

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.023

生物炭对设施黄瓜根际土壤养分和菌群的影响

李明 胡云 黄修梅 张清梅 尹春

(内蒙古农业大学职业技术学院, 包头 014109)

摘要: 以设施黄瓜根际土壤为试验对象,通过每 hm^2 添加 5、10、20、40、60 t 不同生物炭量作为处理,研究黄瓜结果期养分和细菌群落变化规律,探讨生物炭调控二者间相互作用机制。试验结果表明:在生物炭添加量为 5 ~ 60 t/hm^2 时,在黄瓜结果期可不同程度提高根际土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有机碳含量和全氮质量比;在 20 ~ 60 t/hm^2 时,可明显提高结果盛期根际土壤细菌中变形菌门、放线菌门、厚壁菌门丰度而降低酸杆菌门、绿弯菌门丰度;生物炭通过调控并提高变形菌门 γ -变形菌纲、放线菌门放线菌纲放线菌目等细菌数量和比例,促进根际土壤碱解氮、速效磷、速效钾质量比的提高;经综合比较,20 t/hm^2 的生物炭量处理效果优于其他处理,与对照相比,在结果盛期可提高根际土壤碱解氮质量比 39.86%、速效磷质量比 135.95%、速效钾质量比 81.35%、有机碳质量比 82.89%、全氮质量比 73.77%。

关键词: 黄瓜; 根际土壤; 生物炭; 养分; 细菌群落

中图分类号: S156.2; S154.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)11-0172-07

Effect of Biological Carbon on Nutrient and Bacterial Communities of Rhizosphere Soil of Facility Cucumber

Li Ming Hu Yun Huang Xiumei Zhang Qingmei Yin Chun

(College of Vocational Technical, Inner Mongolia Agricultural University, Baotou 014109, China)

Abstract: The rhizosphere soil of facility cucumber was selected to study the effect of different biological carbon contents on changing rule of nutrient content and bacterial communities, and the regulated mechanism between nutrient content and bacterial communities during fruit growth stage. The treatments were amount of 5 t, 10 t, 20 t, 40 t and 60 t biological carbon respectively added in per hectare, and the test control was the soil which did not added biological carbon in the experiment. The results showed that the content of rhizosphere soil alkali hydrolysis nitrogen, available phosphorus, available potassium, organic carbon, total nitrogen content were improved in various degree with amount of 5 ~ 60 t/hm^2 of biological carbon, that bacteria abundance of *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Firmicutes* were increased but bacteria abundance of *Acidobacteria*, *Chloroflexi* were reduced with amount of 20 ~ 60 t/hm^2 of biological carbon, that contents of soil alkali hydrolysis nitrogen, available phosphorus and available potassium were promoted improvement by biochar regulating and improving quantity and proportion of *Proteobacteria* *Gammaproteobacteria* and *Actinobacteria* *Actinobacteria* *Actinomycetales*. The study also showed that by comprehensive comparison, the effect of amount of 20 t/hm^2 of biological carbon was better than that of other treatments, and the treatment of amount of 20 t/hm^2 significantly and respectively increased rhizosphere soil alkaline nitrogen content by 39.86%, available phosphorus content by 135.95%, available potassium content by 81.35%, organic carbon content by 82.89%, and total nitrogen content by 73.77%, compared with the test control in full fruiting period of cucumber.

Key words: cucumber; rhizosphere soil; biological carbon; nutrient; bacterial communities

收稿日期: 2016-07-21 修回日期: 2016-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(51509132, 31660602)

作者简介: 李明(1975—), 男, 副教授, 博士, 主要从事设施蔬菜根土互作调控研究, E-mail: liming19750811@163.com

引言

生物炭应用于农业生产最早源于 19 世纪南美洲亚马逊盆地黑土的发现^[1]。我国是全球产出农业废弃物最多的国家,利用农业废弃物制备生物炭利于资源的合理利用^[2]。生物炭具有丰富的官能团和较大表面积可吸附养分离子并有效提高土壤肥力^[3],并且其本身富含碳、氮、氧、硫等多种养分元素和无机碳酸盐成分,可增加土壤有机碳及其它养分含量^[4],此外,生物炭可通过改变土壤 pH 值、阳离子交换量(CEC)等影响氮素转化并提高磷素有效性^[5-6]。CHAN 等^[7]发现土壤施用生物炭 20 t/hm² 以上时可减少化肥用量 10% 左右,勾芒芒等^[3]发现施加生物炭可提高番茄沙壤土有机质、碱解氮、速效磷、速效钾等肥力指标,总之,土壤中施用一定量生物炭有助于提高养分和肥力。细菌在土壤生态系统中可直接或间接参与生物炭在土壤中的降解、迁移和转化过程^[8],生物炭也可影响土壤细菌等微生物群落结构及其丰度,调控土壤环境因子和微生物之间的互相作用,促进并改良微生物生态系统^[9],从而对由微生物驱动的氮、磷、钾等营养元素循环转化产生影响,最终改变土壤质量和功能^[2]。ANDERSON 等^[10-11]田间和盆栽试验发现,生物炭可促进土壤中硝化螺旋菌属(*Nitrospira*)、叶杆菌属(*Phyllobacterium*)、慢生根瘤菌属(*Bradyrhizobium*)和生丝微菌属(*Hyphomicrobium*)生长,MUHAMMAD 等^[12]施加猪粪、果皮、芦苇、芫菁等不同生物炭到砂质壤土中发现,添加果皮炭的土壤中硫酸盐还原菌最丰富,邹春娇等^[13]研究生物炭添加日光温室内黄瓜连作基质发现可显著增加基质细菌和放线菌数量,降低真菌数量,增加微生物群落结构多样性。

