

# 生物炭对设施连作黄瓜根域基质酶活性和微生物的调节\*

邹春娇 张勇勇 张一鸣 郭小鸥 李明静 李天来\*\*

(沈阳农业大学园艺学院省部共建教育部设施园艺重点实验室/辽宁省设施园艺重点实验室, 沈阳 110866)

**摘要** 以日光温室内连作6年(11茬)营养基质作为对照进行黄瓜盆栽试验,研究添加量为5%和3%(质量比)的生物炭对营养基质中酶活性、微生物数量及群落结构的调节作用.结果表明:经生物炭处理后,在定植30~120 d,基质的过氧化物酶活性均显著提高至1茬水平,且5%生物炭处理效果显著高于3%生物炭处理,中性磷酸酶活性则显著低于对照;在定植30~90 d,仅5%生物炭处理对蔗糖酶和脲酶活性有明显的调节作用.经生物炭处理后,基质内细菌和放线菌数量在定植30~90 d均有所增加,真菌数量则均降低,且5%生物炭处理效果显著高于3%生物炭处理.同时,生物炭处理能够显著提高基质内细菌的群落结构多样性.说明生物炭的添加对连作营养基质中的酶活性、微生物数量及群落结构有明显的调节作用.

**关键词** 连作; 营养基质; 生物炭; 细菌群落结构

**文章编号** 1001-9332(2015)06-1772-07 **中图分类号** S642.2 **文献标识码** A

**Regulation of biochar on matrix enzyme activities and microorganisms around cucumber roots under continuous cropping.** ZOU Chun-jiao, ZHANG Yong-yong, ZHANG Yi-ming, GUO Xiao-ou, LI Ming-jing, LI Tian-lai<sup>1</sup> (*Ministry of Education Key Laboratory of Protected Horticulture Coconstructed by Liaoning Province and Ministry of Education/Liaoning Province Key Laboratory of Protected Horticulture, College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2015, 26(6): 1772-1778.

**Abstract:** The effects of addition of biochar on the matrix enzymes activity, microorganisms population and microbial community structure were evaluated under cucumber continuous cropping for 6 years (11 rotations). Cucumbers were grown in pots in greenhouse with 5% or 3% of medium (by mass) substituted with biochar. The control consisted of medium alone without biochar. The results showed that the activity of peroxidase was significantly improved to the level of the first rotation crop from 30 to 120 d after planting in both biochar treatments, with the effect of 5% biochar being more significant than that of 3% biochar. However, the neutral phosphatase activity was markedly reduced after biochar treatment. The addition of 5% biochar had significant regulation effect on the activities of invertase and urease from 30 to 90 d after planting, while the addition of 3% biochar had little effect. The populations of bacteria and actinomycetes were increased and the fungi population was reduced in both biochar treatments from 30 to 90 d after planting, and the effect of 5% biochar was more significant than that of 3% biochar. Meanwhile, the addition of biochar significantly increased the diversity of the bacterial community structure. In summary, biochar had obvious regulation effect on soil enzyme activity, microorganism quantity and microbial community in continuous cropping nutrition medium.

**Key words:** continuous cropping; nutrition medium; biochar; bacterial community structure.

近年来我国设施蔬菜连作障碍日趋严重<sup>[1-2]</sup>,

影响到设施蔬菜产业的健康和可持续发展.作物连作障碍的影响因素很多,其中因连作导致的土壤中微生物区系及酶活性改变<sup>[3]</sup>,是造成作物生育障碍的重要因素之一.如黄瓜连作会引起土壤中尖孢镰

\* 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-25)和辽宁省重大科技攻关项目(2011215003)资助.

\*\* 通讯作者. E-mail: tianlaili@126.com

2014-07-10 收稿, 2015-03-31 接受.

刀菌(*Fusarium oxysporum*)大量繁殖,成为优势真菌种群,从而导致黄瓜枯萎病发病率升高<sup>[4-6]</sup>.研究认为,土壤微生物区系、数量及酶活性的变化,与土壤理化性质、生物性状以及各种土壤病虫害的发生均有密切的关系<sup>[7]</sup>.一些土壤微生物作为植物病原菌可直接影响植物生长发育,或者通过微生物之间的互作,间接对植物生长发育起到促进或抑制作用<sup>[8]</sup>.研究作物连作土壤的微生物区系及酶活性调控是避免作物连作障碍的重要手段之一.作物营养基质栽培在一定程度上克服严重连作障碍<sup>[9-13]</sup>,但作物营养基质经多年连作栽培后也会导致障碍发生,需要不断更换基质从而导致人力、物力的大量消耗.因此,探索防止和修复作物营养基质连作障碍的方法,对作物营养基质栽培具有重要意义.

