

沼渣生物炭还田对土壤甘蓝产量及品质影响

宋大刚*, 唐雪, 龙玲

(农业农村部成都沼气科学研究所, 四川 成都 610041)

摘要: 耕地土壤质量直接影响作物的品质, 生物炭由于其自身独特的物理化学结构和携带丰富营养元素, 常用于改良土壤质量。然而沼渣生物炭原料来源复杂, 通常含有重金属、有机污染物等, 热解技术并不能完全降低其危害, 因此实验设置不同沼渣生物炭含量的土壤(0、10、20、40 t·hm⁻²) , 探究甘蓝的生长情况, 评估沼渣生物炭还田的可行性。结果表明施加生物炭增加了土壤有机质(TOC)、硝态氮(NH₄⁺-N)和铵态氮(NO₃⁻-N)的含量。但添加生物炭未能增加甘蓝生物量, 过量的生物炭还会抑制生长。影响甘蓝生物量的主要因素为TOC、DOC和AN。与对照组相比, 添加沼渣生物炭能够改变土壤线虫的营养类群。

关键词: 沼渣生物炭; 甘蓝; 土壤线虫

中图分类号: S216.4; X703 文献标志码: B 文章编号: 1000-1166(2023)02-0039-06

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2023020039

Effects of Biogas Residue Biochar on Yield and Quality of Cabbage in Soil / SONG Dagang*, TANG Xue, LONG Ling / (Biogas Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chengdu 610041, China)

Abstract: Arable soil quality is crucial to agricultural production activities and it directly affects the quality of crops. Biochar is widely used to improve soil quality due to its autochthonous physicochemical structure and the rich nutrients it carries. The study conducted different content of biochar in soil (0, 10, 20, 40 t·hm⁻²) to investigate the growth of cabbage. The experimental addition of digestate biochar increased the content of soil organic carbon (TOC), ammonium nitrogen (NH₄⁺-N) and nitrate nitrogen (NO₃⁻-N). However, the addition of biochar failed to increase the biomass of purple kale, and the excess biochar also inhibited growth. The main factors affecting the biomass kale were TOC, DOC and AN. Biochar addition to digestate was able to alter the trophic taxa of soil nematodes compared to the control.

Key words: biochar; cabbage; soil nematodes

设施蔬菜生产由于集约化管理, 高投入、复种指数高等问题, 导致土壤质量退化、微生态环境恶化、病害加重, 致使土地可持续利用能力下降, 进而影响蔬菜的产量与品质。生物有机材料(生物质)在无氧或缺氧条件下可经过高温裂解产生炭, 这种富含碳、高度难降解的材料, 用作土壤改良剂时被称为“生物炭”^[1]。在土壤中施入生物炭可以直接影响土壤的物理性质, 如降低土壤容重与土壤密度、增加土壤含水量等^[2]。研究表明, 土壤中添加生物炭可以降低土壤容重约5%。具有多孔结构的生物炭添加到土壤中后, 对增加土壤的孔隙度具有积极作用。

生物炭还田导致土壤生态系统中吸附特性、pH值和物理性质发生变化^[3], 从而影响植物生长、植食者的取食速率和种群动态以及植物对植食者取食

的响应。淋溶作用使得硝态氮、铵态氮大量损耗, 使其下渗到作物根系活动范围之外, 将生物炭施入土壤中, 它不仅可以通过吸附更多的氮素物质影响土壤氮素物质循环, 还可以直接吸附铵态氮, 降低氮素的损失从而提高氮肥利用率, 促进土壤中铵态氮向硝态氮的转化, 提高氮素的有效性^[4-5]。然而猪粪沼渣中的重金属和有机物等, 在生物炭制备过程中并不能完全消除, 施加该生物炭很可能抑制作物生长^[6], 但目前还未有具体的研究显示其生态毒理作用。尽管热解技术能够降低重金属的迁移风险, 但还田后的沼渣生物炭仍能受到土壤环境的影响, 因此沼渣生物炭的安全使用还需进一步的研究判断。