目前,虽然生物炭影响土壤养分和细菌群落方面的研究较多,但生物炭影响设施土壤养分和细菌群落结构方面未见广泛报道,并且生物炭影响和调控设施土壤养分和细菌群落之间关系及其机制也有待进一步揭示和探索。本文针对北方设施土壤质量退化现状,通过添加不同梯度量生物炭,研究黄瓜根际土壤养分含量和细菌群落变化规律,探索生物炭改善设施土壤质量和优化黄瓜根际环境的机制,为生物炭在设施生产中的应用提供一定的理论依据。

1 试验材料和方法

1.1 试验材料

试验于 2015 年和 2016 年的 3—7 月份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”。土壤为沙壤土,有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷和速效钾质量比分别为 42.60、1.39、1.43、13.67、140.34、155.44、57.57 mg/kg,容重为 1.26 g/cm³,电导率为 101.15 μS/cm。生物炭购于辽宁金和福农业开发有限公司,由当年玉米秸秆在 400℃ 缺氧条件下燃烧 8 h 制成,主要性质为:C、N 和 H 质量分数分别为 47.17%、0.71% 和 3.83%,碳氮比为 67.03%,pH 值为 9.04,有机质、碱解氮、速效磷和速效钾质量比分别为 925.74、159.15、394.18、783.98 mg/kg。

1.2 试验方法

采用田间试验法,以土壤不添加生物炭为对照(CK),设 C5、C10、C20、C40 和 C60 5 个处理,即分别在黄瓜定植前土壤表层 0~30 cm 处每 hm² 均匀施入 5 t、10 t、20 t、40 t 和 60 t 生物炭。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,各处理生长期水肥等管理措施一致。在黄瓜结果前期(5 月 20 日)、盛期(6 月 15 日)和后期(7 月 15 日),每种处理均用抖落法分别取 3 处样地(样地间距 2~3 m)根际 0~20 cm 处土壤,测定有机碳、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾质量比,取平均值;在结果盛期用抖落法分别取各处理 6 处样地(样地间距 2~3 m)根际 0~20 cm 处土壤均匀混合,测定细菌物种群落。

1.3 测定方法

土壤有机碳、全碳、碱解氮、速效磷和速效钾质量比分别用重铬酸钾外加热法、半微量凯氏定氮法、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,碳氮比由有机碳和全氮质量比的比值得出;细菌物种用 16SrDNA 测序的高通量测定法,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,用于簇生成及 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 clean 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 2003 整理,处理间养分含量差异用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA),显著性水平为 0.01,以平均值 ± 标准差的形式来表达,用 SPSS 19.0 软件作数据间 pearson 相关分析;用 RDP、Greengenes 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 Heatmap 图,基于各处理的 OUT 组成分析结果,用 euclidean、unweighted unfrac、weighted unfrac 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,将聚类后结果表示在 Heatmap 图上。

2 结果与分析

2.1 生物炭对黄瓜结果前期、盛期和后期根际土壤养分的影响

表 1~3 分别为黄瓜结果前期、盛期和后期测定的根际 0~20 cm 土壤养分质量比和碳氮比。从表 1 可见,在结果前期,各处理土壤碱解氮质量比均极显著高于对照,C5、C10、C20、C40 和 C60 处理分别较对照高 33.10%、55.39%、89.15%、68.09% 和

70.70%;各处理速效磷质量比均极显著高于对照,C5、C10、C20、C40 和 C60 处理分别较对照高 70.65%、106.43%、159.39%、156.39% 和 141.09%;各处理速效钾质量比均极显著高于对照,C5、C10、C20、C40 和 C60 处理分别较对照高 30.25%、52.95%、104.46%、65.47% 和 54.96%;有机碳质量比 C10 和 C20 处理均极显著比对照高 40.96% 和 51.69%,而其他处理与对照差异不显著;全氮质量比 C10 和 C20 处理均极显著比对照高 33.33% 和 44.87%,而其他处理与对照差异不显著;碳氮比各处理均与对照差异不显著。