生物炭是有机物质在高温缺氧环境下热降解的产物<sup>[14]</sup>.某些类型的生物炭可能通过外渗炭刺激微生物活动,增加微生物丰度<sup>[15]</sup>.生物炭作为一种新型材料,在土壤改良和修复方面有许多优良的特性,可改变土壤生物群落结构和数量<sup>[16-18]</sup>.但有关生物炭对设施作物连作栽培中的土壤修复作用尚缺乏系统研究,特别是对作物营养基质连作栽培中生育障碍的修复作用更未见报道.本文以日光温室内连作11 茬黄瓜的营养基质为研究对象,采用生物炭作为修复剂,研究生物炭对黄瓜连作营养基质中微生物数量、群落多样性及酶活性的修复作用,为应用生物炭修复设施黄瓜连作障碍营养基质提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2012年春季在沈阳农业大学科研基地的日光温室内进行.采用盆栽方式,盆上口直径33.7 cm、下口直径30.5 cm,高32 cm.供试黄瓜品种为“津优30”.营养基质堆制方法:稻草切碎后与土以

体积比2:1混合,加入膨化鸡粪15 kg·m<sup>-3</sup>,充分混合,60℃下发酵腐熟.第1茬基质为2012年春按上述方法堆制并进行试验的营养基质;第11茬基质为2006年春季堆制,每年种植两茬黄瓜,2011年秋茬得到的营养基质.试验设种植1茬、种植11茬添加3%和5%生物炭(百分比为生物炭与基质质量之比)处理,以种植11茬无生物炭添加为对照(CK),每处理4次重复.黄瓜幼苗长到两叶一心时定植,每盆定植1株,按照株距45 cm、行距60 cm的标准摆放种植盆.定植后采用常规田间管理.生物炭为辽宁省生物炭工程技术研究中心提供,营养基质及生物炭理化性质如表1.

定植后每隔30 d取样,共取4次.按多点法采集黄瓜根系周围0~20 cm基质,剔除石砾和植物残茬等杂物,得到混合样.新鲜基质样品一部分置于4℃冰箱保存,供微生物数量及酶活性分析;一部分置于-20℃冰箱保存,供微生物多样性分析.

1.2 测定方法

脲酶活性测定采用苯酚钠比色法,中性磷酸酶活性测定采用磷酸苯二钠比色法,过氧化物酶活性测定采用邻苯三酚比色法,土壤转化酶活性测定采用3,5-二硝基水杨酸比色法.可培养微生物数量测定采用常规稀释平板法,细菌数量测定采用牛肉膏蛋白胨培养法,放线菌数量测定采用高氏一号培养基培养法,真菌数量测定采用马丁氏培养基培养法.

土壤样品总DNA的提取采用康维世纪公司提供的试剂盒.细菌16S rDNA PCR扩增通过降落PCR扩增DNA片段.PCR扩增以提取的DNA为模板,采用细菌16S rDNA的通用引物F341-GC和R519进行扩增.引物序列如表2所示,PCR反应程序为95℃预变性4 min,然后94℃30 s、60℃30 s、72℃30 s,9个循环;94℃30 s、60℃30 s、72℃30 s,9个循环,每个循环降低0.5℃;94℃30 s、

表 1 营养基质及生物炭的理化性质  
Table 1 Physico-chemical properties of nutrition medium and biochar

基质 Medium	有机质 Organic matter (g·kg <sup>-1</sup> )	全 N Total N (g·kg <sup>-1</sup> )	全 P Total P (g·kg <sup>-1</sup> )	全 K Total K (g·kg <sup>-1</sup> )	碱解 N Available N (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效 P Available P (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效 K Available K (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH	土壤 电导率 EC (mS·cm <sup>-1</sup> )
新营养基质 New nutrition medium	47.06	2.07	1.46	11.59	210.20	352.72	308.94	7.25	1.028
1 茬营养基质 Nutrition medium of 1 rotation	45.35	2.21	1.59	20.47	225.01	350.40	320.85	7.2	1.063
11 茬营养基质 Nutrition medium of 11 rotations	34.12	2.39	1.02	16.89	218.12	354.10	206.15	6.29	1.265
生物炭 Biochar	—	2.53	0.78	1.68	136.08	311.91	324.15	9.05	1.652

表 2 PCR 引物  
Table 2 PCR primers

引物 Primer	碱基序列 Primer sequence <sup>*</sup>
F341-GC	CGCCGCGCGCGCGCGGGCGGGCGGGG- GGCACGGGGGGCCTACGGGAGGCAGCAG
R519	ATTACGCGGCTGCTGG

55 ℃ 30 s、72 ℃ 30 s、9 个循环;72 ℃ 8 min、10 ℃ 保存.细菌 PCR 反应体系为 DNA 7 μL,F341-GC 1 μL,R519 1 μL,Taq 酶体系 25 μL,重蒸馏水补足至 50 μL.