生物炭还田带来的这些变化能够直接或间接影

收稿日期: 2022-07-22 修回日期: 2022-11-28

项目来源: 四川省自然科学基金项目(2023NSFSC0156); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(1610012020007-03104)

作者简介: 宋大刚(1991-)男, 博士, 主要从事农业废弃物资源化利用研究等工作, E-mail: 1171385782@qq.com

通信作者: 宋大刚, E-mail: 1171385782@qq.com

响土壤线虫群落及多样性。Zhang^[7]等发现添加小麦秸秆生物质炭并没有改变总线虫丰度,从而导致食真菌线虫的比例增加及植物寄生线虫比例下降。同时,生物炭还田后,由于其输入的可利用资源发生改变,可能会为细菌提供更多的食物,因此会间接改变土壤食物网的主要分解途径。牛亚茹^[8]研究表明,生物炭对土壤线虫总数没有影响,却改变了线虫群落结构,提出适量生物质炭能够增加以食细菌线虫为主导的分解通道,短期内施用生物炭对土壤线虫群落多样性和稳定性没有显著影响。另有研究表明,通过比较分析生物质炭与氮肥配施土壤养分、微生物活性、线虫群落及作物生长的相互关系,发现在生物炭作用下土壤食物网结构趋向于真菌为主导的能流通道^[9]。

相对于生态学家探知较多的生物炭还田对土壤理化性质、土壤微生物^[2,10]和土壤节肢动物等的影响^[11-13],当前对沼渣生物炭还田对土壤线虫的影响还所知甚少,很大程度上制约了我们对农业管理措施驱动的土壤生态过程的深刻理解。本实验采用沼渣生物炭改良土壤,通过探究添加生物炭后对甘蓝品质和对土壤线虫微食物网的影响,进一步全面深入评价生物炭还田对土壤生态系统的影响。

1 实验方法

1.1 土壤理化性质测定

用去离子水提取土壤溶液(1:2.5),测定土壤电导率(EC)($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)和pH值,采用元素分析仪测定供试生物炭的C、N、K元素的含量;土壤在105℃烘干测定含水率;土壤有机碳(TOC)采用重铬

酸钾氧化-分光光度法(HJ 615-2011);土壤使用氯化钾溶液浸提,采用紫外分光光度法在波长为625 nm处测定铵态氮(NH_4^+-N)的含量,在210 nm处测定硝态氮(NO_3^--N)的含量;采用重铬酸钾氧化法测定土壤可溶性有机碳(DOC)的含量。土壤的速效氮(AN)包括硝态氮和铵态氮,土壤在强碱性环境和硫酸亚铁存在的条件下水解还原,易水解的氮转化为氨气后被硼酸吸收,用标准滴定液滴定氨后,计算速效氮的含量(DB13/T 843—2007)。采用乙酸铵溶液浸提、火焰光度计法的顶了土壤速效钾(AK)的含量(NY/T 889—2004)。土壤总磷(TP)的测定采用国标碱熔-钼锑抗分光光度法(HJ 632—2011)。

1.2 实验设计和样品收集

试验设置4个生物炭用量水平(生物炭为此前制备的猪粪沼渣生物炭,pH值为7.77,TOC、TN、和TK的含量分别为201.2、14.75和12.2 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$): B0(不添加生物炭)、B10(10 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物炭)、B20(20 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物炭)、B40(40 $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 生物炭),甘蓝苗移栽前将生物炭均匀撒在土壤表面,翻耕使之与0~20 cm土壤混匀,然后耙平。供试大棚土壤的pH值为7.54±0.01,有机质(SOM)为53.80±1.83 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,AN、AK和TP分别为205±0.71 $\text{m g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、289±0.71 $\text{m g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和3.45±0.04 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,TN、AK和TOC(%)的组分分别为0.39±0.01、0.90±0.02和7.58±0.03。每个处理3次重复,共12个小区,采用随机区组排列,小区面积为2 m^2 (1 m×2 m),各处理间起埂隔开。试验田采用常规水肥管理。施用500 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:5:20)作基肥。在甘蓝结瓜期每周追施