从表 2 可见,在结果盛期,土壤碱解氮质量比 C20 处理极显著高于对照,高出 39.86%,C10、C40 和 C60 处理显著高于对照,分别高 25.42%、30.05% 和 22.69%,C5 处理与对照差异不显著;速

表 1 不同处理对黄瓜结果前期土壤养分的影响

Tab. 1 Effects of different treatments on soil nutrient in early fruiting period of cucumber

处理	碱解氮质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机碳质量比/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮质量比/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碳氮比
CK	43.69 ± 3.78 ^{dD}	23.00 ± 3.58 ^{dD}	66.18 ± 1.77 ^{dD}	20.41 ± 3.43 ^{cC}	0.78 ± 0.10 ^{bC}	26.05 ± 2.91 ^{aA}
C5	58.15 ± 8.51 ^{cC}	39.25 ± 4.21 ^{cC}	86.20 ± 4.40 ^{cC}	24.02 ± 3.46 ^{bCABC}	0.84 ± 0.12 ^{bBC}	29.78 ± 4.46 ^{aA}
C10	67.89 ± 5.82 ^{bBC}	47.78 ± 4.52 ^{bBC}	101.22 ± 3.94 ^{bB}	28.77 ± 4.02 ^{abAB}	1.04 ± 0.13 ^{aAB}	27.85 ± 2.78 ^{aA}
C20	82.64 ± 5.95 ^{aA}	59.66 ± 3.69 ^{aA}	135.31 ± 10.21 ^{aA}	30.96 ± 2.90 ^{aA}	1.13 ± 0.08 ^{aA}	27.50 ± 4.09 ^{aA}
C40	73.44 ± 8.15 ^{abAB}	58.97 ± 5.61 ^{aA}	109.51 ± 9.53 ^{bB}	21.18 ± 2.31 ^{cBC}	0.81 ± 0.02 ^{bBC}	26.16 ± 2.92 ^{aA}
C60	74.58 ± 2.73 ^{abAB}	55.45 ± 8.62 ^{aB}	102.55 ± 5.76 ^{bB}	22.91 ± 4.54 ^{cABC}	0.78 ± 0.13 ^{bC}	30.41 ± 2.97 ^{aA}

注:同列中不同小写字母表示达到差异性显著 ($\alpha < 0.05$),同列中不同大写字母表示达到极显著差异 ($\alpha < 0.01$),下同。

表 2 不同处理对黄瓜结果盛期土壤养分的影响

Tab. 2 Effects of different treatments on soil nutrient in full fruiting period of cucumber

处理	碱解氮质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机碳质量比/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮质量比/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碳氮比
CK	45.36 ± 4.43 ^{cB}	24.17 ± 2.26 ^{dC}	77.09 ± 5.22 ^{dC}	15.08 ± 2.59 ^{dC}	0.61 ± 0.09 ^{bC}	24.79 ± 1.96 ^{aA}
C5	50.10 ± 3.30 ^{bCAB}	26.19 ± 4.07 ^{edC}	80.43 ± 8.11 ^{dC}	21.23 ± 3.82 ^{bCBC}	1.07 ± 0.23 ^{aA}	20.16 ± 1.58 ^{bB}
C10	56.89 ± 5.66 ^{abAB}	31.12 ± 1.33 ^{cC}	98.52 ± 7.72 ^{cB}	24.86 ± 2.91 ^{abAB}	1.03 ± 0.05 ^{aA}	24.32 ± 3.12 ^{abAB}
C20	63.44 ± 7.43 ^{aA}	57.03 ± 5.97 ^{aA}	139.80 ± 5.57 ^{aA}	27.58 ± 0.52 ^{aA}	1.06 ± 0.05 ^{aA}	26.13 ± 1.41 ^{aA}
C40	58.99 ± 5.50 ^{abAB}	60.38 ± 4.00 ^{aA}	132.65 ± 9.37 ^{abA}	19.01 ± 2.46 ^{cdBC}	0.75 ± 0.10 ^{bBC}	25.54 ± 1.88 ^{aA}
C60	55.65 ± 8.18 ^{abAB}	40.23 ± 3.93 ^{bB}	123.50 ± 12.48 ^{bA}	19.29 ± 2.46 ^{cdBC}	0.96 ± 0.11 ^{aAB}	20.11 ± 0.94 ^{bB}

表 3 不同处理对黄瓜结果后期土壤养分的影响

Tab. 3 Effects of different treatments on soil nutrient in later fruiting period of cucumber