PCR 产物的 DGGE 采用 DGGE system(D-Code, Bio-Rad),DGGE 试剂为无离子水、丙烯酰胺、尿素、Tris、EDTA、乙酸、去离子甲酰胺、TEMED、过硫酸胺、Genefinder 核酸染料.PCR 产物上样量为 40 μL,在 60 ℃ 1×TAE 缓冲液中,180 V 电压下电泳 6 h 后将胶取出采用 Genefinder 进行染色,用凝胶成像系统分析,观察每个样品的电泳条带并拍照.DGGE 指纹图谱采用 Quantity One 软件进行分析.

2 结果与分析

2.1 生物炭对黄瓜连作营养基质中酶活性的调节作用

营养基质连作 11 茬黄瓜后,几种主要酶活性变

化趋势及生物炭对黄瓜连作基质中酶活性的调节作用如图 1 所示.定植 30 d 时,各处理和对照(CK)基质中的过氧化物酶活性均无显著差异;定植 60、90、120 d 时,种植 1 茬和种植 11 茬后添加 5%及 3%生物炭处理的基质中过氧化物酶活性均极显著或显著高于 CK,添加 5%及 3%生物炭处理均可恢复或超过种植 1 茬的水平,且添加 5%生物炭的效果更显著.说明黄瓜营养基质连作可降低基质中过氧化物酶活性,经过 11 茬连作后添加 5%及 3%生物炭可一定程度恢复过氧化物酶活性.

定植 30~120 d,CK 基质中的中性磷酸酶活性均高于种植 1 茬,但未达到显著水平;种植 11 茬后添加 5%生物炭处理基质中的中性磷酸酶活性极显著低于 CK 及种植 1 茬,添加 3%生物炭处理基质中的中性磷酸酶活性与 CK 及种植 1 茬相比也有所降低,但差异不显著;随着时间的延长,5%及 3%生物炭处理与 CK 的差异减小.说明黄瓜营养基质连作可提高基质的中性磷酸酶活性,而连作后添加 5%及 3%生物炭可降低其活性.

定植 30~120 d,CK 基质中的蔗糖酶活性明显低于种植 1 茬,其中 60 及 120 d 时差异达到极显著水平.种植 11 茬后添加 5%生物炭处理,基质中蔗糖酶活性在定植 30 d 时与 CK 及 1 茬无差异;定植

