

郑云珠,田晓飞,翟 胜,等. 小麦秸秆生物炭对冬小麦生长及土壤水分的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(23):84-88.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.23.015

小麦秸秆生物炭对冬小麦生长及土壤水分的影响

郑云珠,田晓飞,翟 胜,白广坤,孙晓莹,王雅冉,王昌泓,孙树臣

(聊城大学环境与规划学院,山东聊城 252059)

摘要:为探明小麦秸秆生物炭对冬小麦生长及土壤水分的影响,通过冬小麦盆栽试验,研究 7 种生物炭施用量: 0(CK)、10(B10)、20(B20)、30(B30)、40(B40)、50(B50)、60(B60) t/hm² 对北方潮土区冬小麦株高、生物量及土壤含水量的影响。结果表明,与对照(CK)相比,B10、B30、B40、B60 处理下的株高分别显著增加 10.01%、14.99%、9.38%、18.94%,B20 和 B50 处理对冬小麦株高提升效果不显著。施用生物炭可分别提高冬小麦的地上干物质量 18.97%~34.29%、地下干物质量 6.07%~59.62%、总干物质量 16.02%~39.89%,但对根冠比没有显著影响。B10 处理可以增加冬小麦苗期、拔节期、开花期和灌浆期的土壤含水量,其他生物炭处理下土壤含水量在不同时期均低于对照(CK)。因此,在肥力较高的潮土中,施用低量的小麦秸秆生物炭可以促进冬小麦的生长并增加土壤水分。

关键词:生物炭;冬小麦;小麦秸秆;生长;土壤含水量

中图分类号:S512.1⁺10.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)23-0084-05

生物质炭是生物质原料(包括农业秸秆、林业废弃物、水生植物、禽畜粪便以及工业残留物等生物质^[1-2]) 在完全缺氧或限氧条件下,通过高温热裂解而形成的一类稳定难溶、具有高度芳香化结构及富含碳的固态物质^[3-4]。生物炭一般呈碱性,具有较大的阳离子交换量(CEC)和吸附能力,可以提高土壤的保肥能力^[5-6],同时生物炭比表面积较大、容重小、孔隙结构发达,施入土壤可以改善土壤结构等^[7-8]。生物炭生产是废弃物资源得到合理利用、减少环境污染以及改善土壤理化性质的一种有效可行的方式,近年来得到国内外众多学者的关注,被广泛应用于农业领域中^[9]。越来越多的研究表明,施用生物炭可以改善土壤环境,增加土壤中有机碳、全氮、速效磷、速效钾等含量,促进作物生长,增加作物产量^[10-11]。代快等在赤红壤中研究发现,与对照相比,施用 4% 生物炭的烤烟产量和水分利用效率分别显著提高 46.2% 和 68.8%^[12]。陈芳等研究发现,秸秆炭和谷壳炭对水稻株高、生物量

增加的效果比木炭明显^[13]。Jones 等通过 3 年的试验研究发现,前 2 年施用生物炭对作物的株高和生物量没有显著影响,但在第 3 年作物株高和生物量显著增加^[14]。但也有研究发现,施用中、高量生物炭会降低夏玉米的周年产量^[15]。因此,因生物炭材料、施炭量、作物种类以及土壤类型等因素不同,生物炭添加后对作物生长的效用还存在一定的差异。

小麦在我国粮食生产中占有重要的地位,是我国重要的粮食作物之一。目前,针对潮土区的多数研究,施用的生物炭多以小麦秸秆以外的材料制作,且对于生物炭是否能够促进作物生长的结论还不一致,而将小麦秸秆炭化后回归冬小麦种植中的研究报道较少。为此,本试验以冬小麦为研究对象,通过盆栽试验,探讨潮土区不同小麦秸秆生物炭施加量对冬小麦生长以及土壤水分的影响,以期生物炭更好地服务于农业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2018—2019 年在聊城大学土壤生态环境教学科研基地(36°43' N, 116°01' E)进行。该区位于山东省聊城市,属温带大陆性季风气候,年平均气温约为 13.5℃,无霜期 208 d,年均降水量约为 540.4 mm,主要集中在夏季,年内降水季节分配不均。图 1 反映了研究期内的平均气温和降水量,冬小麦生育期内(2018 年 11 月至 2019 年 6 月)的平

收稿日期:2020-03-31

基金项目:国家自然科学基金(编号:41701243、41807092);聊城大学博士科研启动基金(编号:318051748);聊城大学大学生科技文化创新项目(编号:cxcy2019y061)。