处理	碱解氮质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效磷质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	速效钾质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有机碳质量比/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮质量比/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	碳氮比
CK	45.63 ± 6.47 ^{bA}	15.11 ± 1.39 ^{bB}	100.08 ± 4.59 ^{cC}	26.23 ± 1.87 ^{cdBC}	0.90 ± 0.19 ^{bB}	31.02 ± 4.74 ^{aA}
C5	55.37 ± 5.64 ^{aA}	20.06 ± 3.09 ^{aB}	105.25 ± 2.83 ^{cC}	30.28 ± 2.29 ^{abAB}	1.35 ± 0.20 ^{aA}	22.68 ± 2.28 ^{bB}
C10	56.76 ± 5.34 ^{aA}	23.83 ± 4.02 ^{aA}	134.50 ± 6.69 ^{abAB}	32.85 ± 1.70 ^{aA}	1.27 ± 0.15 ^{abAB}	26.14 ± 3.02 ^{abAB}
C20	46.74 ± 5.41 ^{bA}	22.60 ± 4.08 ^{aA}	148.02 ± 10.42 ^{aA}	28.49 ± 4.78 ^{bCABC}	1.08 ± 0.16 ^{abcAB}	27.63 ± 2.56 ^{abAB}
C40	45.63 ± 4.01 ^{bA}	22.16 ± 2.97 ^{aA}	117.51 ± 19.14 ^{bCBC}	23.62 ± 3.05 ^{dC}	1.01 ± 0.16 ^{bCAB}	24.44 ± 4.97 ^{bAB}
C60	45.08 ± 4.97 ^{bA}	21.40 ± 2.42 ^{aA}	111.80 ± 16.44 ^{cBC}	26.76 ± 1.89 ^{bcdBC}	0.99 ± 0.15 ^{bCAB}	27.72 ± 2.49 ^{abAB}

效磷质量比 C20、C40 和 C60 处理分别极显著比对照高 135.95%、149.81% 和 66.45%，C10 处理显著比对照高 28.75%，C5 处理与对照差异不显著；速效钾质量比 C10、C20、C40 和 C60 处理均极显著高于对照，分别高 27.80%、81.35%、72.07% 和 60.20%，C5 处理与对照差异不显著；有机碳质量比 C10 和 C20 处理极显著比对照高 64.85% 和 82.89%，C5 处理显著高出对照 40.78%，C40 和 C60 处理与对照差异不显著；全氮质量比除 C40 处理与对照差异不显著外，其他处理均极显著高于对照，C5、C10、C20 和 C60 处理分别较对照高 75.41%、68.85%、73.77% 和 57.38%；碳氮比 C5 和 C60 处理均极显著低于对照，其他处理与对照差异不显著。

从表 3 可见，在结果后期，土壤碱解氮质量比 C5 和 C10 处理均显著高出对照 21.35% 和 24.39%，其他处理均与对照差异不显著；速效磷质量比 C5 处理显著高出对照 32.76%，C10、C20、C40 和 C60 处理均极显著高于对照，分别高 57.71%、49.57%、46.66% 和 41.63%；速效钾质量比 C10 和 C20 处理均极显著高出对照 34.39% 和 47.90%，其他处理均与对照差异不显著；有机碳质量比 C10 处理极显著高出对照 25.23%，C5 处理显著高出对照 15.44%，C20、C40 和 C60 处理均与对照差异不显著；全氮质量比 C5 处理极显著高出对照 50.00%，C10 处理显著高于对照 41.11%，其他处理均与对照差异不显著；碳氮比 C5 处理极显著低于对照，C40 处理显著低于对照，其他处理均与对照差异不显著。

2.2 生物炭对黄瓜盛果期根际土壤细菌菌落丰度的影响

图 1 为黄瓜结果盛期根际土壤细菌门分类水平上的物种 Heatmap 图，利用 Heatmap 图将数据进行处理间丰度相似性聚类，通过颜色梯度及相似程度来反映各处理在各分类水平上群落组成的相似性和差异性，见图 1，经聚类分析可分为 C20、C40、C60 处理和 CK、C5、C10 处理两大类，其中 C20、C40、C60 处理为细菌物种较高的一类，CK、C5、C10 处理为细菌物种相对较少的一类，这说明，生物炭量在 20~60 t/hm² 范围内作用较为明显，而在 5~10 t/hm² 范围内作用效果不明显，进一步分析表明，C20、C40、C60 处理中又以 C20、C40 处理为相对 C60 较高物种的一类。具体可从门、纲、目 3 个分类水平上作丰度的比较，见表 4。