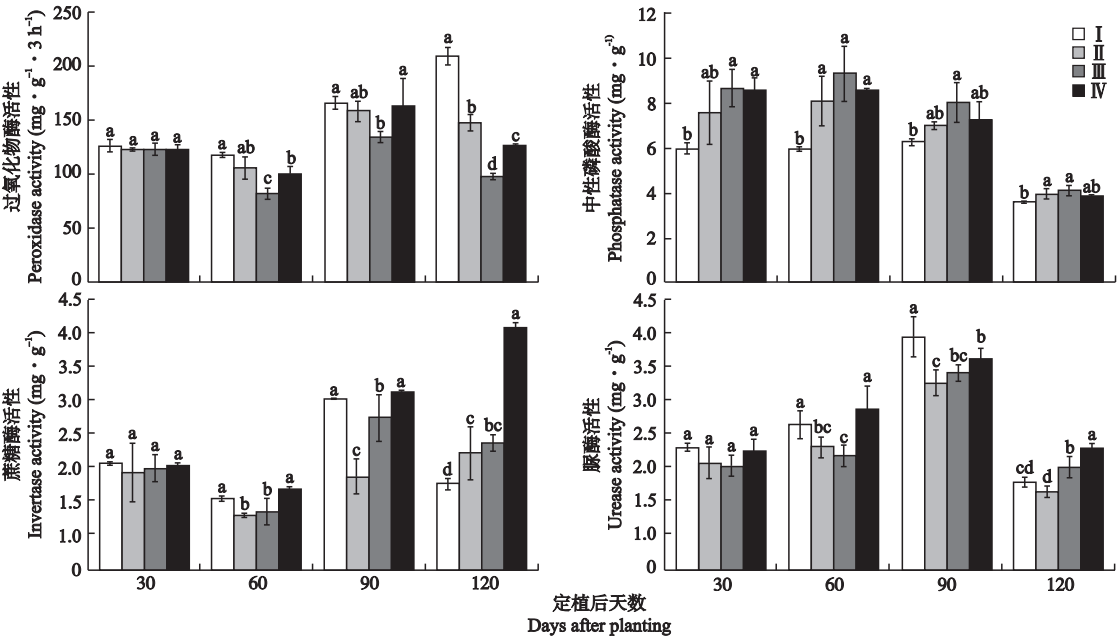


图 1 生物炭对黄瓜连作基质中酶活性的调节作用

Fig.1 Regulation of biochar on soil enzymes in continuous cucumber cropping nutrition medium.

I: 5%生物炭处理 5% biochar treatment; II: 3%生物炭处理 3% biochar treatment; III: 对照 Control; IV: 1 茬营养基质 The nutrition medium of 1 year. 同一取样时期不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in the same sampling date meant significant difference among treatments at 0.05 level. 下同 The same below.

60 d 时显著高于 CK,恢复到种植 1 茬水平;定植 90 d 时极显著高于 CK,与种植 1 茬无差异;定植 120 d 时极显著低于 CK 及种植 1 茬.种植 11 茬后添加 3% 生物炭处理,基质中蔗糖酶活性在定植 30 d 时与 CK 及 1 茬无显著差异;定植 60 d 时与 CK 无显著差异,但极显著低于种植 1 茬;定植 90 d 时极显著低于 CK 及种植 1 茬;定植 120 d 时极显著低于种植 1 茬,与 CK 无显著差异.说明黄瓜营养基质连作可降低基质中蔗糖酶活性,经过 11 茬连作后添加 5% 生物炭在黄瓜生长旺盛期对蔗糖酶活性有明显的调节作用,而添加 3% 生物炭对蔗糖酶活性无显著调节作用.

定植 30~120 d,CK 基质中的脲酶活性均明显低于种植 1 茬,其中种植 60 和 120 d 时差异达到极显著水平;种植 11 茬后添加 5% 生物炭处理在定植 30~90 d 基质中的脲酶活性明显高于 CK,处理 30 及 60 d 时与种植 1 茬无差异,处理 90 d 时显著高于种植 1 茬,但处理 120 d 时显著低于 CK,极显著低于种植 1 茬;种植 11 茬后添加 3% 生物炭处理,在定植 30 d 时基质中脲酶活性与 CK 及种植 1 茬无差异,60 d 时比 CK 有明显提高,但未达到种植 1 茬水平,在定植 90~120 d,基质中脲酶活性较 CK 明显降低.这说明黄瓜营养基质连作后基质中脲酶活性有所降低,添加 5% 生物炭可显著调节黄瓜连作营养基质中脲酶活性,添加 3% 生物炭可一定程度上调节脲酶活性,但效果不显著.

2.2 生物炭对黄瓜连作营养基质中微生物数量及种群结构的调节作用

图 2 显示,连作 11 茬后营养基质中细菌、放线菌数量发生显著改变.定植 30~90 d,CK 中的细菌数量显著低于种植 1 茬,其中 60 及 90 d 极显著低于种植 1 茬.种植 11 茬后添加 5% 生物炭处理,在定植 30~90 d,基质中细菌数量显著高于 CK,恢复到种植 1 茬的水平,其中定植 90 d 时极显著高于 CK,显著高于种植 1 茬.种植 11 茬后添加 3% 生物炭处理,在定植 30~90 d,基质中细菌数量高于 CK,与种植 1 茬间无差异,其中在定植 90 d 时极显著高于 CK.说明黄瓜营养基质连作后基质中细菌数量显著下降,添加生物炭后可显著调节恢复到种植 1 茬水平,且高浓度生物炭(5%)处理调节效果更明显.