作者简介:郑云珠(1995—),女,山东济宁人,硕士研究生,主要从事资源利用与生态安全研究。E-mail:yunzhuzheng@163.com。

通信作者:孙树臣,博士,讲师,主要从事土壤水分与植物相互作用相关研究。E-mail:sunshuchen123@126.com。

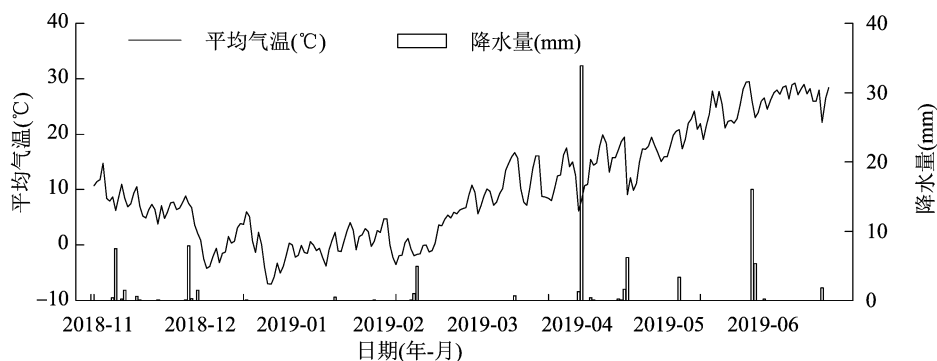


图1 研究期内日平均气温和降水量

均气温为 10.2 °C,总降水量为 98.1 mm。

1.2 供试材料

供试土壤为潮土,质地为壤质土,基本理化性质:pH 值为 8.59,有机质含量为 9.220 g/kg、全氮含量为 0.568 g/kg、全磷含量为 0.411 g/kg、全钾含量为 18.987 g/kg、速效磷含量为 3.857 mg/kg、速效钾含量为 64.820 mg/kg。供试小麦秸秆生物炭由南京智联科技有限公司提供,裂解温度为 500 °C,基本理化性质:pH 值 10.20,全碳含量 549.06 g/kg,全氮含量 11.54 g/kg,阳离子交换量 40 cmol/kg,全磷含量 2.42 g/kg,全钾含量 34.53 g/kg,速效磷含量 386.46 mg/kg,速效钾含量 20 625.00 mg/kg。供试小麦品种为济麦 22。

1.3 试验设计

试验于 2018 年 11 月 10 日冬小麦播种起至 2019 年 6 月 10 日收获止。采用盆栽试验,盆栽桶选用内径为 20 cm,高为 50 cm 的聚氯乙烯(PVC)管,底部用挡板密封,防止水分渗漏。本试验生物炭施用量分别为 0、10、20、30、40、50、60 t/hm² 共 7 个处理水平(分别记作 CK、B10、B20、B30、B40、B50、B60),每个处理重复 5 次。盆栽用土全部过 5 mm 筛并自然风干,每个盆栽桶装风干土 17 kg,风干土分 3 次填装,首先装风干土至 25 cm 处并压实,再装入混合均匀的土壤、肥料和生物炭至盆栽桶 40 cm 高处,播种 20 粒小麦,盆栽桶中部播种一行,边缘播种 2 粒,最后覆盖混合均匀的风干土与生物炭 5 cm。各盆栽施肥量相同,分别为氮肥(尿素,含氮 46%,225 kg/hm²)、磷肥(磷酸二铵,含 P₂O₅ 46%,125 kg/hm²)、钾肥(氯化钾,含 K₂O 60%,90 kg/hm²),50%的氮肥和全部钾肥、磷肥在盆栽时一次性施入作为底肥,50%氮肥在冬小麦拔节期和灌浆期采用水肥一体化技术等量追施,其他管理措施同当地大田。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 植物指标测定 冬小麦株高采用卷尺进行测量,自 2018 年 12 月 12 日至试验结束,每月测定 1 次,每个盆栽内的株高用全部冬小麦株高的平均值表示。试验结束后,采集所有盆栽全部的整株新鲜冬小麦样品(包括地上部分的茎、叶和地下部分的根系),带回实验室称鲜质量,采用烘干法于 105 °C 杀青 30 min,之后于 75 °C 条件下烘干至恒质量,并计算干物质质量和根冠比。

1.4.2 土壤含水量测定 于冬小麦苗期(2018 年 11 月 22 日)、拔节期(2019 年 3 月 26 日)、开花期(2019 年 4 月 21 日)、灌浆期(2019 年 5 月 19 日)分别使用电子秤称取盆栽的质量,并依据前期试验过程中的质量数据计算得到冬小麦的土壤含水量。

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 软件进行数据处理,Origin 2017 软件进行绘图,SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析,多重比较采用 Duncan's 新复极差法检测处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 生物炭对冬小麦株高的影响