如表 4 所示，在门分类水平分析表明：变形菌门 (*Proteobacteria*)、酸杆菌门 (*Acidobacteria*)、放线菌门

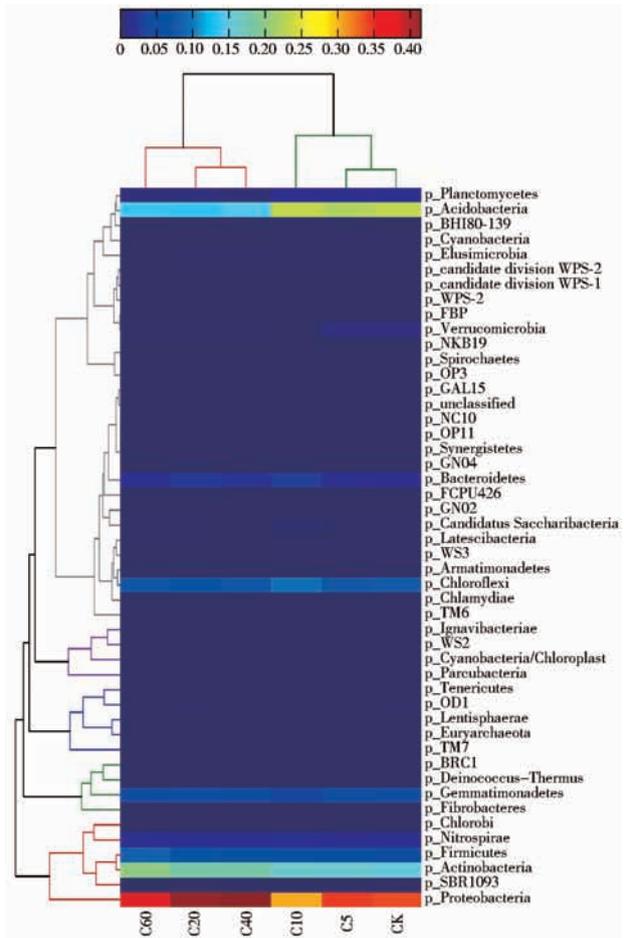


图 1 不同处理根际土壤的细菌菌落分类热图

Fig. 1 Heatmap of bacterial community of rhizosphere soil with different treatments

(*Actinobacteria*)、绿弯菌门 (*Chloroflexi*)、厚壁菌门 (*Firmicutes*) 构成了黄瓜根际土壤优势细菌菌群，占整个细菌群落比例达 87.2%。在生物炭施用量 20~60 t/hm² 范围内，可明显提高变形菌门 (*Proteobacteria*)、放线菌门 (*Actinobacteria*)、厚壁菌门 (*Firmicutes*) 的丰度，而降低酸杆菌门 (*Acidobacteria*)、绿弯菌门 (*Chloroflexi*) 的丰度。在纲分类水平分析表明：变形菌门 (*Proteobacteria*) α -变形菌纲 (*Alphaproteobacteria*)、 δ -变形菌纲 (*Deltaproteobacteria*)、 γ -变形菌纲 (*Gammaproteobacteria*)、 β -变形菌纲 (*Betaproteobacteria*)、放线菌门 (*Actinobacteria*) 放线菌纲 (*Actinobacteria*)、酸杆菌门 (*Acidobacteria*) Gp6 酸杆菌纲 (*Acidobacteria_Gp6*) 为优势细菌菌群，占细菌群落的 59.5%。在生物炭施用量 20~60 t/hm² 范围内，可明显提高变形菌门 (*Proteobacteria*) α -变形菌纲 (*Alphaproteobacteria*)、 δ -变形菌纲 (*Deltaproteobacteria*)、 γ -变形菌纲 (*Gammaproteobacteria*)、放线菌门 (*Actinobacteria*) 放线菌纲 (*Actinobacteria*) 丰度，明显降低酸杆菌门

表4 细菌在门、纲、目分类水平的丰度比较

Tab.4 Comparison of bacteria species abundance at level of classification of phylum, class and order

分类水平	物种 总数	占总数的 比例/%	CK 处理/	C5 处理/	C10 处理/	C20 处理/	C40 处理/	C60 处理/	
			%	%	%	%	%	%	
门分类水平	变形菌门	46 272	35.9	34.0	34.6	30.4	41.2	41.5	38.5
	酸杆菌门	24 899	19.3	23.3	22.5	23.6	13.9	14.9	14.2
	放线菌门	22 324	17.3	15.4	16.1	16.3	18.3	18.3	20.1
	绿弯菌门	10 476	8.1	8.0	7.7	9.7	6.9	7.5	7.4
	厚壁菌门	8 569	6.6	5.6	6.0	6.2	7.1	6.6	8.6
纲分类水平	变形菌门 α -变形菌纲	22 900	17.7	17.2	16.5	13.3	20.3	22.1	21.5
	变形菌门 δ -变形菌纲	8 384	6.5	6.1	6.8	5.8	7.9	6.9	6.1
	变形菌门 γ -变形菌纲	8 207	6.4	5.5	5.8	6.2	7.1	7.2	6.4
	变形菌门 β -变形菌纲	6 706	5.2	5.1	5.5	5.0	5.9	5.3	4.5
	放线菌门放线菌纲	20 026	15.5	13.8	14.4	14.6	16.4	16.5	17.9
	酸杆菌门 Gp6 酸杆菌纲	10 638	8.2	10.2	9.8	10.7	5.6	5.8	5.3
目分类水平	放线菌门放线菌纲放线菌目	11 742	9.1	8.0	8.6	8.6	9.5	9.9	10.5
	酸杆菌门 Gp6 酸杆菌纲 GP6 目	10 638	8.2	10.2	9.8	10.7	5.6	5.8	5.3
	变形菌门 α -变形菌纲根瘤菌目	11 501	8.9	8.6	7.8	6.1	10.4	11.8	11.5
	变形菌门 δ -变形菌纲粘球菌目	5 576	4.3	4.0	4.7	3.8	5.3	4.6	3.9