表1 沼渣生物炭还田后甘蓝根系土壤理化性质

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

项目	CK	BA10	BA20	BA40
SOM/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	66.52±1.44	39.97±1.56	53.66±0.65	54.67±0.48
TN/%	0.34±0.04	0.20±0.03	0.27±0.10	0.29±0.05
TP	4129.02±448.84	2158.84±560.94	3039.82±788.90	3584.19±632.80
TK/%	0.76±0.03	0.85±0.04	0.83±0.06	0.73±0.09
TOC/%	1.74±0.06	2.42±0.20	2.42±1.36	2.83±1.43
EC/($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	402.50±4.01	339.33±6.13	337.00±11.31	421.67±4.71
pH值	7.28±0.14	7.13±0.01	7.35±0.08	7.32±0.06
AN	285.01±2.55	177.71±2.20	214.84±2.75	241.28±8.86
AK	141.24±15.98	104.50±30.9	137.86±24.85	144.40±26.6
DOC/($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0.40±0.08	0.31±0.16	0.28±0.08	0.27±0.05
NO_3^--N	102.78±10.10	81.98±29.89	102.09±34.07	187.57±32.1
NH_4^+-N	0.88±0.13	0.48±0.15	0.43±0.18	2.75±0.46
含水率/%	4.24±0.13	3.81±0.18	3.73±0.42	4.12±0.11

250 kg·hm⁻²复合肥(N:P₂O₅:K₂O = 20:20:20)。采集根系土壤样品分成两份,分别用于土壤理化性质测定和土壤线虫的测定;甘蓝收获时测定其产量。

1.3 土壤线虫高通量测序和分析

每个样品收集3个重复样,土壤中的DNA提取采用试剂盒进行提取,利用1%琼脂糖凝胶电泳对所提取的DNA质量检测。采用引物NF15'-GGTGTG-CATGGCCGTTCTTAGTT-3'和18Sr2b R 5'-TAC-AAAGGGCAGGACGTAAT-3'对线虫DNA V4区域进行PCR扩增。所获得的产物构建Miseq文库,使用高通量测序平台Illumia Miseq PE300测序。

1.4 数据处理和分析

实验使用SPSS和origin对土壤理化性质和甘蓝数据分析,检验环境因子对甘蓝生长的影响,线虫的群落组成使用R语言的“pheatmap”和“qgraph”进行分析。

2 结果和讨论

2.1 不同生物炭处理组土壤理化性质

不同生物炭添加量改性甘蓝根系土的理化性质如表1所示。3组添加沼渣生物炭处理(B10; B20; B40) TOC明显高于不添加沼渣生物炭即CK处理,其中B40比对照多出了62.06%。BC10和BC20的TOC差异较小,可能是由于植物生长过程的根系活动差异所致。土壤中的有机质来源于腐殖质、根系分泌物和土壤自生的有机质,这些复杂过程改变了土壤中TOC的含量。由于沼渣生物炭本身的有机碳含量为201.2 g·kg⁻¹,生物炭的添加带入了有机碳从而导致土壤有机碳增加,其中稳定的组分直接贡献土壤的有机质,不稳定的组分以DOC的形式补充土壤碳库^[14]。然而土壤原生的有机碳和生物炭中的有机碳不同,相比之下,生物炭的有机碳原子H/C比更低,芳香碳含量更高^[15]。土壤电导率在一定含水率下能够指示土壤的盐度,影响土壤的营养和污染物转化。除了B40组外,B10和B20组EC都低于对照组。B20和B40组土壤pH值高于对照组,这可能是由于土壤自身具有缓冲作用,低含量生物炭处理不足以增加土壤pH值。此外,与对照处理相比,NH₄⁺-N和NO₃⁻-N的含量也因生物炭的还田而增加。由于生物炭的吸附作用,它能降低NH₄⁺-N的淋失,增加土壤对NH₄⁺-N的固定能力^[16]。Feng^[17]等研究发现在弱碱性土壤中添加生

