

生物炭对侵蚀黑土团聚体的影响

龙杰琦, 姚婷, 苗淑杰, 钟鑫, 高雅晓玲, 乔云发

(南京信息工程大学 应用气象学院, 南京 210044)

摘要: [目的] 探讨生物炭对侵蚀黑土团聚体的修复效果, 揭示生物炭对侵蚀黑土团聚体的影响机制, 为修复侵蚀黑土提供科学依据。[方法] 以侵蚀黑土为研究对象, 研究未剥离农田(CK)、未剥离农田施生物炭(CK+BC)、模拟侵蚀土壤(RS)、侵蚀土壤施生物炭(RS+BC) 4个处理生物炭对黑土团聚体的影响。[结果] 与CK处理相比, CK+BC处理中0.25~2 mm 粒级团聚体含量增加了14.01%, RS+BC处理中0.25~2 mm粒级团聚体含量比RS处理增加了12.11%, 生物炭提高了团聚体的几何平均直径(GMD)和大于0.25 mm 团聚体含量, 增加了CK+BC和RS+BC两个处理的原土和>0.25 mm 粒级团聚体中的土壤有机碳含量(SOC), GMD分别与SOC和交换性钠呈正相关和负相关, 且SOC对团聚体的胶结作用大于交换性钠的分散作用, 提高了侵蚀黑土团聚体稳定性。[结论] 生物炭改善黑土侵蚀后的结构, 促进了土壤团聚化, 对侵蚀土壤具有良好的修复作用, 是修复侵蚀黑土的有效措施。

关键词: 土壤侵蚀; 修复; 生物炭; 团聚体; 有机碳; 交换性钠; 黑土

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)03-0076-05

中图分类号: S157.1

文献参数: 龙杰琦, 姚婷, 苗淑杰, 等. 生物炭对侵蚀黑土团聚体的影响[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 76-80. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.011; Long Jieqi, Yao Ting, Miao Shujie, et al. Effects of biochar on soil aggregation of eroded mollisols [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(3): 76-80.

Effects of Biochar on Soil Aggregation of Eroded Mollisols

Long Jieqi, Yao Ting, Miao Shujie, Zhong Xin, Gaoya Xiaoling, Qiao Yunfa

(School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information & Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: [Objective] The remediation effects of biochar on eroded mollisols aggregates, define the influence mechanism of biochar on eroded mollisols aggregates were determined in order to provide a scientific basis for remediation of eroded mollisols. [Methods] Four experimental treatments were imposed to determine the effects of biochar on aggregates of an eroded mollisols; uneroded farmland as the control treatment (CK); uneroded farmland with biochar application (CK+BC); simulated eroded soil (RS); and biochar added to eroded soil (RS+BC). [Results] Biochar application increased the content of 0.25~2 mm size aggregates by 14.01% in CK+BC compared with CK. The content of 0.25~2 mm size aggregates in RS+BC treatment increased by 12.11% compared with RS. In addition, biochar increased the geometric mean diameter (GMD) and the contents of macro-aggregates ($R_{0.25}$), and the concentration of soil organic carbon (SOC) in bulk soil and aggregates larger than 0.25 mm. These results indicated that biochar improved the SOC content by increasing its macro-aggregates. GMD was positively and negatively correlated with the concentrations of SOC and exchangeable sodium, respectively. However, the function of SOC in aggregation was larger than function of exchangeable sodium in dispersion, resulting in improved aggregate stability. [Conclusion] Biochar improves the structure of eroded mollisols, promotes soil aggregation, and has a good remediation effect on the eroded soil, and is therefore an effective strategy to remediate eroded soil.