(*Acidobacteria*) Gp6 酸杆菌纲 (*Acidobacteria_Gp6*) 的丰度。在目分类水平分析表明:放线菌门 (*Actinobacteria*) 放线菌纲 (*Actinobacteria*) 放线菌目 (*Actinomycetales*), 酸杆菌门 (*Acidobacteria*) Gp6 酸杆菌纲 (*Acidobacteria_Gp6*) GP6 目 (*Gp6*)、变形菌门 (*Proteobacteria*) α -变形菌纲 (*Alphaproteobacteria*) 根瘤菌目 (*Rhizobiales*)、 δ -变形菌纲 (*Deltaproteobacteria*) 粘球菌目 (*Myxococcales*) 为优势细菌菌群,占细菌群落的 30.5%。在生物炭施用量 20 ~ 60 t/hm² 范围内,可明显提高放线菌门 (*Actinobacteria*) 放线菌纲 (*Actinobacteria*) 放线菌目 (*Actinomycetales*), 变形菌门 (*Proteobacteria*) α -变形菌纲 (*Alphaproteobacteria*) 根瘤菌目 (*Rhizobiales*)、 δ -变形菌纲 (*Deltaproteobacteria*) 粘球菌目 (*Myxococcales*) 的丰度,降低酸杆菌门 (*Acidobacteria*) Gp6 酸杆菌纲 (*Acidobacteria_Gp6*) GP6 目 (*Gp6*) 的丰度。

2.3 生物炭处理下黄瓜根际土壤养分和细菌菌落比例相关性分析

表5为细菌群落比例与养分种类的相关性分析,从表中可见,在门分类水平上,变形菌门 (*Proteobacteria*) 比例与速效磷、速效钾质量比均显著正相关,放线菌门 (*Actinobacteria*) 比例与速效钾质量比显著正相关,酸杆菌门 (*Acidobacteria*) 比例与速效磷和速效钾质量比显著负相关;在纲分类水平上,变形菌门 (*Proteobacteria*) γ -变形菌纲 (*Gammaproteobacteria*) 比例与碱解氮、速效磷、速效钾质量比之间均极显著正相关,放线菌门 (*Actinobacteria*) 放线菌纲 (*Actinobacteria*) 比例与速

效钾质量比显著正相关,酸杆菌门 (*Acidobacteria*) Gp6 酸杆菌纲 (*Acidobacteria_Gp6*) 比例与速效磷、速效钾质量比显著负相关;在目分类水平上,放线菌门 (*Actinobacteria*) 放线菌纲 (*Actinobacteria*) 放线菌目 (*Actinomycetales*) 比例与速效钾质量比显著正相关,酸杆菌门 (*Acidobacteria*) Gp6 酸杆菌纲 (*Acidobacteria_Gp6*) GP6 目 (*Gp6*) 比例与速效磷、速效钾质量比显著负相关。

3 讨论

生物炭由于孔隙度发达而具吸附性,可吸附并存储养分供给作物生长,并且生物炭自身有一定养分,尤以速效钾含量较高,可满足作物对钾肥的部分需求^[14]。本试验中,不同处理在结果期均在一定程度提高了根际土壤中速效钾含量,这对于连年种植且氮、磷肥偏多的设施土壤非常必要,极大补充了土壤中钾元素不足的短板,提高了土壤品质。本试验中,经生物炭处理,黄瓜根际土壤养分含量得到不同程度提高,这与邹春娇等^[13]和勾芒芒等^[3]的试验结果一致。试验中不同处理土壤养分质量比存在差异,可能与各处理的生物炭量差异有关:一方面,导致各处理有机酸含量不同,从而使有机酸溶解、螯合和吸附等活化土壤中难溶态养分的程度不同,产生速效氮、磷、钾的含量也不同;另一方面,导致各处理间土壤微生物数量和种类差别不断加大,最终使得促进养分转化和循环的动力在时间和空间上存在差异而导致不同。

