

玉米秸秆生物炭对灰钙土热物理性质的影响

潘江龙, 赵保卫*, 杨哲, 刘辉 (兰州交通大学环境与市政工程学院, 甘肃兰州 730070)

摘要 为了研究玉米秸秆生物炭的施加对灰钙土热物理性质的影响, 将质量比为 0、1%、3% 和 5% 的生物炭分别添加到干燥好备用的 100 g 灰钙土中, 分析不同施加量的玉米秸秆生物炭对灰钙土理化性质、热物理性质的影响。结果表明: 玉米秸秆生物炭能够有效提高灰钙土的 pH、有机质含量、孔隙率、持水性能及阳离子交换量, 降低土壤容重, 从而使灰钙土肥力增强; 生物炭施加量越高, 灰钙土的理化性质改善效果越佳。玉米秸秆生物炭能够影响土壤热物理性质, 土壤的热容量、导热率、热扩散率随生物炭施加量的增加整体呈下降趋势。灰钙土热物理性质与土壤含水量密切相关, 在所有拟合中, 仅 BC500 的热扩散率与含水量拟合效应不显著 ($R^2 < 0.95$), 其他参数与土壤含水量拟合效应均显著 ($R^2 \geq 0.95$)。灰钙土的热容量、导热率、热扩散率与生物炭施加量呈显著或极显著负相关, 与土壤容重呈显著正相关, 与土壤含水量呈极显著正相关。

关键词 生物炭; 玉米秸秆; 灰钙土; 热容量; 导热率; 热扩散率

中图分类号 S-3 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2024)20-0065-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2024.20.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Corn Straw Biochar on the Thermophysical Properties of Sierozem Soil

PAN Jiang-long, ZHAO Bao-wei, YANG Zhe et al (School of Environmental and Municipal Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou, Gansu 730070)

Abstract In order to study the effect of the application of corn straw biochar on the thermophysical properties of sierozem soil, the corn straw biochar with mass ratio of 0, 1%, 3% and 5% were added to 100 g dried sierozem soil, and the effects of different applied amounts of corn stalk biochar on the physicochemical and thermophysical properties of sierozem soil were analyzed. The results showed that corn straw biochar could effectively improve the pH, organic matter content, porosity, water holding performance and cation exchange amount of sierozem soil, reduce soil bulk density, and thus enhance the fertility of sierozem soil; the higher the biochar application amount, the better the physicochemical properties of sierozem soil. Corn straw biochar could affect the thermophysical properties of soil, the heat capacity, thermal conductivity and thermal diffusivity of soil will decrease with the increase of biochar application. The thermophysical properties of sierozem soil were closely related to soil water content. In this study, besides the thermal diffusivity of BC500 was not significant ($R^2 < 0.95$), and the others were significantly correlated with soil water content ($R^2 \geq 0.95$). The thermal capacity, thermal conductivity and thermal diffusivity of calcareous soil were significantly or extremely significantly negatively correlated with biochar application, significantly positively correlated with soil bulk density, and extremely significantly positively correlated with soil water content.

Key words Biochar; Corn stalk; Sierozem; Thermal capacity; Thermal conductivity; Thermal diffusivity

生物炭是枯枝落叶、作物秸秆、城市有机固废等生物质在无氧或缺氧环境下, 经高温热解碳化后所得到的稳定且富含碳的高度芳香化固态颗粒物质, 其具有价格便宜、用途广泛等优点, 经常被用于土壤肥力的改良剂, 在环境等各界引起了关注^[1-2]。在土壤中施加生物炭可以使土壤环境得以改善, 土壤肥力、作物产量、土壤碳库的稳定性均得到一定程度的提高, 还可以减少温室气体的排放, 因此, 生物炭是固碳和改良土壤的理想材料^[3-7]。

土壤导热率、热容量、热扩散率等土壤热物理性质共同决定着土壤温度。目前, 有关生物炭施加对土壤导热率等热物理性质影响的研究普遍较为浅显, 鲜有系统的研究^[8]。有研究表明, 生物炭主要通过改变土壤导热率来实现对土壤温度的调节^[9]。在含水量相同的条件下, 生物炭降低土壤热容量、导热率和热扩散率的效果较为明显; 当施加相同量的生物炭时, 土壤导热率和热容量均随含水量增大而增大, 热扩散率随含水量的增大呈现先增大后减小的趋势^[10]。有研究发现随生物炭含量的增加导热率反而减小^[11]。土壤含水量

是土壤中溶质和水热迁移的基础, 在土壤含水量和温度的相互作用影响下, 土壤水热状况保持动态平衡。马效松等^[12]研究表明土壤导热率、热容量和热扩散率随土壤含水率增加而增大; 土壤导热率和热扩散率随生物炭含量增加而降低; 土壤含水率与导热率、热容量、热扩散率分别呈对数函数、线性函数、二次函数关系。在农业上, 土壤条件、作物种类、田间管理措施等因素共同影响土壤温度变化^[13]。研究生物炭施加对土壤热物理性质的影响非常重要。