Keywords: erosion; remediation; biochar; aggregation; soil organic carbon; exchangeable sodium; mollisols

生物炭(biochar)是在低氧或缺氧条件下, 将农作物秸秆、木质物质、禽兽粪便等有机物料经过高温

热解而形成的产物, 生物炭具有热稳定性强、可溶性低和巨大的比表面积等理化特性^[1-3], 在农业领域内

收稿日期: 2021-01-02

修回日期: 2021-03-24

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于同位素示踪和核磁共振方法揭示黑土有机质分子结构稳定机制”(41471240)

第一作者: 龙杰琦(1997—), 女(侗族), 贵州省铜仁市人, 硕士, 研究方向为黑土团聚体与有机质。Email: longjieqi1997@163.com。

通讯作者: 乔云发(1975—), 男(汉族), 黑龙江省讷河市人, 博士生导师, 主要从事黑土农田碳氮物质循环研究。Email: qiaoyunfa@nuist.edu.cn。

被广泛应用,改善了土壤理化性质。一方面,生物炭作为胶结剂能将微团聚体胶结成大团聚体,促进团聚体形成,增加土壤大团聚体数量和稳定性^[4-6];另一方面,生物炭具有延迟侵蚀土壤产流时间、改变土壤饱和和导水率和延缓土壤肥料养分释放的作用,起到了减流减沙、增强土壤抗蚀性的效应^[7]。近些年,生物炭作为土壤修复的改良剂被广泛应用。李江舟等^[8]在红壤上连续3 a施用生物炭,显著提升土壤大团聚体含量和团聚体稳定性;Walters等^[9],王冲等^[10]研究表明,生物炭改善土壤团聚体结构,提高土壤耕层的有效肥力,且能缓解土壤有机质的下降趋势,同时促进作物生长。相比其他改良添加剂,生物炭不仅能改善土壤侵蚀状况,增加土壤有机质含量,还能培肥地力,达到增产的目的^[11]。

东北黑土区作为商品粮生产基地之一,近年来,掠夺式种植导致水土流失加重,据黑龙江省水土保持科学研究所第二、第三次土壤侵蚀遥感调查数据显示,东北黑土区侵蚀面积为 $4.47 \times 10^4 \text{ km}^2$,占总面积的37.9%,其中水力侵蚀面积为 $36\,344.31 \text{ km}^2$ ^[12]。目前,东北黑土区黑土层平均厚度仅有30 cm多,同时坡耕地黑土层变薄速率达 $2 \sim 3 \text{ mm/a}$ ^[13],这严重破坏土壤团聚结构。团聚体是土壤结构的重要指标^[14],其数量与质量决定了土壤性质和供肥能力,团聚结构的退化将导致土壤肥力降低,威胁粮食生产^[15]。修复侵蚀土壤的关键是修复材料的选择,生物炭因其特有的理化性质,已成为新兴的土壤修复添加剂。目前大多数研究主要集中在生物炭对土壤理化性质及作物产量方面^[16-17],而施用生物炭对侵蚀黑土团聚化过程的影响研究却很少。因此,本研究依托侵蚀黑土长期修复模拟定位试验平台,以修复材料生物炭与土壤团聚结构的相互关系为切入点,结合胶结剂有机碳和分散剂交换性钠,探讨生物炭对侵蚀黑土团聚体修复效果,揭示生物炭对侵蚀黑土团聚体的影响机制,为进一步利用生物炭修复侵蚀土壤提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验布设在中国科学院海伦农业生态试验站(47°27′20″N,126°55′49″E),位于黑龙江省松嫩平原腹地黑土地带,该区属于中温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨,雨热同期,年均降水量530 mm,平均蒸发量2 300 mm,年均气温1.5℃,全年有效积温($\geq 10^\circ\text{C}$)2 450℃,无霜期125 d,坡度为 $3^\circ \sim 8^\circ$,海拔约210 m,地势平坦^[18]。供试土壤为黑

土,母质为第四纪黄土。试验初始时土壤有机碳30.14 g/kg,全氮2.32 g/kg,全磷1.67 g/kg。

1.2 试验设计

选取2011年中国科学院海伦农业生态试验站建立的侵蚀土壤修复长期定位试验的4个处理:未剥离农田作为对照(CK),未剥离农田施用生物炭(CK+BC),表土0—15 cm土层剥离模拟侵蚀土壤(RS),表土0—15 cm土层剥离模拟侵蚀土壤施加生物炭(RS+BC),每个处理3次重复,小区面积为 $4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。2011年试验开始时施用生物炭 $12\,000 \text{ kg/hm}^2$,田间管理与当地农业生产一致。