定植 30~90 d,种植 1 茬基质中放线菌数量明显高于 CK,经 5% 生物炭处理的基质中放线菌数量均极显著高于 CK,可恢复或超过种植 1 茬的水平.经 3% 生物炭处理的基质中放线菌数量在定植 30 d

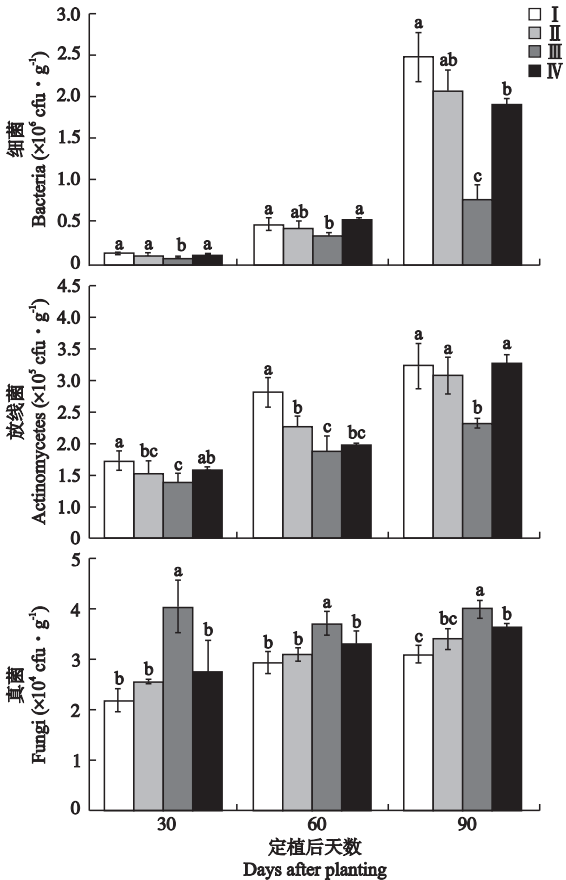


图 2 生物炭对设施黄瓜连作基质中微生物数量的调节作用  
Fig.2 Regulation of biochar on microbial quantity in continuous cucumber cropping nutrition medium.

时高于 CK,定植 60 d 时显著高于 CK,定植 90 d 时极显著高于 CK;在定植 30~90 d,与种植 1 茬均无差异.这说明黄瓜营养基质连作后会导致放线菌数量显著减少,添加生物炭对基质中放线菌数量有显著调节作用,且经 5% 生物炭处理的调节效果更明显.

定植 30~90 d,CK 中真菌数量显著高于种植 1 茬,其中,在定植后 30 d 时极显著高于种植 1 茬.种植 11 茬后添加 5% 生物炭处理,基质中真菌数量在定植 30 及 60 d 时极显著低于 CK,与种植 1 茬无差异;定植 90 d 时极显著低于 CK,显著低于种植 1 茬.种植 11 茬后添加 3% 生物炭处理的基质中真菌数量在定植 30~90 d 均极显著低于 CK,与种植 1 茬无差异.说明黄瓜营养基质连作导致真菌数量显著上升,添加生物炭后能够有效降低基质中真菌数量,且随着生物炭添加量的增加调节效果显著提高.

2.3 生物炭对黄瓜连作基质中细菌群落多样性的调节作用

应用 Quantity One 图像分析软件对 DGGE 图谱和条带分布进行定量分析(图 3).结果表明,与 CK



表 3 不同处理的细菌相似性指数  
Table 3 Similarity of bacteria in different treatments ( % )

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
B	91										
C	86.3	86.7									
D	82.7	85.4	84.8								
E	59.4	55.7	55.8	60.9							
F	61.1	58.8	60.6	61.8	90						
G	62.7	62.2	56.1	55.6	78.0	81.5					
H	49.0	50.7	43.1	42.8	79.0	76.6	76.0				
I	88.2	87.5	82.3	80.4	52.6	55.1	59.5	46.7			
J	83.5	84.1	77.6	76.0	50.7	54.3	60.4	46.3	90.1		
K	85.3	81.3	80.1	75.2	52.0	54.7	57.2	43.0	88.9	88.2	
L	55.7	51.9	53.8	50.3	72.4	77.8	71.8	64.5	56.5	58.8	62.6

A~C: 30 d 5%、3%、CK; D~F: 60 d 5%、3%、CK; G~I: 90 d 5%、3%、CK; J~L: 120 d 5%、3%、CK.