目前玉米秸秆经常被露天焚烧或随意堆存, 不仅浪费资源, 还释放大量的有害气体, 对环境造成很多负面影响。通过将玉米秸秆制成生物炭, 可以实现这种农业废弃物的再利用, 避免了极大的浪费, 还可以使土壤的性质得以改善。灰钙土作为西北优势耕种土壤, 分布广泛, 对农业生产及生态保障极为重要, 其具有土质疏松、孔隙发达、有机质含量较低的特点^[14]。将生物炭添加到灰钙土中能够改善土壤 pH、容重、含水量、有机质含量等理化性质, 理化性质的改变进一步会影响土壤热物理性质的改变。因此, 该研究选取兰州地区灰钙土作为供试土壤, 探究玉米秸秆生物炭添加对土壤理化性质、热物理性质的影响以及热物理性质与影响因素的相关性, 为解释生物炭对灰钙土农田土壤热物理性质的影响提供参考依据。

基金项目 国家自然科学基金项目(51766008); 兰州交通大学基础拔尖人才培养计划项目(2022JC10)。

作者简介 潘江龙(1995—), 男, 甘肃漳县人, 助理工程师, 硕士, 从事土壤污染控制研究。* 通信作者, 教授, 博士生导师, 从事污染控制化学、环境污染化学研究。

收稿日期 2023-12-08

1 材料与方法

1.1 试验材料 试验中的玉米秸秆生物炭为江苏麦科特生物炭制备厂生产,是玉米秸秆在 500 °C 高温环境下裂解成的黑色固体粉末。生物炭灰分含量为 12.33%,C、O、H、N 含量分别为 68.58%、17.45%、1.34%、0.48%,pH 为 9.28,比表面积为 24.61 m²/g,孔隙率和含水率分别为 86.4%和 1.42%,热容量为 0.372 MJ/(m³·K),导热率为 0.173 W/(m·K),热扩散率为 0.465 m²/s。

试验所需灰钙土取自甘肃省兰州市安宁区保利领秀山(36°06'37"N、103°44'22"E)原农田种植基地,清理地表杂质后采取 0~20 cm 的表层土壤。采用多点随机取样的方法进行田间土壤取样,土样中检出根茎叶等杂质后,使之自然风干,晾晒研磨后过 20 目筛,将土样处理好后放在恒温箱中活化 7 d 备用。灰钙土中有机碳含量为 8.278%,全氮、全磷和有效磷含量分别为 0.127%、1.24%、0.09%,pH 为 7.63,孔隙率和含水率分别为 60.9%和 16.8%,容重为 1.03 g/cm³。

1.2 试验设计 将质量比为 0、1%、3%和 5%的玉米秸秆生物炭与干燥好备用的 100 g 灰钙土混合均匀后放置于 300 mL 塑料容器中密封待用。将样品置于 25 °C 的恒温箱中培养 15 d 以确保混合样品的稳定性。每个样品设置 3 组平行,测定样品的 pH、有机质、容重、孔隙率、持水性、阳离子交换量及热物理性质(热容量、导热率、热扩散率)。生物炭添加量为 0 的为空白对照组,标记为 BC0,添加量 1%、3%和 5%的分别标记为 BC100、BC300 和 BC500。分析不同量玉米秸秆生物炭对灰钙土理化性质的影响。

按照试验设计,向土壤中加入生物炭与蒸馏水,充分混合后将样品在室温下放置 36 h,样品达到水热平衡后分别测定在一定容重及一定含水量条件下不同量的生物炭添加对土壤热物理性质的影响。将含水量梯度设置为 0、10%、20%、30%和 40%,容重梯度设置为 γ (112.96 g/cm³)、1.3 γ (146.85 g/cm³)、1.5 γ (169.44 g/cm³),用 C、K 和 D 分别标记测定的热容量、导热率和热扩散率。

1.3 测试方法 生物炭灰分含量采用 GB/T 12496—1999 中的方法测定,pH 按照《木质活性炭试验方法 pH 值的测定》(GB/T 12496.7—1999)中的方法测定,生物炭与去离子水的比例设定为 1:20;C、H、N 含量通过元素分析仪(Vario EL 型,德国 Elementar 公司)测定,O 含量通过差减法计算;孔隙结构和比表面积采用物理吸附仪(ASAP2020M 型,美国麦克仪器公司)测定;热物理性质指标采用热物理性质测定仪(KD2 Pro 型,美国 Decagon 公司)测定。

土壤样品的 pH 采用电位法测定;容重通过单位体积质量计算得出;粒径采用激光粒度分析仪(Master sizer 3000 型,英国马尔文公司)测定;含水率通过样品烘干前后的质量差与原始质量的比值计算得出;氮含量采用凯氏定氮仪(KDN04,上海华瑞仪器有限公司)测定;有效磷含量采用分光光度计(722N 型,上海菁华仪器有限公司)测定;土壤有机质含量参照双龙等^[15]的方法测定;孔隙率参照 GB/T 24203—2009 中的方法测定;土壤阳离子交换量参照 NY/T