1.3 土壤采集与处理

2019年10月1日采集土样,取深度为0—20 cm的耕层土样,每个小区采用“S”型3点采集,充分混匀为一个土样,共采集12份土壤样品。带回实验室后,沿土壤结构的自然纹理掰分成小团块,将土样平摊在阴凉干燥处,阴干后去除杂质备用。

1.4 测定方法

采用Six的团聚体湿筛法^[19],套筛孔径依次为2,0.25,0.053 mm。将土样浸润糊化10 min后倒入套筛,团聚体分析仪上下筛分频率为20 r/min,筛分10 min。筛分结束后,用蒸馏水冲洗套筛上的各级团聚体至已称重烧杯里,65℃下烘干至恒重,并计算各粒级团聚体含量。团聚体几何平均直径(GMD)和粒径大于0.25 mm团聚体百分含量($R_{0.25}$)的计算公式^[20]为:

$$\text{GMD} = \exp \left(\frac{\sum_{i=1}^n m_i \ln \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \right) \quad (1)$$

$$R_{0.25} = \frac{M_{T>0.25}}{M_T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: \bar{x}_i 为*i*粒级团聚体平均直径(mm); m_i 为不同粒级团聚体的重量(g); $M_{T>0.25}$ 为粒径 $>0.25 \text{ mm}$ 团聚体的重量(g); M_T 为团聚体总重量(g)。

原土和各粒级团聚体研磨过100目筛,用元素分析仪(Vario EL III)测定碳含量,交换性钠采用乙酸铵交换—火焰光度计法测定^[21]。

1.5 数据分析

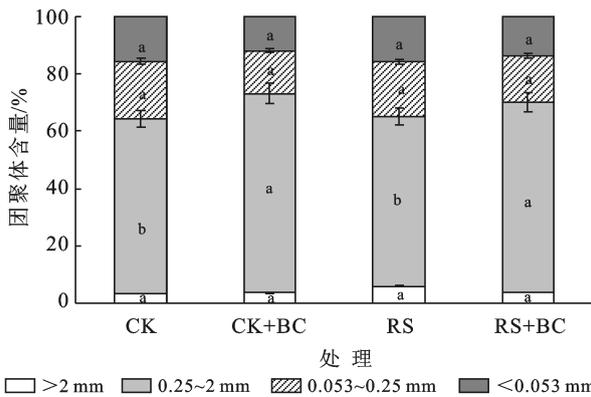
采用Excel 2010软件整理数据并作图,SPSS 21.0软件进行单因素方差分析,LSD法进行多重比较,设置显著度*p*为0.05。

2 结果与分析

2.1 生物炭对团聚体含量和分布的影响

4种处理水稳性团聚体各粒级分布相似(图1),以0.25~2 mm粒级团聚体含量最多,其次是0.053~0.25

mm 和 <0.053 mm 粒级,最少的是 >2 mm 粒级团聚体,各粒级所占比例分别是 59.27%~69.57%,15.04%~20.11%,11.86%~15.83%和 3.30%~5.94%。生物炭对黑土大团聚体含量有显著影响,不同粒级团聚体差异较大。与 CK 处理相比,CK+BC 处理中 0.25~2 mm 粒级团聚体含量增加 14.01%,RS+BC 处理 0.25~2 mm 粒级团聚体含量显著高于侵蚀前土壤;RS+BC 处理中 0.25~2 mm 粒级团聚体含量比 RS 处理增加了 12.11%。由此可见,生物炭促进土壤 0.25~2 mm 粒级团聚体的形成,特别是对侵蚀黑土团聚体修复有显著效果。在 >2 mm,0.053~0.25 mm 和 <0.053 mm 粒级团聚体中,4 个处理间差异均不显著。



注:①CK 为未剥离农田作为对照;CK+BC 为未剥离农田施用生物炭;RS 为表土 0—15 cm 土层剥离模拟侵蚀土壤;RS+BC 为表土 0—15 cm 土层剥离模拟侵蚀土壤施加生物炭;②仅对同一粒级进行了不同处理间统计分析,图中不同字母表示同一粒级之间的比较结果差异显著。下同。

