0.120	-0.282	0.038	0.633
拟杆菌门	-0.532	-0.803	-0.439	-0.762	-0.541	-0.747	-0.891	0.368	0.208
厚壁菌门	0.058	0.458	0.095	0.281	0.094	0.401	0.951 *	-0.837	-0.260
Gp6 科	-0.918	-0.673	-0.884	-0.783	-0.903	-0.722	0.159	-0.797	-0.722
鞘脂单胞菌科	0.824	0.576	0.889	0.619	0.824	0.646	-0.234	0.732	0.955 *
芽单胞菌科	0.009	-0.257	0.178	-0.274	0.018	-0.174	-0.660	0.481	0.763
黄色单胞菌科	0.924	0.713	0.953 *	0.766	0.922	0.771	-0.093	0.698	0.877
Gp16 科	-0.673	-0.306	-0.658	-0.450	-0.650	-0.375	0.558	-0.972 *	-0.749
Gp4 科	-0.611	-0.861	-0.530	-0.819	-0.622	-0.812	-0.874	0.306	0.104
红螺菌科	0.870	0.988 *	0.818	0.974 *	0.878	0.973 *	0.672	0.033	0.276
中华杆菌科	0.532	0.372	0.693	0.316	0.552	0.445	-0.180	0.416	0.964 *
生丝微菌科	0.864	0.648	0.766	0.793	0.841	0.677	-0.101	0.753	0.474

注：* 表示在 0.05 水平上显著相关。

绿肥可提高土壤养分含量并促进设施黄瓜生长,与前人研究一致,但高粱绿肥种植密度 60 ~ 120 kg/hm²时对黄瓜生长和产量作用并不明显,而种植密度为 240 kg/hm²时促进黄瓜生长效果明显,茎粗、根系数、根总体积、叶片总面积、单株结瓜数、总产量指标以及土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾质量比、脲酶活性均显著提高。

白小军等^[9]发现甜玉米、高丹草、苏丹草 3 种绿肥可在温室夏季休闲季节产生较高生物量和养分积累量,降低土壤 pH 值,提高土壤速效养分质量比,增加总菌数、细菌和放线菌数量,减少真菌数量和比例,改善土壤微生态环境。赵秋等^[10]研究表明:毛苕子与二月兰冬绿肥可提高华北玉米土壤有机碳质量比 4.5% ~ 5.7%,显著提高细菌数量 2.0 ~ 3.7 倍。张黎明等^[11]的试验表明:绿肥翻压处理后,细菌、真菌和放线菌数量分别提高 36.29%、82.88% 和 9.16%,禾本科绿肥对土壤微生物量影响最大,其次是豆科绿肥,十字花科绿肥影响较小。本试验表明 240 kg/hm²种植密度的高粱绿肥可明显改变黄瓜根际土壤细菌菌群结构,在门分类水平上可明显提高变形菌门、放线菌门、厚壁菌门比例而降低酸杆菌门、绿弯菌门、拟杆菌门比例,科分类水平上可明显提高鞘脂单胞菌科、黄色单胞菌科、红螺菌科、中华杆菌科、生丝微菌科比例而降低 Gp6 科、Gp16 科、Gp4 科比例,上述研究结果在一定程度上补充和丰富了前人的研究。

根际微环境内微生物可不断从土壤和根系中得

到碳源和养料,导致其特定微生物数量和种群分布高于根际外,且显著差异^[12-13]。同时,植物还可将光合同化产物转运至根际内形成根际沉淀物,促进土壤微生物生长、代谢和富集^[14],马晓梅等^[15]认为根际微生物种群数量和分布与植物光合有一定关系,春季林木光合固碳量增多,根际微生物数量明显高于非根际,而秋季林木根系转运有机物减少,根际微生物数量显著降低。此外,根际微生物可参与根际微环境物质循环和能量流动过程,从而影响植物生长发育、抗逆性和养分的高效利用^[16]。一些研究表明:微生物不仅是土壤有机质形成、养分转化和循环的重要动力,而且影响和调控养分供给状态,反之,土壤养分状况也深刻影响微生物种类和数量,二者间存在紧密关系^[17-20],变形菌门比例增多和酸杆菌门比例的减少可提高黄瓜根际土壤速效养分含量^[21]。FIERER 等^[22]研究表明:变形菌门相对丰度随土壤施氮量增加而上升,而酸杆菌却表现出相反趋势。黄色单胞菌能够在植物根际土壤中产 β-葡萄糖苷酶,该酶是纤维素分解酶系中的重要组分,参与降解纤维素生成葡萄糖过程^[23],红螺菌具有固氮能力并可提高土壤肥力使作物增产,改善土壤环境,利于根系发育,红螺菌代谢分泌物中含大量氨基酸和有机酸,可刺激植物根系对铁的吸收,促进作物生长^[24]。试验相关性分析表明:在设施黄瓜生长发育过程中,根际土壤中酸杆菌门抑制黄瓜茎粗和叶片生长进而抑制产量的提高,绿弯菌门可抑制土壤脲酶活性,Gp16 科抑制过氧化氢酶活性;同时,根际