1121.5—2006 中的方法测定。

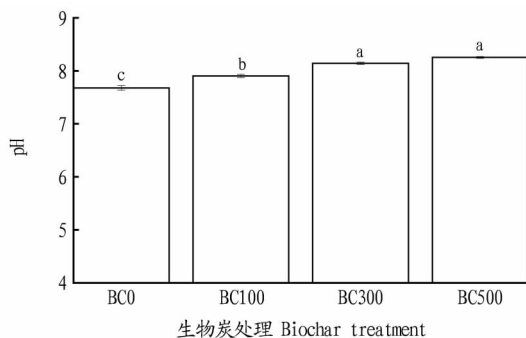
1.4 数据处理 试验数据用 Excel 2013 记录,用 Origin 2018 软件绘图,使用 SPSS 23.0 统计分析软件对数据进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 生物炭对灰钙土基本理化性质的影响

2.1.1 pH. 从不同生物炭施加量对灰钙土 pH 的影响(图 1)可以看出,随生物炭施加量的增加,灰钙土的 pH 增大。与对照(BC0)相比,BC100、BC300、BC500 的 pH 增幅分别为 3.1%、6.1%和 7.4%,均达到显著差异($P<0.05$)。试验中所用玉米秸秆生物炭的 pH 为 9.28,比灰钙土的 pH(7.63)高,灰钙土中添加生物炭后,生物炭携带的碱基离子与灰钙土自身的质子或离子发生置换反应,将碱基离子替换,使其浓度降低,盐基饱和度提高,进一步提高了土壤 pH^[16]。玉米秸秆生物炭自身为碱性,因此生物炭对酸性土壤 pH 的改良优于碱性土壤。

2.1.2 有机质含量。 从不同生物炭施加量对灰钙土有机质含量的影响(图 2)可以看出,随生物炭施加量的增加,灰钙土的有机质含量增加。与对照(BC0)相比,BC100、BC300、BC500 的有机质含量增幅分别为 14.6%、40.9%和 52.8%,均达到显著差异($P<0.05$),可见将生物炭添加到灰钙土中能够有效提高灰钙土的有机质含量。有机质作为土壤最主要的组成成分,能够改善土壤团聚体的稳定性,提高土壤的持水性能,对土壤肥力起着决定性作用。有研究表明,在土壤中添加生物炭可以减缓有机质的分解,从而使腐殖质含量增加,进一步提高土壤肥力^[17]。



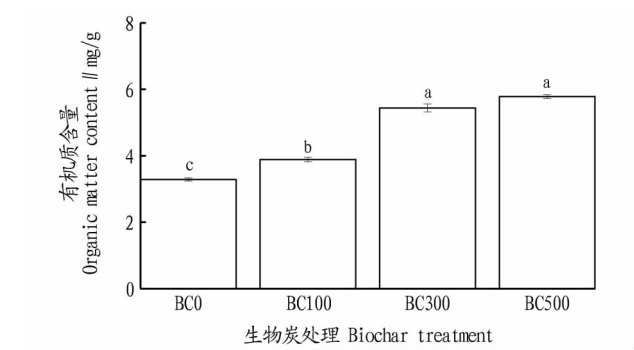
注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图1 生物炭对灰钙土 pH 的影响

Fig.1 Effect of biochar on pH of grey calcium soil

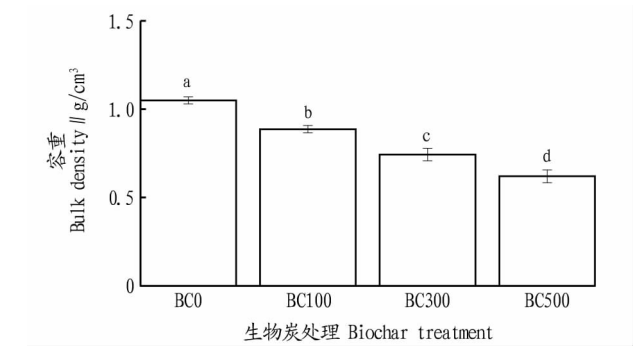
2.1.3 容重。 从不同生物炭施加量对灰钙土容重的影响(图 3)可以看出,随生物炭施加量的增加,灰钙土的容重降低。与对照(BC0)相比,BC100、BC300、BC500 的容重降幅分别为 11.7%、24.3%和 35.9%,均达到显著差异($P<0.05$),可见生物炭能够有效降低土壤容重,这与前人的研究结果一致^[18]。生物炭较小的密度和丰富的孔隙结构是降低土壤容重的主要原因,并且这种孔隙结构对土壤板结有缓解作用^[19]。在土壤中添加生物炭使土壤的通透性得到增加,使微生物有了



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

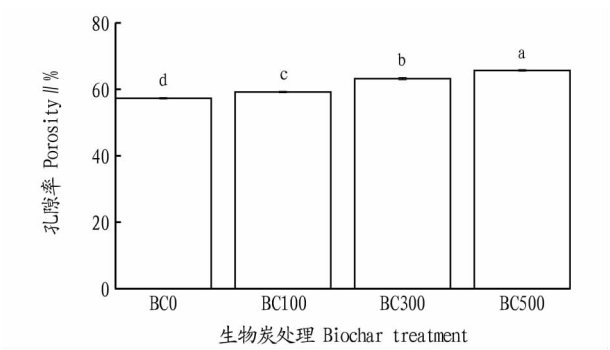
图2 生物炭对灰钙土有机质含量的影响
Fig.2 Effect of biochar on organic matter content of grey calcium soil
充足的碳源^[20],微生物的 C/N 会发生变化,土壤容重得到了进一步降低。