图 1 不同处理土壤各粒级团聚体含量

2.2 生物炭对团聚体稳定性的影响

GMD 和 $R_{0.25}$ 是团聚体稳定性的重要指标,生物炭的施用提高了黑土团聚体的稳定性见图 2。与对照 CK 处理相比,CK+BC 处理中团聚体的 GMD 增加了 18.00%, $R_{0.25}$ 值提高了 14.06%。与 RS 处理相比,RS+BC 处理中团聚体的 GMD 和 $R_{0.25}$ 值分别增加了 8.16%和 7.69%。然而,这两个参数在 CK 和 RS 处理间以及 CK+BC 和 RS+BC 处理间差异均不显著。这些结果表明生物炭不仅能提高传统农田土壤团聚体的稳定性,对侵蚀土壤团聚体稳定性的修复效果也非常有效。

2.3 生物炭对团聚体有机碳含量的影响

生物炭对增加土壤和大团聚体中有机碳含量的影响较大。图 3 表明,相同处理中不同粒径团聚体 SOC 含量随粒径减小呈现先升高后降低的变化规律,其中各处理 0.25~2 mm 粒级团聚体中 SOC 含量最高。施用相同生物炭,未侵蚀土壤上曾施生物炭

CK+BC 处理比其对照未施用生物炭 CK 处理土壤有机碳含量增加了 19.72%;侵蚀土壤施用生物炭 RS+BC 处理比 RS 处理增加了 22.05%。在 >2 mm 和 0.25~2 mm 粒级中,CK+BC 的 SOC 含量分别比 CK 增加了 12.54%和 21.35%,RS+BC 的 SOC 含量比 RS 处理分别增加了 10.47%和 16.02%。在 <0.053 mm 中,RS+BC 比 RS 处理增加了 33.81%。CK 和 CK+BC 处理间以及 RS 和 RS+BC 处理间的 SOC 含量在 0.053~0.25 mm 中差异均不显著。因此,施加生物炭对增加侵蚀黑土有机碳含量有显著效果。

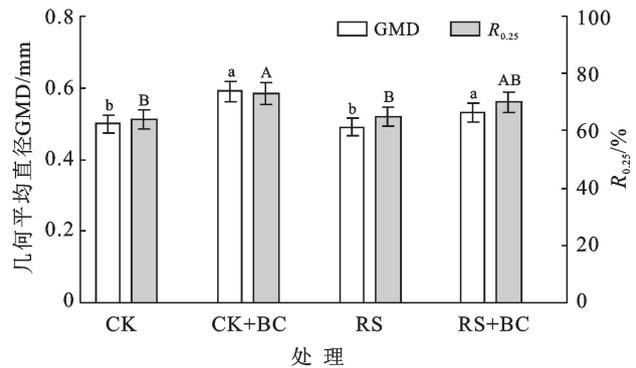


图 2 不同处理土壤团聚体稳定性

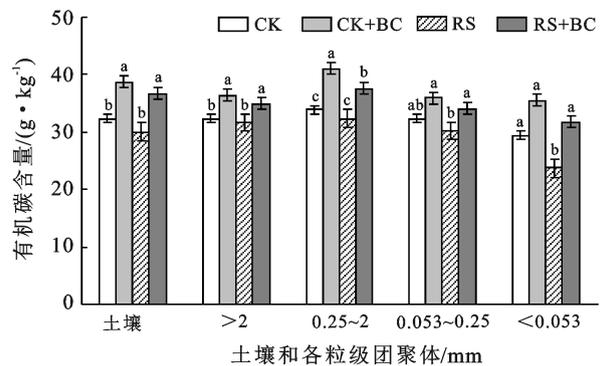


图 3 不同处理土壤和各粒级团聚体有机碳含量

2.4 生物炭对土壤交换性钠含量的影响

生物炭增加了黑土中作为高强度分散剂的交换性钠含量,且对未剥离农田的影响更大(图 4)。施用生物炭的 CK+BC 和 RS+BC 处理的土壤交换性钠含量均高于其未施用生物炭的 CK 和 RS 处理,与 CK 处理相比,CK+BC 处理中的交换性钠含量增加了 46.88%,RS+BC 比 RS 处理高 37.93%。结果表明施用生物炭增加了土壤交换性钠含量,并且对侵蚀土壤中交换性钠含量的增幅影响要小于未侵蚀土壤。