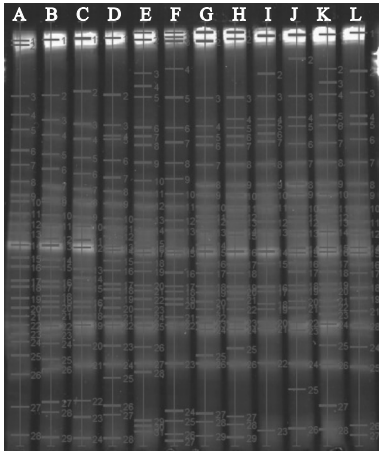


图 3 营养基质细菌 16S rDNA 的 PCR-DGGE 图谱  
Fig.3 PCR-DGGE atlas of nutrition medium bacteria 16S rDNA.  
A~C: 30 d 5%、3%、CK; D~F: 60 d 5%、3%、CK; G~I: 90 d 5%、3%、CK; J~L: 120 d 5%、3%、CK.

(23~27 条)相比,种植 11 茬经 5%及 3%生物炭处理后,基质中细菌的 16S rDNA PCR-DGGE 电泳条带(26~31 条)均有所增加.种植 11 茬基质经 5%及 3%生物炭处理后与 CK 间产生了差异性条带.其中,定植 30 d 时,CK 缺失条带 2、5、21、22、24,其中条带 2 仅出现在 5%生物炭处理中;定植 60 d 时,CK 缺失条带 10、15、22、24,其中条带 10、22 仅出现在 5%生物炭处理中;定植 90 d 时,CK 缺失条带 2、10、19、21,其中条带 10、19 仅出现在 5%生物炭处理中,条带 2 仅出现在 3%生物炭处理中;定植 120 d 时,CK 缺失条带 2、5、10、19、23、25,其中条带 19、25 仅出现在 5%生物炭处理中,5%及 3%生物炭处理均缺失条带 24.

根据图 3 的 DGGE 图谱,使用 Quantity One 图像分析软件进行细菌相似性分析,得出营养基质细菌相似性指数(表 3).结果表明,生物炭处理之间相

似性较高,均在 60.9%以上;生物炭处理与 CK 之间相似性较低.说明种植 11 茬营养基质中添加生物炭处理后的细菌群落结构与 CK 间产生显著差异,但生物炭的添加量对细菌群落结构多样性无显著影响.

3 讨 论

设施蔬菜连作会导致土壤酶活性降低、微生物群落结构单一化、有害微生物数量增多<sup>[19-21]</sup>.本试验使用营养基质栽培黄瓜,在连作 11 茬时同样得到上述结论,经生物炭处理后,连作营养基质中微生物群落结构、数量及几种主要酶活性均发生显著改变,使营养基质性状得到有效改善.

由于设施栽培下长期施肥后土壤缺少雨水淋溶作用等原因,土壤中硝酸根含量逐渐积累升高,使土壤 pH 下降导致土壤酸化<sup>[22]</sup>,而土壤酸化对作物根系活力、植株生长发育、土壤酶活性及土壤微生物活性均会产生严重影响<sup>[23]</sup>.本试验中营养基质连作 11 茬后,细菌和放线菌数量均显著低于种植 1 茬,真菌数量显著高于种植 1 茬.添加生物炭后,由于生物炭可有效吸附土壤中的 H<sup>+</sup>,提高土壤 pH 值<sup>[24]</sup>,可以一定程度缓解连作土壤酸化作用,使细菌和放线菌数量显著增加,恢复到种植 1 茬的水平.真菌的数量会随着 pH 的升高而减少<sup>[25]</sup>,所以添加生物炭后营养基质中的真菌数量显著下降到种植 1 茬的水平.另外,土壤中有机质的数量、质量和分布能够影响其食物网的营养结构<sup>[26]</sup>.本试验中生物炭的添加能够有效增加土壤有机质含量,为微生物的繁扩创造有利条件.

DGGE 分析结果显示,经生物炭处理后,连作营养基质内细菌群落结构变化与 Kim 等<sup>[27]</sup>研究结果

相一致,添加生物炭能够有效增加细菌的多样性.这是因为生物炭表面多孔隙的结构,能够将细菌吸附到其表面,并对菌丝形成一定的保护作用<sup>[28]</sup>,进而丰富了细菌群落结构的多样性.

土壤微生物是土壤酶的重要来源之一.微生物数量及多样性的增加,间接提高了土壤酶活性<sup>[29]</sup>.土壤酶活性与土壤肥力的关系紧密,土壤酶活性也是评价土壤生物学活性、土壤肥力和土壤生产力的重要指标之一<sup>[30-32]</sup>,土壤酶活性越高,表明土壤性状越好.本试验中,添加生物炭后,微生物数量及多样性增加,营养基质中的几种主要酶活性也有显著提高,说明连作营养基质的理化性状得到改善.本试验中,连作营养基质的中性磷酸酶活性较种植 1 茬有所提高,而生物炭的添加会使营养基质中性磷酸酶活性显著下降.该现象可能是添加生物炭使土壤 pH 升高引起的<sup>[33]</sup>.