2.1.4 孔隙率。从不同生物炭施加量对灰钙土孔隙率的影响(图4)可以看出,随生物炭施加量的增加,灰钙土孔隙率增加。与对照相比,BC100、BC300、BC500的孔隙率增幅分别为3.3%、10.3%和14.7%,均达到显著差异($P<0.05$)。生物炭丰富的孔隙结构使其本身质地疏松,与土壤混合后土壤的紧实度发生了改变,所以能够提高灰钙土的总孔隙率。有研究表明,生物炭施加量与土壤总孔隙率呈正相关,秸秆和少量生物炭还田能够显著提高稻田土壤的通气孔隙率,孔隙率的增加进一步提高土壤肥力^[21-22]。



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图3 生物炭对灰钙土容重的影响
Fig.3 Effect of biochar on the bulk density of grey calcium soil
2.1.5 持水性。从不同生物炭施加量对灰钙土持水性的影响(图5)可以看出,将添加了不同量生物炭的灰钙土放置在25℃的恒温箱中蒸发至含水量达到稳定水平,BC0、BC100、BC300、BC500的土壤含水量分别稳定在5.2%、5.4%、7.9%、8.3%,表明随生物炭添加量的增加灰钙土持水能力逐渐增强;曲线斜率表明前11d土样含水量下降速率较快,后逐渐趋于稳定。蒸发开始阶段,生物炭处理并未对土样含水量有明显影响;5d后,不同生物炭添加量处理的土样含水量与对照(BC0)差异较为明显,随生物炭施加量的增加,含水量下



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图4 生物炭对灰钙土孔隙率的影响
Fig.4 Effect of biochar on the porosity of calcareous soil
降的速率减缓。生物炭丰富的孔隙结构可以改善土壤通透性,从而增强土壤的持水性能。研究表明,土壤的持水性能可以反映其水分含量及其有效性,生物炭很强的持水性可以使土壤水分的渗透性得到增强、土壤养分含量得以提高^[23-24]。

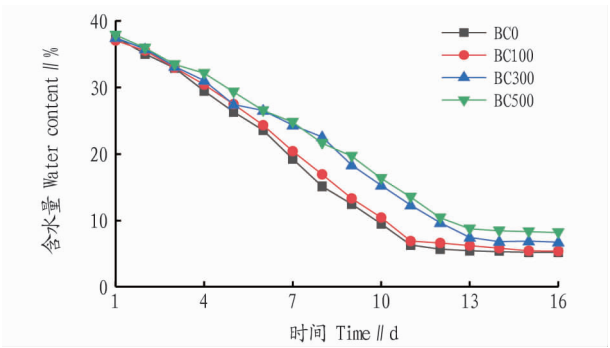
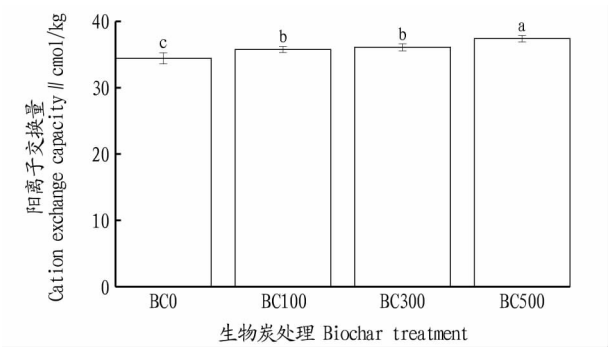


图5 生物炭对灰钙土持水性的影响
Fig.5 Effect of biochar on the water holding capacity of calcareous soil