2.5 团聚体稳定性与交换性钠和 SOC 的相关性分析

土壤团聚化过程是黏结剂和分散剂共同作用结

果。由图 5 可知,团聚体 GMD 与黏结剂 SOC 呈显著线性正相关关系 $Y=0.008 X+0.228(r=0.892)$, 其斜率 0.008 即为黏结率;而 GMD 与分散剂交换性钠呈显著负相关关系, $Y=-0.493 X+0.709(r=0.872)$, 其斜率 -0.493 即为分散率。施用生物炭 CK+BC 和 RS+BC 处理黏结剂有机质增加, 导致团聚体 GMD 分别增加了 0.11, 0.05。同时, Na^+ 的增加使 GMD 分别相对减少了 0.09, 0.03。结果表明 SOC 对团聚体的胶结作用大于 Na^+ 的分散作用, SOC 对 Na^+ 负效应的补偿使土壤团聚体稳定性处于平衡状态。

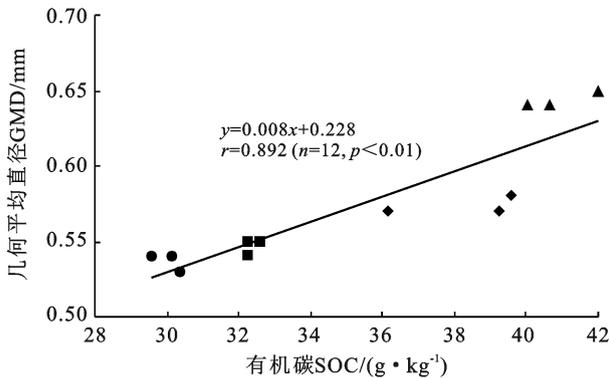


图 5 团聚体 GMD 与 SOC, 交换性钠的相关性

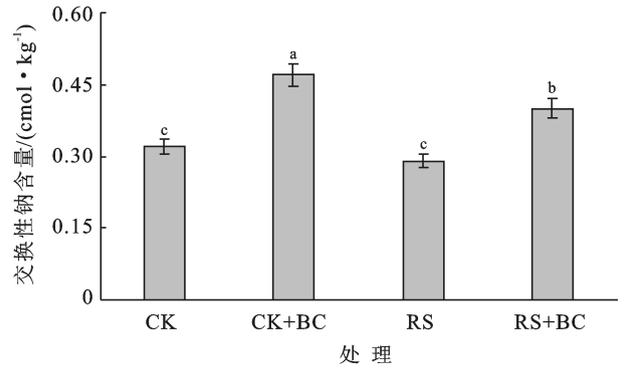
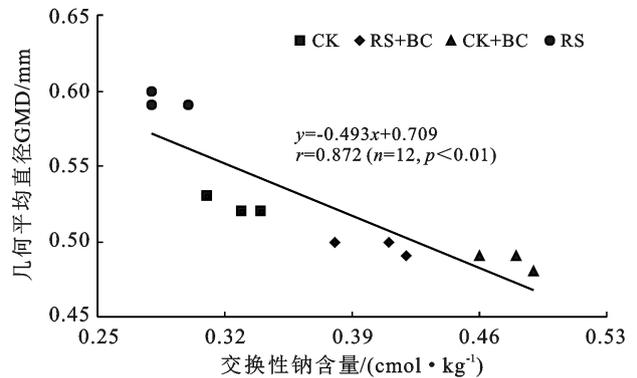