土壤中厚壁菌门可提高速效磷质量比,鞘脂单胞菌科提高脲酶活性,黄色单胞菌科可促进黄瓜根总体积增长,红螺菌科促进黄瓜根系数、叶片总面积及碱解氮含量的提高,中华杆菌科可提高脲酶活性。进一步分析表明:240 kg/hm²种植密度的高粱绿肥主要通过降低根际土壤绿弯菌门和提高鞘脂单胞菌科、中华杆菌科比例而提高脲酶活性,通过降低根际土壤酸杆菌门和提高厚壁菌门、黄色单胞菌科、红螺菌科比例而促进碱解氮质量比、速效磷质量比、茎粗、叶片总面积、根系数、根总体积的提高,最终促进黄瓜生长和产量的提高。

4 结 论

(1)在寒旱区日光温室早春黄瓜定植前种植高粱绿肥密度 240 kg/hm²时,可显著提高黄瓜根际土壤有机质质量比 31.66%、碱解氮质量比 8.75%、速

效磷质量比 13.89%、速效钾质量比 16.86%、脲酶活性 6.85%,同时可显著提高结果期黄瓜茎粗 12.83%、根系数 15.81%、根总体积 24.11%、叶片总面积 11.43%、单株结瓜数 10.97%、总产量 9.81%,土壤质量得到提升。

(2)240 kg/hm²高粱绿肥处理可明显提高黄瓜根际土壤中变形菌门、放线菌门、厚壁菌门比例而降低酸杆菌门、绿弯菌门、拟杆菌门比例,明显提高鞘脂单胞菌科、黄色单胞菌科、红螺菌科、中华杆菌科、生丝微菌科比例而降低 Gp6 科、Gp16 科、Gp4 科比例;该处理主要通过降低根际土壤绿弯菌门和提高鞘脂单胞菌科、中华杆菌科比例而提高脲酶活性,通过提高厚壁菌门、黄色单胞菌科、红螺菌科和降低根际土壤酸杆菌门比例而促进碱解氮质量比、速效磷质量比、茎粗、叶片总面积、根系数、根总体积的提高,最终促进黄瓜生长并提高产量。

参 考 文 献

1 张真和. 中国蔬菜产业转型升级对策探讨(上)[J]. 中国农机化学报,2017,38(8):96-106.
ZHANG Zhenhe. Countermeasures for transformation and upgrading of vegetable industry in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization,2017,38(8):96-106. (in Chinese)

2 李卫,郑子成,李廷轩,等. 设施灌溉条件下不同次生盐渍化土壤盐分离子迁移特征[J]. 农业机械学报,2011,42(5):92-99.
LI Wei, ZHENG Zicheng, LI Tingxuan, et al. Effects of salt ions transporton different levels of secondary salinization soil under greenhouse irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(5):92-99. (in Chinese)

3 GUO J H,LIU Z J,ZHANG Y,et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science,2010,327:1008-1010.

4 曹卫东,黄鸿翔. 关于我国恢复和发展绿肥若干问题的思考[J]. 中国土壤与肥料,2009(4):1-3.
CAO Weidong, HUANG Hongxiang. Ideas on restoration and development of green manures in China[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2009(4):1-3. (in Chinese)

5 董晓霞,刘兆辉,王梅,等. 绿肥对番茄发病率 and 土壤微生物种群数量的影响[J]. 华北农学报,2010,25(增刊1):309-312.
DONG Xiaoxia, LIU Zhaohui, WANG Mei, et al. Effects of green manure on tomato bacterial wilt and the quantity of soil microbial species[J]. ACTA Agriculture Boreali-sinica,2010,25(Supp.1):309-312. (in Chinese)

6 GAO S J, ZHANG R G, CAO W D, et al. Long term rice-rice-green manure rotation changing the microbial communities in typical red paddy soil in South China[J]. Journal of Integrative Agriculture,2015,14(12):2512-2520.

7 赵秋,张新建,宁晓光,等. 三种华北冬绿肥对生菜生长和营养品质的影响[J]. 华北农学报,2015,30(6):159-163.
ZHAO Qiu, ZHANG Xinjian, NING Xiaoguang, et al. Effects of three winter green manure of north China on the growth and nutritional quality of lettuce[J]. ACTA Agriculture Boreali-sinica,2015,30(6):159-163. (in Chinese)

8 冯海萍,张丽娟,曲继松,等. 绿肥与化肥配施对日光温室土壤养分、微生物及芹菜产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2015,50(2):66-70.
FENG Haiping,ZHANG Lijuan,QU Jisong, et al. Effect of soil nutrients, microbial and yield of celery in facilities soil under green manure and fertilizer reduction[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2015,50(2):66-70. (in Chinese)

9 白小军,冯海萍,张丽娟,等. 种植及翻压绿肥对设施土壤养分及微生物区系的影响[J]. 北方园艺,2014(23):144-147.
BAI Xiaojun,FENG Haiping, ZHANG Lijuan, et al. Effect of the planting and green manure application on soil nutrients and microbial flora in greenhouse[J]. Northern Horticulture,2014(23):144-147. (in Chinese)