2.1.6 阳离子交换量。从不同生物炭施加量对灰钙土阳离子交换量的影响(图6)可以看出,生物炭施加量的增加可以



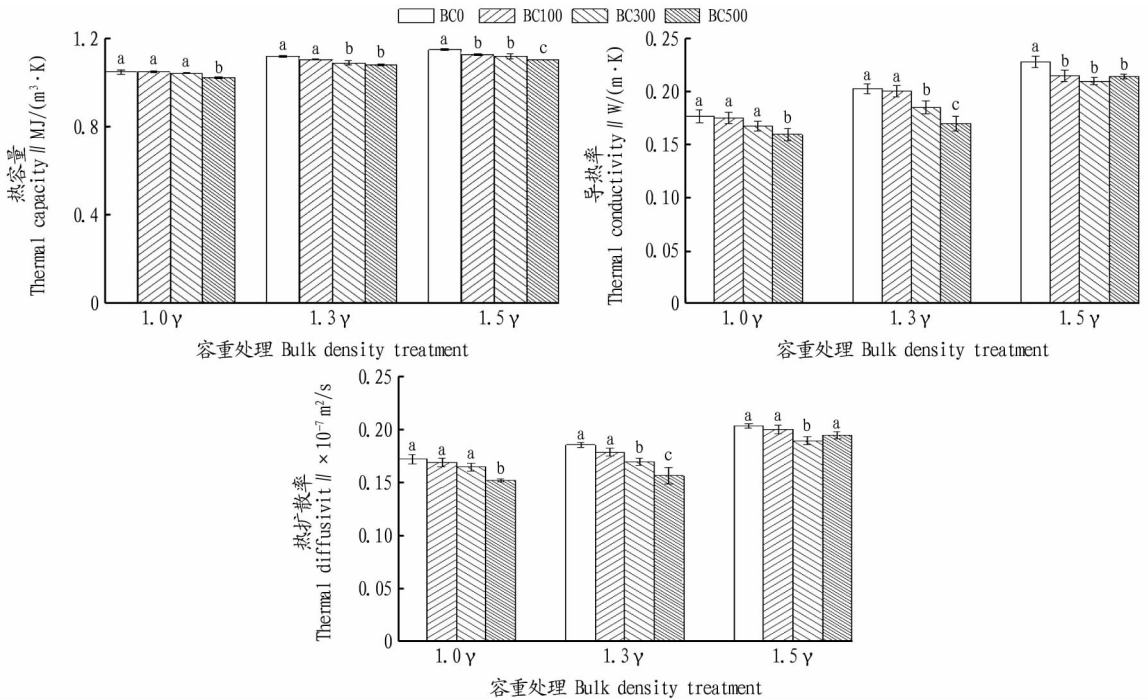
注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图6 生物炭对灰钙土阳离子交换量的影响
Fig.6 Effect of biochar on cation exchange capacity of grey calcium soil

提高土壤中阳离子交换量。与对照 (BC0) 相比, BC100、BC300 和 BC500 的增幅分别为 3.7%、4.9% 和 8.6%。土壤阳离子交换量反映了土壤的供肥能力、保肥能力和缓冲能力, 是衡量土壤肥力的重要参数^[25]。王瑞峰等^[25]研究表明随生物炭施加量的增加, 可以在一定程度上增加土壤阳离子交换量, 增加量为 0.1~3.7 cmol/kg。黄凯等^[26-27]研究表明添加生物炭到土壤中能够提高土壤阳离子交换量。生物炭较高的阳离子交换量能够释放一定量的阳离子, 同时生物炭能使部分稳定态元素变为激发态元素, 进而增加土壤阳离子交换量^[28]。

2.2 生物炭对灰钙土热物理性质的影响

图 7 表示在一定



注:不同小写字母表示同一容重处理不同生物炭处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between different biochar treatments for the same bulk density ($P < 0.05$).

图 7 容重对灰钙土热物理性质的影响

Fig.7 Effect of bulk density on the thermophysical properties of grey calcium soil

图 8 表示在一定容重条件下,含水量对不同生物炭施加量的灰钙土热容量、导热率和热扩散率的影响。由图 8 可知,容重一定时,随土壤含水量的增加,热容量和导热率增加,热扩散率呈先增加后减少的趋势。由线性拟合可知,灰钙土热物理性质与土壤含水量显著相关,在所有拟合中,仅 BC500 的热扩散率与土壤含水量拟合效应不显著 ($R^2 < 0.95$),其他热物理性质参数与土壤含水量拟合效应均显著 ($R^2 \geq 0.95$),表明微小的含水量的变化便足以引起土壤热物理性质的变化。土壤中的水分会在颗粒间形成水膜,从而颗粒间的接触面积增大,土壤导热率上升^[29]。土壤中水分的热容量远高于空气的热容量,所以随含水量的增加土壤热容量也显著增加。随土壤含水量的增加,热扩散率先增后减,是因为热容量和导热率共同决定了土壤的热扩散率,热扩散率达到峰值以前,随含水量的增加,导热率的增加速度比热容量的增加速度

含水量与不同容重条件下,不同生物炭施加量对灰钙土热容量、导热率、热扩散率的影响。由图 7 可知,含水量一定时,土壤的热容量、导热率和热扩散率随生物炭施加量的增加整体呈下降趋势,随容重的增加而明显增加,表明土壤热性质与生物炭施加量和容重均有较大联系。在含水量一定的条件下,土壤容重决定了土壤孔隙率,容重增加,孔隙率降低,土壤中固相颗粒所占体积比增大,固相颗粒的热容量远大于气相热容量,因此热容量随容重增大而增大;土壤中孔隙率的降低使得固相颗粒物接触更为紧密,导热性能和热扩散率更强。孔隙率在一定程度上也会影响土壤的绝热性能,生物炭丰富的孔隙率会降低土壤热物理性质^[29]。

快,等热扩散率达到峰值后,热容量的增加速度反而高于含水量的增加速度。这与马效松等^[12]的研究结果一致。

2.3 热物理性质与影响因素间的相关性分析 由表 1 可知,灰钙土的热容量、导热率、热扩散率与生物炭施加量呈显著或极显著负相关,生物炭丰富的孔隙结构会影响土壤的绝热效应,使土壤热物理性质降低^[29]。灰钙土的热容量、导热率、热扩散率与容重呈显著正相关,含水量一定时,土壤容重增加导致孔隙率降低,土壤中固体所占体积比增大,接触更为紧密,因此土壤热物理性质增加。灰钙土的热容量、导热率、热扩散率与含水量呈极显著正相关,土壤含水量增加会使固相颗粒间形成的水膜增多,接触面积增大,导热率上升;由于水分的热容量远高于空气的热容量,所以随含水量的增加土壤热容量也显著增加。土壤热扩散率与热容量和导热率呈极显著正相关,热容量和导热率共同决定了土壤的热扩散率。