图 4 施用生物炭对土壤交换性钠的影响



3 讨论

3.1 生物炭对土壤团聚体有机碳的影响

土壤团聚体的数量与质量是评价土壤团聚化的重要指标, 决定土壤的性质和肥力, 并通过对土壤水与通气性等产生作用来间接影响土壤生产力^[22-23]。本研究在 2011 年施完生物炭的 9 a 后, 生物炭增加了未侵蚀和侵蚀土壤大团聚体含量, 并提高了土壤团聚体的 GMD 和 $R_{0.25}$, 这与李倩倩等^[24]在进行生物炭对壤土容重和团聚体稳定性的影响研究中得出生物炭能增加大团聚体含量和提高团聚体稳定性的结论一致。有机碳作为带电胶体, 在团聚体形成过程中起到重要作用^[25], 随着生物炭的施用, 土壤有机碳含量均增加, 生物炭对侵蚀土壤中原土有机碳含量的增幅大于生物炭施在未剥离的传统农田, 提升效果较好。本研究施用生物炭提升土壤有机碳含量主要来自于 0.25~2 mm 和 >2 mm 粒径团聚体中有机碳增加的结果, 这与李江舟等^[8]在研究云南烟区红壤团聚体时得出施加生物炭显著增加 >0.25 mm 粒级团聚体有机碳含量的结论相一致。大团聚体中的有机碳含量高, 原因可能是通过有机碳的胶结作用形成大团聚体并增加其有机碳含量^[26]。综上可知, 与未剥离农田和侵蚀土壤相比, 施加生物炭均促进土壤微团聚体向

大团聚体团聚化, 提高土壤有机碳含量, 有助于改善侵蚀后的农田黑土结构状况。

3.2 生物炭对黑土团聚体稳定性机制的调节

团聚体是土壤有机碳的重要储存场所, 史奕等^[27]指出有机质含量高和熟化度高的黑土中有机胶结剂的胶结作用是形成水稳性团聚体的主要机制。本研究中, 通过将生物炭施用前后 4 个处理的土壤团聚体 GMD 与土壤交换性钠和 SOC 含量作线性相关, 9 a 后分别呈线性正相关和负相关, 生物炭使胶结剂有机碳和分散剂交换性钠含量增加, 土壤团聚体 GMD 随前者增大, 随后者减小。生物炭能与土壤颗粒形成团聚体和有机无机复合物, 使团聚体具有较强富集外源有机碳的能力, 从而增加有机碳含量, 促使土壤团聚体的稳定性增大, 这与其他学者研究结果相似^[28-29]。自然条件下, 土壤胶体表面阳离子的吸附强度主要取决于离子的水合半径, 在土壤的一价阳离子中, 由于 Na^+ 的水合半径较大, 其外表较厚的水膜使 Na^+ 与胶体表面的距离相对较远, 吸附力弱, 所以生物炭增加 Na^+ 含量会促使团聚体破坏, 导致土粒分散, 使得土壤团聚体稳定性降低。土壤团聚体的稳定是交换性钠对团聚化的负效应与有机碳对团聚化的正效应相平衡的结果。有机碳促进土壤团聚体胶结作用大于交换性钠引起团聚体分散的作用, 生物炭的施用增加了土壤胶结粒, 对土壤中 Na^+ 的分散作用起

到一定的补偿,进而降低 Na^+ 对团聚体的破坏效应,二者的综合作用使土壤团聚体稳定性保持在一个平衡状态,促进侵蚀土壤团聚化稳定性的提高。

4 结论

生物炭修复侵蚀黑土团聚体的效果显著,生物炭显著增加了侵蚀土壤大团聚体含量、GMD 和 $R_{0.25}$ 值,侵蚀黑土的有机碳含量得到显著提升。施用生物炭对胶结剂(有机碳)比对分散剂(Na^+)影响大,胶结剂 SOC 与分散剂 Na^+ 的综合作用促进了土壤团聚体稳定性的提高。生物炭作为侵蚀黑土修复剂,改善黑土侵蚀后的结构,促进了土壤团聚化,对侵蚀土壤具有良好的修复作用。

[参 考 文 献]