物炭,能够增加NH₄⁺-N和NO₃⁻-N的含量。因此,添加生物炭后,氮含量的增加一方面来源于生物炭通过静电或毛细作用力增加氮的吸附,另一方面是由于生物炭自带的营养元素释放到土壤中^[18]。对于DOC、速效养分(AN、AK、TP)而言,生物炭还田后其含量比对照减少了,这是由于生物炭的添加促进了植物吸收速效养分,从而降低了这些元素在土壤中的含量^[18]。

2.2 不同生物炭处理组甘蓝生长情况

未添加和添加不同含量的生物炭改良大棚土壤后,种植甘蓝的株高变化如图1所示,随着时间的推移,各生物炭处理组的甘蓝株高无显著的变化。在初始阶段,甘蓝的株高随着生物炭的添加(10 t·hm⁻²、20 t·hm⁻²、40 t·hm⁻²)株高逐渐增加,但仍旧比对照组差,平均株高为48.97 ± 4.96 cm;成熟期对照组甘蓝株高依旧高于其余两组,为50.83 ± 5.36 cm。

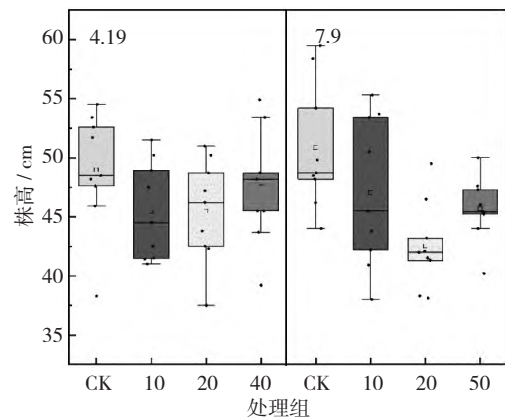


图1 不同生长阶段甘蓝株高变化

甘蓝地上和地下部分生物量如图2和图3所示,对照组地上部分和地下部分的生物量都高于B10、B20和B40,其中B20生物量最低,B10高于B40。通过PCA分析比较各处理组之间甘蓝的差异(见图4),对照组样品在图中的分布较分散,主要分布在PC2的正半轴,表明尽管对照组的生物量最高,但植物之间的长势差异较其余3组更大,B10和B20分布在PC2的负半轴,而B40分布在PC1的负半轴,3组生物炭处理之间植物的生物量特征未显示较明显的差异。实验结果表明与对照组相比,过量生物炭会抑制甘蓝生长。此前对棉花、西红柿等研究结果表明,低含量生物炭处理组(10 t·hm⁻²和11.4 t·hm⁻²)的植物株高和作物产量高于高含量生物炭处理组(50 t·hm⁻²和60 t·hm⁻²)^[19]。