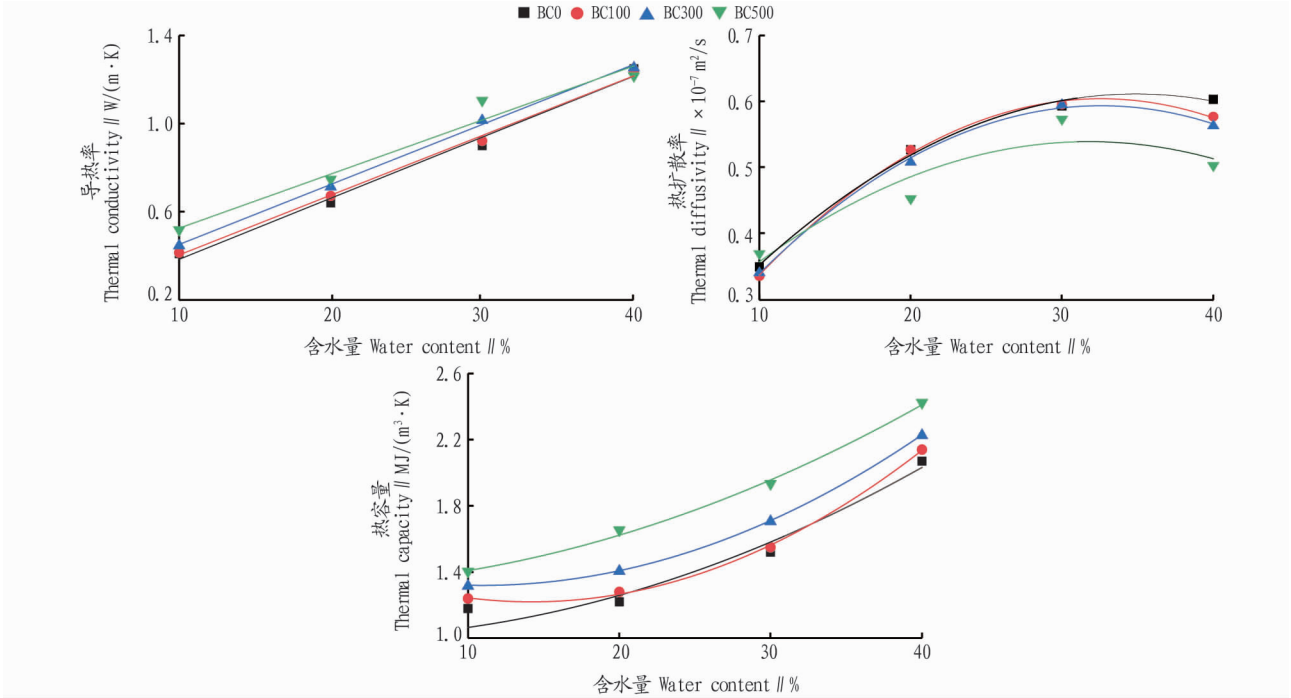


图 8 含水量对灰钙土热物理性质的影响

Fig.8 Effect of water content on the thermophysical properties of grey calcium soil

表 1 土壤热物理性质与生物炭施加量、容重、含水量间的相关性

Table 1 Correlation between soil thermophysical properties and biochar application,bulk density and water content

因素 Element	生物炭施加量 Biochar application	容重 Bulk density	含水量 Water content	热容量 Thermal capacity	导热率 Thermal conductivity
容重 Bulk density	-0.461 **				
含水量 Water content	-0.225 *	0.413 *			
热容量 Thermal capacity	-0.535 *	0.458 *	0.802 **		
导热率 Thermal conductivity	-0.472 *	0.595 *	0.914 **	0.833 **	
热扩散率 Thermal diffusivity	-0.359 **	0.482 *	0.845 **	0.891 **	0.832 **

注：* 表示显著相关($P<0.05$)，** 表示极显著相关($P<0.01$)。
Note: * indicates significant correlation ($P<0.05$), ** indicates extremely significant correlation ($P<0.01$).