## 4 结 论

生物炭能够显著提高连作营养基质的过氧化物酶活性,高浓度生物炭能够显著提高营养基质的蔗糖酶及脲酶活性.同时,生物炭处理显著增加了营养基质中细菌和放线菌数量,降低了真菌数量,增加微生物群落结构多样性.从酶活性和微生物数量上看,除中性磷酸酶外,添加生物炭后能够使连作 11 茬黄瓜的营养基质的主要酶活性和微生物数量恢复到种植 1 茬后的营养基质水平.表明添加生物炭对黄瓜连作营养基质具有一定的调节修复作用.

## 参考文献

- [1] He L-N (贺丽娜), Liang Y-L (梁银丽), Gao J (高静), *et al.* The effect of continuous cropping on yield, quality of cucumber and soil enzymes activities in solar greenhouse. *Journal of A&F University* (Natural Science) (西北农林科技大学学报: 自然科学版), 2008, **36**(5): 155-159 (in Chinese)
- [2] Hao ZP, Wang Q, Christie P, *et al.* Autotoxicity potential of soils cropped continuously with watermelon. *Allelopathy*, 2006, **18**: 111-120
- [3] Yin B, Crowley D, Sparovek G, *et al.* Bacterial functional redundancy along a soil reclamation gradient. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, **66**: 4361-4365
- [4] He L-L (何莉莉), Chen Y (陈阳), Chen J-Q (陈俊琴), *et al.* Changes of microelements, pathogenic bacteria and yield of straw nutrition medium in continuous cropping of cucumber. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2010, **41**(1): 13-17 (in Chinese)
- [5] Ma Y-H (马云华), Wei M (魏珉), Wang X-F (王秀峰). Variation of microflora and enzyme activity in continuous cropping cucumber soil in solar greenhouse. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(6): 1005-1008 (in Chinese)
- [6] Ye SF, Yu JQ, Peng YH. Incidence of Fusarium wilt in *Cucumis sativus* L. is promoted by cinnamic acid, an autotoxin in root exudates. *Plant and Soil*, 2004, **263**: 143-150
- [7] Wang H (王红), Zhou D-M (周大迈). The improvement of soil enzyme activities as symboling in soil fertility. *Journal of Agricultural University of Hebei* (河北农业大学学报), 2002, **25**(suppl.1): 60-62 (in Chinese)
- [8] Compant S, Dufly B, Nowak J, *et al.* Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, **71**: 4951-4959
- [9] Wu C-C (武春成), Li T-L (李天来), Cao X (曹霞), *et al.* Effects of nutrition medium on cucumber growth and soil microenvironment in greenhouse under continuous cropping. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2014, **25**(5): 1401-1407 (in Chinese)
- [10] Wang J-H (王佳辉), Qi H-Y (齐红岩), Li X-W (李现伟), *et al.* Screening of organic nutrition substrates for melon production in greenhouse. *Journal of Henan Agricultural Sciences* (河南农业科学), 2008(3): 78-81 (in Chinese)
- [11] Zhang Y-M (张一鸣), Yang L-J (杨丽娟), Guo X-O (郭小鹏), *et al.* Effects on growth and rhizosphere environment of the continuous cropping tomato with calcium and straw materials. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2013, **44**(5): 594-598 (in Chinese)
- [12] Liu J-J (刘姣姣), Yang L-J (杨丽娟), Li Z-T (李振涛), *et al.* Effects of tomato plant growth and yield in facility continuous cropping system hydroponics. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2013, **44**(5): 581-584 (in Chinese)
- [13] Ma N-N (马宁宁), Li T-L (李天来), Wu C-C (武春成), *et al.* Effects of long term fertilization on soil enzyme activities and soil physicochemical properties of facility vegetable field. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(7): 1766-1771 (in Chinese)
- [14] Lehmann J, Joseph S. Biochar for environmental management: An introduction// Lehmann J, Joseph S, eds. *Biochar for Environmental Management Science, Technology and Implementation*. New York: Taylor and Francis, 2009: 1-12
- [15] Steiner C, Das KC, Garcia M, *et al.* Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic ferralsol. *Pedobiologia*, 2008, **51**: 359-366
- [16] Pietikäinen J, Kukkila O, Fritze H. Charcoal as a habi-