- [1] Rizwan M, Ali S, Qayyum M F, et al. Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: A critical review [J]. *Environmental Science and Pollution Research International*, 2015,23(3):2230-2248.
- [2] Gul S, Whalen J K, Thomas B W, et al. Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015,206:46-59.
- [3] 宋燕凤,张前前,吴震,等.田间陈化生物质炭提高稻田土壤团聚体稳定性和磷素利用率[J].*植物营养与肥料学报*,2020,26(4):613-621.
- [4] 姬强.不同耕作措施和外源碳输入对土壤结构和有机碳库的影响[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [5] Oladele S O, Adeyemo A J, Awodun M A. Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils [J]. *Geoderma*, 2019,336:1-11.
- [6] 王富华,黄容,高明,等.生物质炭与秸秆配施对紫色土团聚体中有机碳含量的影响[J].*土壤学报*,2019,56(4):929-939.
- [7] Herath H, M. S. K, Camps-Arbestain M, Hedley M. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An alfisol and an andisol [J]. *Geoderma*, 2013,209:188-197.
- [8] 李江舟,代快,张立猛,等.施用生物炭对云南烟区红壤团聚体组成及有机碳分布的影响[J].*环境科学学报*,2016,36(6):2114-2120.
- [9] Walters R D, White J G. Biochar in situ decreased bulk density and improved soil-water relations and indicators in southeastern US coastal plain ultisols [J]. *Soil Science*, 2018,183(3):99-111.
- [10] 王冲,王玉峰,谷学佳,等.连续施用生物炭对黑土基础理化性质的影响[J].*土壤通报*,2018,293(2):182-188.
- [11] 吴媛媛,杨明义,张凤宝,等.添加生物炭对黄绵土耕层土壤可蚀性的影响[J].*土壤学报*,2016,53(1):81-92.
- [12] 杨文文,张学培,王洪英.东北黑土区坡耕地水土流失及防治技术研究进展[J].*水土保持研究*,2005,22(5):236-240.
- [13] 张兴义,刘晓冰.中国黑土研究的热点问题及水土流失防治对策[J].*水土保持通报*,2020,40(4):340-344.
- [14] 张旭冉,张卫青.土壤团聚体研究进展[J].*北方园艺*,2020(21):131-137.
- [15] 孙经伟,尧水红,李娜,等.农田恢复措施对黑土母质发育的新成土壤团聚体微形态及孔隙结构的影响[J].*中国土壤与肥料*,2016(4):17-23.
- [16] 韩晓日,葛银凤,李娜,等.连续施用生物炭对土壤理化性质及氮肥利用率的影响[J].*沈阳农业大学学报*,2017,48(4):392-398.
- [17] 刘宇娟,谢迎新,董成,等.秸秆生物炭对潮土区小麦产量及土壤理化性质的影响[J].*华北农学报*,2018,33(3):232-238.
- [18] 胡伟,张兴义,严月.不同土地利用方式下冻融期黑土水热过程观测研究[J].*土壤与作物*,2018,7(3):312-323.
- [19] Six J, Elliott T E, Paustian K. Aggregate dynamics under conventional and no-tillage systems [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1999,63(5):1350-1358.
- [20] Mikha M M, Rice C W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2004,68(3):809-816.
- [21] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:农业科技出版社,2000:24-34.
- [22] 谢钧宇,曹寒冰,孟会生,等.不同施肥措施及施肥年限下土壤团聚体的大小分布及其稳定性[J].*水土保持学报*,2020,34(3):276-281.
- [23] 袁晓良,李俊雅,葛乐,等.不同土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其导水率的影响[J].*水土保持研究*,2020,27(4):67-71.
- [24] 李倩倩,董胜虎,许晨阳,等.生物炭对壤土土壤容重和团聚体的影响[J].*环境科学*,2019,40(7):3388-3396.
- [25] 闫雷,董天浩,喇乐鹏,等.免耕和秸秆还田对东北黑土区土壤团聚体组成及有机碳含量的影响[J].*农业工程学报*,2020,36(22):181-188.
- [26] 李景,吴会军,武雪萍,等.长期保护性耕作提高土壤大团聚体含量及团聚体有机碳的作用[J].*植物营养与肥料学报*,2015,21(2):378-386.
- [27] 史奕,陈欣,闻大中.东北黑土团聚体水稳定性研究进展[J].*中国生态农业学报*,2005,13(4):95-98.
- [28] 徐香菇,汪景宽.土壤团聚体与有机碳机制的研究进展[J].*土壤通报*,2017,48(6):1523-1529.
- [29] Esmaeelnejad L, Shorafa M, Gorji M, et al. Enhancement of physical and hydrological properties of a sandy loam soil via application of different biochar particle sizes during incubation period [J]. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2016,14(2):e1103.