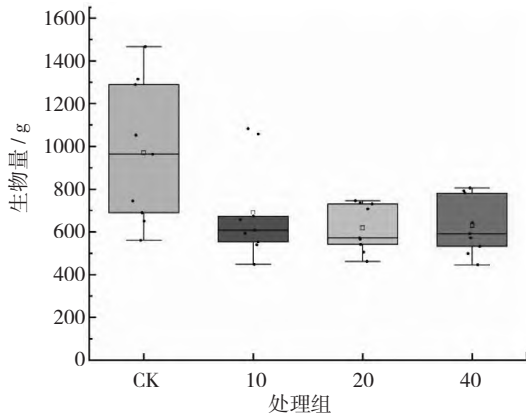


图2 不同含量生物炭处理组甘蓝地上部分生物量

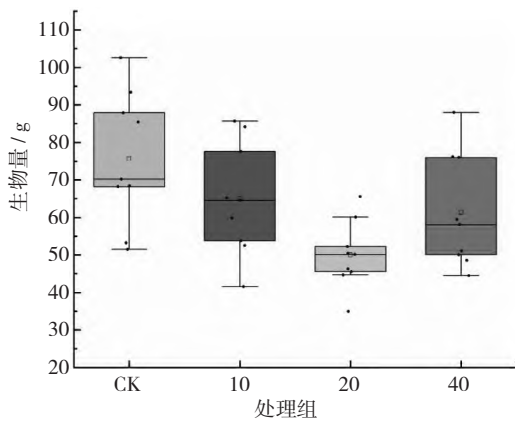


图3 不同含量生物炭处理组甘蓝地下部分生物量

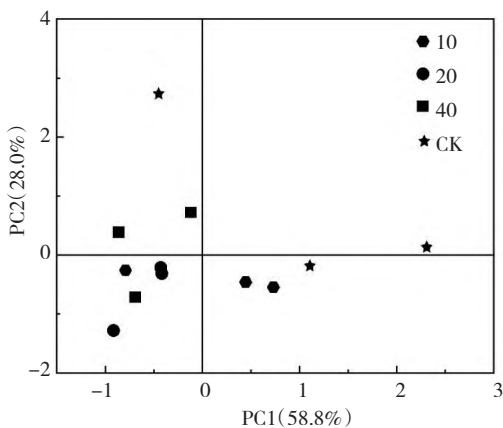


图4 不同含量生物炭处理甘蓝生物量的 PCA 图

2.3 甘蓝生长影响因素

通过多项式二次函数($y = ax^2 + bx + c$)拟合分析土壤理化性质对甘蓝生长的影响^[20],拟合参数见表3 影响甘蓝生长的因素主要为 TOC、DOC、AN 和 AP 的含量。其中 a 表示甘蓝生物量和环境因子的正负相关性。甘蓝的生物量随着 DOC 的含量先降低后增加,随着 TOC、AN 和 AP 含量先增加后降

低。此前许多研究报道生物炭有助于植物的生长,主要是由于生物炭能够有效改善土壤结构、增加保持土壤养分的能力^[21]。适宜的氮能够促进植物光合作用,但超过阈值后,光合速率降低,进而影响植物生长和发育^[22]。合理的添加磷不仅能提高植物的质量和产率,还能促进植物吸收氮,促进土壤中氮的释放^[23]。

表3 甘蓝生物量与土壤理化性质拟合参数

土壤理化性质	a	b	c	R ²
TOC	-0.0026	4.4303	-1521.4	0.95
EC	-0.0043	7.5699	2778.4	0.75
pH 值	0.00001	0.0187	-0.4361	0.66
NO ₃ ⁻ -N	-0.0059	10.24	-4086.2	0.87
NH ₄ ⁺ -N	-0.0001	0.2478	-100.58	0.72
DOC	0.000006	-0.0048	2.1903	0.99
AN	-0.0027	4.9611	1883.9	0.99
AK	-0.0016	2.751	-1019.1	0.74
TP	-0.0746	133.21	-52729	0.99

2.4 土壤线虫群落结构组成

不同生物炭处理后,甘蓝根系土壤中线虫在属类水平的相对丰度差异如图5和图6所示。属类水平上最主要的线虫种类为未明确分类的线虫、*Arabidopsis*、*Triticum* 和 *Mus*。与对照组相比,沼渣生物炭添加改变了土壤线虫的营养类群。B10组 *Arabidopsis* 和 *Triticum* 的相对丰度高于其余3组,*Mus* 在 B20 组中相对丰度最高。表明添加低含量的生物炭能增加线虫属 *Arabidopsis* 和 *Triticum* 的相对丰度。然而在对照组中出现了丰度较高的 *cosmolaelaps* 属,