- tat for microbes and its effects on the microbial community of the underlying humus. *Oikos*, 2000, **89**: 231–242
- [17] Bai Z-K (白中科), Fu M-C (付梅臣), Zhao Z-Q (赵中秋). On soil environmental problems in mining area. *Ecology and Environment* (生态环境), 2006, **15**(5): 1122–1125 (in Chinese)
- [18] Lin C-X (林初夏), Long X-X (龙新宪), Tong X-L (童晓立), *et al.* Guangdong Dabaoshan Mine: Ecological degradation, acid drainage and possible measures for their remediation. *Ecologic Science* (生态科学), 2003, **22**(3): 205–208 (in Chinese)
- [19] Yu J-Q (俞景权), Du Y-S (杜尧舜). Soil-sickness problem in the sustainable development for the protected production of vegetables. *Journal of Shenyang Agricultural University* (沈阳农业大学学报), 2000, **31**(1): 124–126 (in Chinese)
- [20] Liu R-J (刘润进), Chen Y-L (陈应龙). Mycorrhizology. Beijing: Science Press, 2007: 388 (in Chinese)
- [21] Wu F-Z (吴凤芝), Wang X-Z (王学争). Effect of monocropping and rotation on soil microbial community diversity and cucumber yield, quality under protected cultivation. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2007, **40**(10): 2274–2280 (in Chinese)
- [22] Liu L (刘来), Sun J (孙锦), Guo S-R (郭世荣), *et al.* Relationship between changes of nutrients, ions and soil acidification in different continuous cropping years of hot pepper greenhouse soils. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2013, **29**(16): 100–105 (in Chinese)
- [23] Zhang Q (张强), Wei Q-P (魏钦平), Qi H-Y (齐鸿雁), *et al.* Optimal schemes and correlation analysis between soil nutrient, pH and microorganism population in orchard of Beijing suburb. *Journal of Fruit Science* (果树科学), 2011, **28**(1): 15–19 (in Chinese)
- [24] Yang L (杨林), Chen Z-M (陈志明), Li Y-B (李彦斌), *et al.* Effect of activated charcoal treatment on the activities of soil enzymes of continuous cropping cotton field. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2012, **49**(3): 518–525 (in Chinese)
- [25] Rousk J, Brookes PC, Bååth E. Contrasting soil pH effects on fungal and bacterial growth suggest functional redundancy in carbon mineralization. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, **75**: 1589–1596
- [26] Moore JC, BerlowEL, Coleman DC. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters*, 2004, **7**: 584–600
- [27] Kim JS, Sparovek S, Longo RM, *et al.* Bacterial diversity of terra preta and pristine forest soil from the Western Amazon. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, **39**: 648–690
- [28] Warnock DD, Lehmann J, Kuyper TW, *et al.* Mycorrhizal responses to biochar in soil: Concepts and mechanisms. *Plant and Soil*, 2007, **300**: 9–20
- [29] Zhao M (赵萌), Li M (李敏), Wang M-Y (王淼焱), *et al.* Effects of watermelon replanting on main microflora of rhizosphere and activities of soil enzymes. *Microbiology* (微生物学通报), 2008, **35**(8): 1251–1254 (in Chinese)
- [30] Chen E-F (陈恩凤), Zhou L-K (周礼恺), Qiu F-Q (邱凤琼), *et al.* Study on the essence of soil fertility. II. Brown earth. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 1985, **22**(2): 113–119 (in Chinese)
- [31] Wang C (王灿), Wang D-J (王德建), Sun R-J (孙瑞娟), *et al.* The relationship between soil enzyme activities and soil nutrients by long-term fertilizer experiments. *Ecology and Environment* (生态环境), 2008, **17**(2): 688–692 (in Chinese)
- [32] Zhou L-K (周礼恺), Zhang Z-M (张志明), Cao C-M (曹承绵). On the role of the totality of soil enzyme activities in the evaluation of the level of soil fertility. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 1983, **20**(4): 413–418 (in Chinese)
- [33] Wang F-X (王飞翔), Feng D-L (冯大兰), Huang J-G (黄建国). Effect of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on enzymes activities in soils with tobacco-maize rotation and tobacco-rice rotation in Yunnan Province. *Guizhou Agricultural Sciences* (贵州农业科学), 2011, **39**(6): 114–118 (in Chinese)

---

作者简介 邹春娇 女,1990 年生,硕士研究生.主要从事设施蔬菜连作障碍研究. E-mail: 13352470165@163.com

责任编辑 肖红

---