土壤施用生物炭后,可促进并改良土壤微生物生态系统^[9],许多研究^[9,15-16]表明:生物炭处理后,

表 5 土壤养分与细菌群落比例相关性分析

Tab. 5 Correlations between soil nutrient and ratio of bacterial community

细菌群落名称	养分种类					
	碱解氮	速效磷	速效钾	有机碳	全氮	碳氮比
变形菌门	0.580	0.873 *	0.819 *	-0.086	-0.068	0.234
酸杆菌门	-0.719	-0.868 *	-0.930 **	-0.146	-0.113	-0.121
放线菌门	0.637	0.673	0.834 *	0.311	0.228	-0.171
绿弯菌门	-0.222	-0.529	-0.488	-0.043	0.047	0.040
厚壁菌门	0.502	0.438	0.675	0.489	0.324	-0.354
变形菌门 α -变形菌纲	0.401	0.747	0.732	-0.161	-0.219	0.058
变形菌门 δ -变形菌纲	0.571	0.671	0.562	0.176	0.285	0.364
变形菌门 γ -变形菌纲	0.924 **	0.982 **	0.956 **	0.034	0.197	0.453
变形菌门 β -变形菌纲	0.324	0.350	0.164	0.050	0.239	0.489
放线菌门放线菌纲	0.653	0.701	0.851 *	0.283	0.213	-0.141
酸杆菌门 Gp6 酸杆菌纲	-0.670	-0.843 *	-0.904 *	-0.120	-0.077	-0.075
放线菌门放线菌纲放线菌目	0.644	0.710	0.835 *	0.240	0.213	-0.176
酸杆菌门 Gp6 酸杆菌纲 GP6 目	-0.670	-0.843 *	-0.904 *	-0.120	-0.077	-0.075
变形菌门 α -变形菌纲根瘤菌目	0.396	0.742	0.736	-0.186	-0.253	0.067
变形菌门 δ -变形菌纲粘球菌目	0.495	0.586	0.451	0.172	0.314	0.314

注: **表示在 0.01 水平上显著相关; * 表示在 0.05 水平上显著相关。

土壤中 90% 以上细菌为变形菌门、拟杆菌门 (*Bacteroidetes*)、放线菌门、厚壁菌门、酸杆菌门和疣微菌门 (*Verrucomicrobia*), 生物炭处理可增加土壤中拟杆菌门、放线菌门、酸杆菌门和疣微菌门丰度, 而降低变形菌门丰度。KOLTON 等^[16]在砂质土壤中添加 3% 柑橘木生物炭发现可增加拟杆菌门丰度而降低变形菌门丰度, NIELSEN 等^[15]发现生物炭处理农田土壤后酸杆菌门、放线菌门和疣微菌门丰度更高, PRAYOGO 等^[17]发现土壤中添加柳枝生物炭可增加放线菌丰度, 但 RUTIGLIANO 等^[18]在小麦土壤施加生物炭发现 3 个月后某些功能细菌多样性发生显著变化, 但 14 个月后各处理间功能细菌多样性无显著差异, 且试验期间生物炭对细菌基因多样性无显著影响, 说明生物炭不一定具有长期效应。在本试验中, 生物炭处理后变形菌门、酸杆菌门、放线菌门、绿弯菌门、厚壁菌门等构成了黄瓜根际土壤优势细菌群落, 处理 20 ~ 60 t/hm² 范围内可明显提高放线菌门、厚壁菌门丰度, 这与前人结果一致, 但在此范围内也可明显提高变形菌门而降低酸杆菌门、绿弯菌门丰度, 这与前人结果并不一致, 这可能与设施和大田土壤微生物种群、不同材料生物炭性质、生物炭处理方法等方面的差异有关。

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^[13-15, 19-20]。本试验中, 土壤中变形菌门 γ -变形菌纲比例与碱解氮、速效磷、速效钾质量比间均极显著正相关, 放线菌门放线菌纲放线

菌目比例与速效钾质量比显著正相关, 酸杆菌门 Gp6 酸杆菌纲 GP6 目比例与速效磷、速效钾质量比显著负相关。这说明: 生物炭通过调控并提高土壤中变形菌门 γ -变形菌纲、放线菌门放线菌纲放线菌目等细菌的比例, 促进土壤中碱解氮、速效磷、速效钾质量比的提高, 而酸杆菌门 Gp6 酸杆菌纲 GP6 目比例的增多却抑制土壤速效磷、速效钾质量比, 其内在的作用机制尚需进一步探索。

4 结论

(1) 设施黄瓜在生物炭量 5 ~ 60 t/hm² 处理范围内, 在结果期可不同程度提高根际土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有机碳、全氮的质量比; 在生物炭量 20 ~ 60 t/hm² 处理范围内, 可提高结果盛期根际土壤细菌物种种类并可明显提高变形菌门、放线菌门、厚壁菌门丰度而降低酸杆菌门、绿弯菌门丰度; 生物炭通过调控并提高根际土壤中变形菌门 γ -变形菌纲、放线菌门放线菌纲放线菌目等细菌数量和比例, 促进根际土壤碱解氮、速效磷、速效钾质量比的提高。