3 结论

将生物炭添加到灰钙土中,能够使灰钙土的 pH 增高、有机质含量增加、孔隙率增加、容重降低、持水性能增强、阳离子交换量提高,且随生物炭施加量的增加,灰钙土理化性质改变效果越明显,从而使灰钙土肥力得到有效提高。生物炭的添加能够对土壤热物理性质产生影响,含水量一定时,土壤的热容量、导热率、热扩散率随生物炭施加量的增加整体呈下降趋势;灰钙土热物理性质与土壤含水量呈极显著相关,在所有拟合中,仅 BC500 的热扩散率与含水量拟合效应不显著($R^2<0.95$),其他热物理性质参数与土壤含水量拟合效应均显著($R^2\geq 0.95$),表明微小的含水量的变化便足以引起土壤热物理性质的变化。灰钙土的热容量、导热率、热扩散率与生物炭施加量呈显著或极显著负相关,与土壤容重呈显著正相关,与土壤含水量呈极显著正相关。该研究通过探究生物炭对灰钙土理化性质及热物理特性的影响,分析了热物理特性与影响因素间的相关性,将有助于揭示生物炭对土壤热物理性质参数影响机理,同时为正确评估生物炭在农田系统中的作用提供技术支撑。

参考文献

[1] LI B,YANG L,WANG C Q,et al.Adsorption of Cd (II) from aqueous solutions by rape straw biochar derived from different modification processes [J].Chemosphere,2017,175:332-340.

[2] MOHAN D,SARSWAT A,OK Y S,et al.Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar,a renewable,low cost and sustainable adsorbent - A critical review [J].Bioresource technology,2014,160:191-202.

[3] Glaser B,Haumaier L,Guggenberger G,et al.The 'Terra Preta' phenomenon:A model for sustainable agriculture in the humid tropics[J].Naturwissenschaften,2001,88(1):37-41.

[4] HARDIE M,CLOTHIER B,BOUND S,et al.Does biochar influence soil physical properties and soil water availability? [J].Plant and soil,2014,376(1/2):347-361.

[5] QIAN K Z,KUMAR A L,ZHANG H,et al.Recent advances in utilization of biochar[J].Renewable and sustainable energy reviews,2015,42:1055-1064.

[6] KUZUYAKOV Y,SUBBOTINA I,CHEN H Q,et al.Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by 14C labeling[J].Soil biology and biochemistry,2009,41(2):210-219.

[7] 王娟,黄成真.生物炭对土壤改良效果的研究进展[J].水资源与水工程学报,2020,31(3):246-253.

[8] 李刘军.玉米秸秆生物炭对棕壤土热物理特性的影响及机制[D].兰州:兰州交通大学,2020.

城镇化进程得到较快发展,从而加快了林地非农化速度。该时期不同土地利用类型之间的转移面积幅度较大,表明该时期土地利用变化受到人类活动的影响较大。近 11 年水域面积略有减小,变化不明显。

3 结论与讨论

基于定远县土地利用变化数据和社会经济统计数据,分析了定远县 2008—2018 年土地利用时空变化特征,揭示了土地利用变化的规律,其结论主要如下:

(1)2008—2018 年定远县建筑用地和未利用地的面积动态态度较大。建筑用地面积呈逐年上升趋势,年增幅为 8.6%;未利用地面积逐年减少,年减幅为 8.8%;其他地类中,耕地面积呈缓慢增长趋势,年增幅为 1.6%,林地、草地和水域面积均呈现小幅下降趋势,年增幅分别为 3.7%、0.3%和 0.2%。定远县土地利用结构以耕地和林地为主,二者占研究区的总面积在 70%以上。近 11 年定远县土地利用类型的主要变化趋势为耕地和建筑用地的持续增加,林地和未利用地的持续减少,草地先略微增加而后小幅减少,水域用地变化不明显。

(2)从各地类变化的空间分布上看,2008—2018 年土地利用转移图谱以林地与耕地之间的相互转换以及建设用地占用林地和未利用地为主。林地、未利用地转变为耕地主要发生在定远县中部地势相对平缓的平原地带,林地、未利用地转变为建设用地主要集中分布于定远县城区周边经济相对发达区域。定远县城镇总体规模发展相对较快,近 11 年定远县土地利用率在逐步提高,该时期不同土地利用类型之间的转移面积幅度相对较大,该时期土地利用变化受人类活动的影响较大。

(3)定远县农业物产富饶,是全国粮食生产百强县之一,同时也是全国商品粮生产基地,这是定远县耕地面积不断增

加和得到保护的主要原因之一。另外,土地整治政策和城镇化的发展对定远县土地利用空间结构有一定的影响,推动定远县城区布局从分散的城区中心演变到集聚性城区,政策因素决定了土地利用空间结构和发展方向。

(4)在研究时间段内,定远县整体土地利用变化逐步向空间集约化和可持续化方向发展。为保障定远县农业产业的特色定位,在定远县未来土地利用规划和土地资源配置过程中,合理规划设计城镇建设规模同时,更要注重发挥和保持资源尤其是农业资源的优势和产业地位。

参考文献

[1] 张万青,解家安.基于土地利用变化的大通县域生态补偿研究[J].中国环境管理干部学院学报,2018,28(1):42-45.

[2] COSTANZA R,DE GROOT R,SUTTON P,et al.Changes in the global value of ecosystem services[J].Global environmental change,2014,26:152-158.

[3] 张雪英.1990—2020 年辽西地区土地利用变化及驱动力分析[J].无线工程,2021,51(8):711-719.

[4] 王宗明,张树清,张柏.土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J].中国环境科学,2004,24(1):125-128.