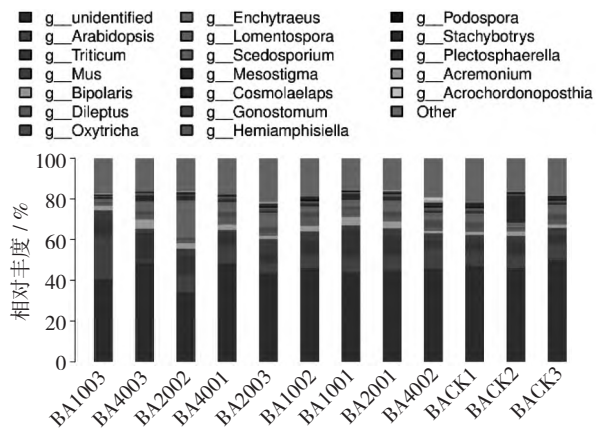


图5 不同生物炭处理土壤线虫在属类水平的相对丰度变化特征

且 *Triticum* 属相对丰度最低。

土壤线虫在 6 个门类水平之间的相互作用分析 (见图 7) 线条的粗细程度表示线虫之间的相互作用强弱程度,其中主要为 Ascomycota 门类的线虫。相对丰度最高的 *Triticum* 和 *Mus* 属与其余线虫之间的相互作用较弱,而 *Stachybotrys*、*Desmochloris* 和 *Oxytricha* 属与其余线虫之间的相互作用较强,尽管他们的相对丰都较低。

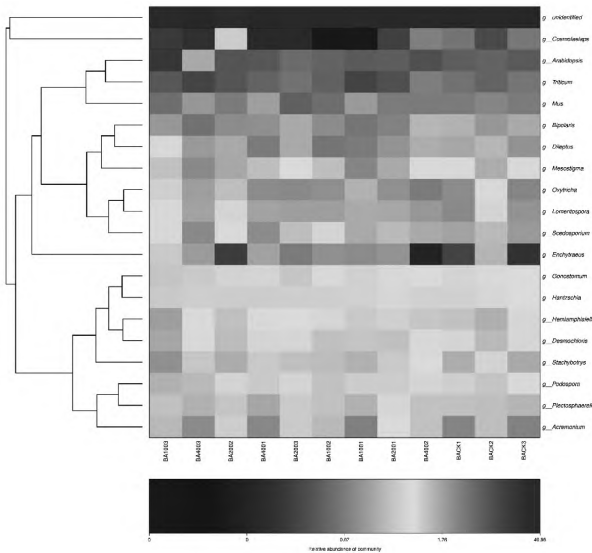


图 6 土壤线虫热图分析

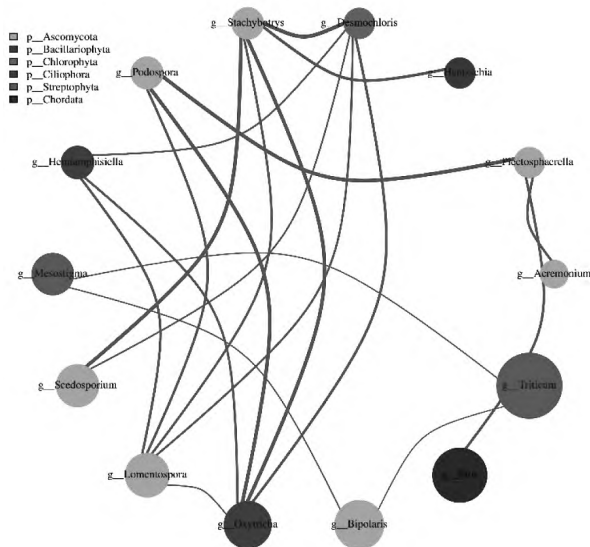


图 7 土壤线虫之间的相互作用分析

3 结论

(1) 实验通过添加不同含量的生物炭 (0、10、20、40 t·hm⁻²) 改良土壤,结果表明生物炭由于自生所含的有机质和氮,施加后能够增加 TOC、NH₄⁺-N

和 NO₃⁻-N,维持土壤中的养分。

(2) 对照组的甘蓝生物量高于其余 3 组,高浓度的生物炭会抑制甘蓝的生长,影响甘蓝生长因素主要为 TOC、DOC 和 AN。

(3) 对土壤线虫检测发现属类水平上最主要的线虫种类为未明确分类的线虫、*Arabidopsis*、*Triticum* 和 *Mus*。与对照组相比,沼渣生物炭添加改变了土壤线虫的营养类群。

参考文献:

- [1] Lehmann J, Joseph S. Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation (2nd ed.) [M]. London: Routledge 2015.
- [2] Lehmann J, Rillig M C, Thies J, et al. Biochar effects on soil biota—A review [J]. Soil Biology Biochemistry, 2011, 43(9): 1812–36.
- [3] 卜晓莉, 姬慧娟, 马青林, 等. 生物炭-泥炭复合基质对马缨杜鹃生长和生理的影响 [J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(05): 58–68.
- [4] Spokas K A, Canterll K B, Novak J M, et al. Biochar: A Synthesis of Its Agronomic Impact beyond Carbon Sequestration [J]. Journal of Environmental Quality, 2012, 41(4): 973–89.
- [5] Pijls B G, Valstar E R, Nouta K A, et al. Early migration of tibial components is associated with late revision A systematic review and meta-analysis of 21,000 knee arthroplasties [J]. Acta Orthopaedica, 2012, 83(6): 614–24.
- [6] Tian W, Zhang Z, Hu X, et al. Short-term changes in total heavy metal concentration and bacterial community composition after replicated and heavy application of pig manure-based compost in an organic vegetable production system [J]. Biology and Fertility of Soils, 2015, 51(5): 593–603.
- [7] Zhang X K, Li Q, Liang W J, et al. Soil Nematode Response to Biochar Addition in a Chinese Wheat Field [J]. Pedosphere, 2013, 23(1): 98–103.
- [8] 牛亚茹. 施用生物炭对日光温室黄瓜生长及土壤微生物和线虫群落结构的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2016.
- [9] 卢焱焱, 王明伟, 陈小云, 等. 生物炭与氮肥配施对红壤线虫群落的影响 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(01): 263–74.
- [10] Mastro R E, Kumar S, Rout T K, et al. Biochar from water hyacinth (*Eichornia crassipes*) and its impact on soil biological activity [J]. Catena, 2013, 111: 64–71.

- [11] Reibe K , Götz K P , Roß C L , et al. Impact of quality and quantity of biochar and hydrochar on soil Collembola and growth of spring wheat [J]. *Soil Biology and Biochemistry* , 2015 , 83: 84 – 87.
- [12] Garbuz S , Camps M , Mackay A , et al. The interactions between biochar and earthworms , and their influence on soil properties and clover growth: A 6-month mesocosm experiment [J]. *Applied Soil Ecology* , 2020 , 147: 103402.
- [13] Conti F D , Visioli G , Malcevschi A , et al. Safety assessment of gasification biochars using *Folsomia candida* (Collembola) ecotoxicological bioassays [J]. *Environmental Science and Pollution Research* , 2018 , 25 (7) : 6668 – 6679.
- [14] Plaza C , Giannetta B , Fernandez J M , et al. Response of different soil organic matter pools to biochar and organic fertilizers [J]. *Agriculture Ecosystems Environment* , 2016 , 225: 150 – 9.
- [15] Zhang P , Li Y , Cao Y , et al. Characteristics of tetracycline adsorption by cow manure biochar prepared at different pyrolysis temperatures [J]. *Bioresource Technology* , 2019 , 285: 121348.
- [16] 肖茜,张洪培,沈玉芳,等. 生物炭对黄土区土壤水分入渗、蒸发及硝态氮淋溶的影响 [J]. *农业工程学报* , 2015 , 31(16) : 128 – 34.
- [17] Feng W , Yang F , Cen R , et al. Effects of straw biochar application on soil temperature , available nitrogen and growth of corn [J]. *Journal of Environmental Management* , 2021 , 277: 111331.
- [18] 梁嘉平. 施用生物炭对南疆膜下滴灌土壤性质及棉花和甜菜生长的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学 2021.
- [19] 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 (01) : 137 – 42.
- [20] 魏佳玉. 粪源生物炭对蔬菜生长及重金属转运的影响 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学 2021.
- [21] 李伟,代镇,张光鑫,等. 生物炭和氮肥配施提高土壤团聚体稳定性及作物产量 [J]. *植物营养与肥料学报* , 2019 , 25(05) : 782 – 91.
- [22] 陈倩. 腐植酸调控苹果生长及氮素吸收利用的生理机制研究 [D]. 济南: 山东农业大学 2021.
- [23] 周劲松,闫平,张伟明,等. 生物炭对水稻苗期生长、养分吸收及土壤矿质元素含量的影响 [J]. *生态学杂志* , 2016 , 35(11) : 2952 – 9.