(2) 综合分析比较, 20 t/hm² 的生物炭量处理优于其他处理, 与对照相比, 极显著提高结果前期根际土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有机碳和全氮的质量比, 分别为 89.15%、159.39%、104.46%、51.69% 和 44.89%; 极显著提高结果盛期根际土壤碱解氮、速效磷、速效钾、有机碳和全氮的质量比, 分别为 39.86%、135.95%、81.35%、82.89% 和 73.77%; 极显著提高结果后期根际土壤速效磷和速效钾的质量比, 分别为 49.57% 和 47.90%。

参 考 文 献

- 1 GOLDBERG E D. Black carbon in the environment: Properties and distribution[M]. New York: John Wiley, 1985.
- 2 王欣,尹带霞,张凤,等.生物炭对土壤肥力与环境质量的影响机制与风险解析[J].农业工程学报,2015,31(4):248-257.
WANG Xin, YIN Daixia, ZHANG Feng, et al. Analysis of effect mechanism and risk of biochar on soil fertility and environmental quality[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(4):248-257. (in Chinese)
- 3 勾芒芒,屈忠义,杨晓,等.生物炭对砂壤土节水保肥及番茄产量的影响研究[J].农业机械学报,2014,45(1):137-142.
GOU Mangmang, QU Zhongyi, YANG Xiao, et al. Study on the effects of biochar on saving water, preserving fertility and tomato yield[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(1):137-142. (in Chinese)
- 4 WOOLF D, AMONETTE J E, STREET-PERROTT F A, et al. Sustainable biochar to mitigate global climate change[J]. Nature Communications, 2010, 1: Number 56.
- 5 ZHAO X, WANG S Q, XING G X. Nitrification, acidification, and nitrogen leaching from subtropical cropland soils as affected by rice straw-based biochar: laboratory incubation and column leaching studies[J]. Journal of Soils and Sediments, 2014, 14(3): 471-482.
- 6 LIANG B, LEHMANN J, SOLOMON D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(5): 1719-1730.
- 7 CHAN K Y, VAN ZWIETEN L, MESZAROS I, et al. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment[J]. Australian Journal of Soil Research, 2007, 45(8): 629-634.
- 8 KHODADAD C L M, ZIMMERMAN A R, GREEN S J, et al. Taxa-specific changes in soil microbial community composition induced by pyrogenic carbon amendments[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2011, 43(2): 385-392.
- 9 丁艳丽,刘杰,王莹莹.生物炭对农田土壤微生物生态的影响研究进展[J].应用生态学报,2013,24(11):3311-3317.
DING Yanli, LIU Jie, WANG Yingying. Effects of biochar on microbial ecology in agriculture soil: a review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(11):3311-3317. (in Chinese)
- 10 ANDERSON C R, HAMONTS K, CLOUGH T J, et al. Biochar does not affect soil N-transformations or microbial community structure under ruminant urine patches but does alter relative proportions of nitrogen cycling bacterial [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2014, 191: 63-72.
- 11 ANDERSON C R, CONDRON L M, CLOUGH T J, et al. Biochar induced soil microbial community change: implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus[J]. Pedobiologia, 2011, 54(5): 309-320.
- 12 MUHAMMAD N, DAI Z, XIAO K, et al. Changes in microbial community structure due to biochars generated from different feedstocks and their relationships with soil chemical properties[J]. Geoderma, 2014, 226-227: 270-278.
- 13 邹春娇,张勇勇,张一鸣,等.生物炭对设施连作黄瓜根域基质酶活性和微生物的调节[J].应用生态学报,2015,26(6): 1772-1778.
ZOU Chunjiao, ZHANG Yongyong, ZHANG Yiming, et al. Regulation of biochar on matrix enzyme activities and microorganisms around cucumber roots under continuous cropping[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(6):1772-1778. (in Chinese)
- 14 杜衍红,蒋恩臣,王明峰,等.炭-肥互作对芥菜生长和肥料利用率的影响[J].农业机械学报,2016,47(4):59-64.
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]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(4): 59-64. (in Chinese)
- 15 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.
- 16 KOLTON M, HAREL Y M, PASTERNAK Z, et al. Impact of biochar application to soil on the root-associated bacterial community structure of fully developed greenhouse pepper plants[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2011, 77(14): 4924-4930.
- 17 PRAYOGO C, JONES J E, BAEYENS J, et al. Impact of biochar on mineralisation of C and N from soil and willow litter and its relationship with microbial community biomass and structure[J]. Biology and Fertility of Soils, 2014, 50(4): 695-702.
- 18 RUTIGLIANO F A, ROMANO M, MARZAIOLI R, et al. Effect of biochar addition on soil microbial community in a wheat crop [J]. European Journal of Soil Biology, 2014, 60: 9-15.
- 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].农业机械学报,2015,46(8):121-129.
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]. 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].农业机械学报,2013,44(5):108-112.
YANG Ning, ZHANG Rongbiao, ZHANG Yongchun, et al. Soil fertility synthesis evaluation model based on ecological benefit of microorganism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(5):108-112. (in Chinese)