[5] 张莽,王萍,陈慧,等.长江上游地区土地利用格局时空演变:以四川省宜宾市为例[J].水土保持通报,2018,38(2):210-216

[6] 胡明,卢爱刚,胡亚丽,等.县域土地利用结构变化与驱动力分析:以安塞县为例[J].安徽农业科学,2008,36(25):11030-11032,11044.

[7] 周子英,张群,彭秋霞.同城化进程中县域土地利用变化及其驱动力分析研究:以湖南省醴陵市为例[J].湖南工程学院学报(社会科学版),2015,25(1):1-6.

[8] 王福海,周启刚,杨霏,等.三峡库区 2010 年度土地利用现状分析[J].水土保持研究,2013,20(5):221-225,231.

[9] 林柳璇,尤添革,刘金福,等.1985—2015 年厦门市土地利用变化及驱动力[J].福建农林大学学报(自然科学版),2019,48(1):103-110.

[10] 叶晶萍,刘士余,盛菲,等.寻乌水流域景观格局演变及其生态环境效应[J].生态学报,2020,40(14):4737-4748.

[11] 刘光旭,王小军,相爱存,等.赣江中上游地区土地利用变化空间分异与驱动因素[J].应用生态学报,2021,32(7):2545-2554.

[12] 李晓琳,肖颖,邓姜艳,等.基于空间转移图谱的异龙湖流域土地利用时空变化特征及趋势预测[J].灌溉排水学报,2022,41(11):107-113,146.

(上接第 69 页)

[9] ZHANG Q Z,WANG Y Q,WU Y F,et al.Effects of biochar amendment on soil thermal conductivity,reflectance, and temperature[J].Soil science society of america journal,2013,77(5):1478-1487.

[10] 聂瑾.小麦秸秆生物炭对灰钙土农田土壤热物理性质及反照率的影响[D].兰州:兰州交通大学,2021.

[11] ABU-HAMDEH N H,REEDER R C.Soil thermal conductivity effects of density,moisture,salt concentration, and organic matter[J].Soil science society of America journal,2000,64(4):1285-1290.

[12] 马效松,付强,徐淑琴,等.生物炭对北方寒区农田土壤热性能参数的影响[J].农业机械学报,2019,50(10):298-305.

[13] ZHANG Y,CHEN W J,SMITH S L,et al.Soil temperature in Canada during the twentieth century: Complex responses to atmospheric climate change[J].Journal of geophysical research: Atmospheres,2005,110(D3): 1-15.

[14] 南志江,蒋煜峰,毛欢欢,等.玉米秸秆生物炭对灰钙土吸附金霉素的影响[J].环境科学,2021,42(12):5896-5904.

[15] 双龙,妮萨娜,杜江,等.重铬酸钾氧化-外加加热法测定化探土壤样品中有机碳含量[J].安徽化工,2016,(4):110-112.

[16] 徐欢.生物质炭中 SO_4^{2-} 的释放及生物质炭对黄土吸附 SO_4^{2-} 的影响研究[D].兰州:兰州交通大学,2017.

[17] 勾芒芒,屈忠义.生物炭对改善土壤理化性质及作物产量影响的研究进展[J].中国土壤与肥料,2013(5):1-5.

[18] OGUNTUNDE P G,ABIODUN B J,AJAYI A E,et al.Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana[J].Journal of plant nutri-

tion and soil science,2008,171(4):591-596.

[19] 潘金华,庄舜尧,曹志洪,等.生物炭添加对皖南旱地土壤物理性质及水分特征的影响[J].土壤通报,2016,47(2):320-326.

[20] 吴鹏年,王艳丽,侯贤清,等.秸秆还田配施氮肥对宁夏扬黄灌区滴灌玉米产量及土壤物理性状的影响[J].土壤,2020,52(3):470-475.

[21] 崔月峰,孙国才,郭奥楠,等.秸秆和生物炭还田对冷凉稻区土壤物理性质及 pH 值的影响[J].江苏农业科学,2020,48(21):255-260.

[22] 何振嘉.生物炭对土壤理化特性及作物产量的影响[J].粮食科技与经济,2020,45(5):73-75.

[23] 邵礼阳,林威鹏,张凤姬,等.生物炭对酸性土壤改良的研究进展[J].广东农业科学,2021,48(1):35-44.

[24] PENG X, YE L L, WANG C H, et al.Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an ultisol in southern China[J].Soil and tillage research,2011,112(2):159-166.

[25] 王瑞峰,赵立欣,沈玉君,等.生物炭制备及其对土壤理化性质影响的研究进展[J].中国农业科技导报,2015,17(2):126-133.

[26] 黄凯,孔德平,盛建军,等.生物炭对矿区污染土壤理化性质及重金属形态的影响[J].江西农业学报,2022,34(9):73-79.

[27] 王琪,张永波,贾亚敏,等.有机肥和生物炭对重金属污染农田土壤肥力的影响[J].江苏农业科学,2020,48(1):263-267.

[28] 叶嫣然,刘檀昕,邢钟月.生物炭改良重金属污染土壤的机理及潜在风险[J].广东蚕业,2020,54(5):39-40.

[29] 赵建坤.施用生物炭对土壤热性质的影响及其机制研究[D].北京:中国农业科学院,2016.