10 赵秋,高贤彪,宁晓光,等. 华北地区春玉米-冬绿肥轮作对碳、氮蓄积和土壤养分以及微生物的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(4):1005-1011.
ZHAO Qiu, GAO Xianbiao, NING Xiaoguang, et al. Effects of spring maize and winter cover crop rotation on accumulation of carbon and nitrogen and soil nutrition and microbe in north China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer,2013,19(4):1005-1011. (in Chinese)

11 张黎明,邓小华,周米良,等. 不同种类绿肥翻压还田对植烟土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 中国烟草科学,2016,37(4):13-18.
ZHANG Liming, DENG Xiaohua, ZHOU Miliang,et al. Effects of different green manures on microbial biomass and enzyme activities of tobacco-planting soil[J]. Chinese Tobacco Science, 2016,37(4):13-18. (in Chinese)

12 赵辉,赵铭钦,程玉渊,等. 河南南阳烟区不同类型土壤的根际和非根际微生物及酶活性变化[J]. 土壤通报,2010,41(5): 1057 – 1063.
ZHAO Hui, ZHAO Mingqin, CHENG Yuyuan, et al. Change of different soil types on microorganisms and enzyme activity of the rhizosphere and non-rhizosphere of Nanyang tobacco growing area in Henan Province[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(5):1057 – 1063. (in Chinese)

13 马玉莹,周德明,梅杰. 杉木林地根际与非根际土壤特性分析[J]. 中南林业科技大学学报,2011,31(7):120 – 123.
MA Yuying, ZHOU Deming, MEI Jie. Rhizosphere and non-rhizosphere soil properties analysis of cunninghamia lanceolata[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology,2011,31(7):120 – 123. (in Chinese)

14 LYNCH J M, WHIPPS J M. Substrate flow in the rhizosphere[J]. Plant and Soil, 1990,129: 1 – 10.

15 马晓梅,尹林克. 荒漠河岸林植物根际和非根际微生物的季节性变化[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(5):165 – 171.
MA Xiaomei, YIN Linke. The seasonal changes of plants' rhizosphere and non-rhizosphere microorganism in the desert riparian forest[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2009,23(5):165 – 171. (in Chinese)

16 杜衍红,蒋思臣,王明峰,等. 炭-肥互作对芥菜生长和肥料利用率的影响[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(4):59 – 64.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160409&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.04.009.
DU Yanhong, JIANG Enchen, WANG Mingfeng, et al. Effect of interaction of biochar-fertilizer on the yield of the mustard and the fertilizer utilization ratio[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(4): 59 – 64. (in Chinese)

17 NIELSEN S, MINCHIN T, KIMBER S, et al. Comparative analysis of the microbial communities in agricultural soil amended with enhanced biochars or traditional fertilisers[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2014, 191: 73 – 82.

18 EISENHAUER N, SCHEU S, JOUSSET A. Bacterial diversity stabilizes community productivity[J]. PLOS ONE, 2012, 7: e34517.

19 李元,牛文全,张明智,等. 加气灌溉对大棚甜瓜土壤酶活性与微生物数量的影响[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(8): 121 – 129. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150818&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.018.
LI Yuan, NIU Wenquan, ZHANG Mingzhi, et al. Effects of aeration on rhizosphere soil enzyme activities and soil microbes for muskmelon in plastic greenhouse[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(8):121 – 129. (in Chinese)

20 杨宁,张荣标,张永春,等. 基于微生物生态效益的土壤肥力综合评价模型[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(5):108 – 112.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130520&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.05.020.
YANG Ning, ZHANG Rongbiao, ZHANG Yongchun, et al. Soil fertility synthesis evaluation model based on ecological benefit of microorganism[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5):108 – 112. (in Chinese)

21 李明,胡云,黄修梅,等. 生物炭对设施黄瓜根际土壤养分和菌群的影响[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(11):275 – 281.
http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20161123&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.023.
LI Ming, HU Yun, HUANG Xiumei, et al. Effect of biological carbon on nutrient and bacterial communities of rhizosphere soil of facility cucumber[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(11): 275 – 281. (in Chinese)

22 FIERER N, LAUBER C L, RAMIREZ K S, et al. Comparative metagenomic, phylogenetic and physiological analyses of soil microbial communities across nitrogen gradients[J]. The ISME Journal, 2012, 6: 1007 – 1017.

23 付玉,金香梅,尹成日. 人参土壤中产 β -葡萄糖苷酶菌株的分离鉴定[J]. 延边大学农学学报,2011,33(2):127 – 132
FU Yu, JIN Xiangmei, YIN Chengri. Screening and identification of β -glucosidase producing strain from Ginseng soil[J]. Journal of Agricultural Science Yanbian University, 2011,33(2):127 – 132. (in Chinese)

24 卢敏敏,赵彩霞,洪坚平. 红螺菌对水培油菜产量及品质的影响[J]. 农业与技术,2008,28(6):53 – 56.
LU Minmin, ZHAO Caixia, HONG Jianping. Effects of rhodospirillum on yield and quality of hydroponics rape[J]. Agriculture & Technology,2008,28(6):53 – 56. (in Chinese)