由图 2 可知,施用生物炭处理总体上对冬小麦各个时期的株高均产生了一定促进作用,不同生物炭处理对冬小麦不同生长时期的影响不同。从冬小麦的越冬期(2018 年 12 月 12 日)到拔节期(2019 年 3 月 24 日),B40 处理对冬小麦株高的提升作用明显高于其他处理。在冬小麦的开花期(2019 年 4 月 18 日),冬小麦在 B10 处理下的株高最高,但 B60 处理下的株高低于对照(CK),说明 B60 处理对冬小麦的生长产生了一定的抑制作用。在冬小麦的灌浆期(2019 年 5 月 12 日),B60 处理下冬小麦的株高最高,明显高于对照和其他生物炭处理,开花期

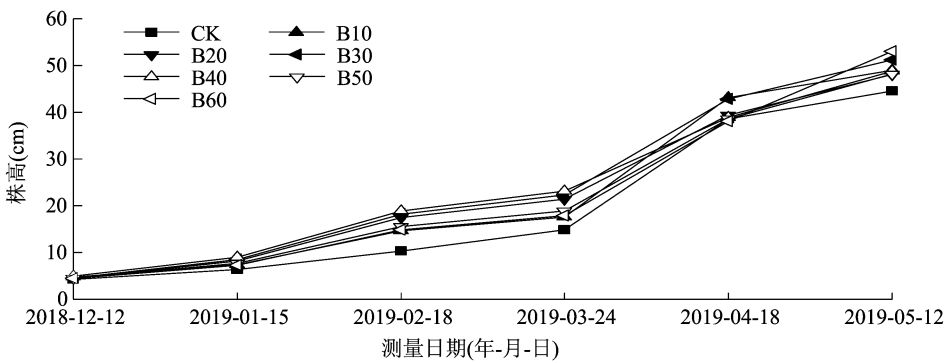


图2 不同生物炭处理冬小麦株高变化

对冬小麦生长所产生的抑制影响消除。

由表 1 可见,与对照(CK)相比,各施炭处理均能不同程度促进冬小麦株高增加,不同生物炭处理下冬小麦株高表现为 B60 > B30 > B10 > B40 > B50 > B20 > CK。与 CK 相比,B10、B30、B40、B60 处理下的株高分别显著增加 10.01%、14.99%、9.38%、18.94%,B20、B50 处理虽然也分别促进冬小麦株高增加 7.90%、8.08%,但对株高影响均不显著。B60 处理对冬小麦株高的促进效果最好,较 B10、B20、B40、B50 处理分别显著增加 8.12%、10.23%、8.74%、10.05%,其中 B30 和 B60 处理无显著性差异。

表 1 不同处理下冬小麦平均株高($\bar{x} \pm s$)

处理	株高 (cm)
CK	44.56 ± 1.59c
B10	49.02 ± 3.33b
B20	48.08 ± 2.05bc
B30	51.24 ± 2.71ab
B40	48.74 ± 1.60b
B50	48.16 ± 3.35bc
B60	53.00 ± 3.98a

注:同列数据后不同小写字母表示各处理间差异显著($P < 0.05$),下表同。

2.2 生物炭对冬小麦生物量的影响

2.2.1 生物炭对冬小麦地上生物量的影响 由表 2 可知,相较于对照,B10、B20、B30、B40、B50、B60 处理地上干物质质量显著增加 18.97%、32.24%、34.29%、32.75%、23.08%、34.04%,但施用生物炭处理间对冬小麦地上生物量的增加效果无显著性差异。施用生物炭对冬小麦地上秸秆含水量的影响不显著,与对照相比,B40 处理表现出降低冬小麦地上秸秆含水量 9.11%,其他生物炭处理均能不同程度地增加冬小麦地上秸秆的含水量,B30 处理增加效果

最好,比对照高 14.79%。由此表明,施用生物炭可以促进冬小麦地上部分有机物的积累,但对冬小麦地上秸秆水分贮存、减少水分散失的作用不显著。

2.2.2 生物炭对冬小麦根系生物量的影响 根系是冬小麦重要的生长发育器官,为冬小麦地上部分提供所需要的水分、养分等,其干质量可反映冬小麦的生长发育程度。由表 2 可知,对照(CK)的地下干物质量最小,可见施用生物炭各处理均可增加冬小麦的根系生物量。B60 和 B20 处理下的地下干物质量分别比对照显著高 59.62%、51.82%,其余生物炭处理与对照均无显著性差异。B60 处理对冬小麦地下根系生物量的作用最好,显著高于 B10 处理 50.49%,与其他生物炭处理没有显著性差异。

2.2.3 生物炭对冬小麦总干物质量和根冠比的影响 由表 2 可知,与不施加生物炭相比,各生物炭处理均可提高冬小麦总干物质量,B20、B30、B40、B50、B60 分别较对照显著增加 36.68%、33.62%、36.12%、24.35%、39.89%,B10 处理对冬小麦总干物质量增加效果不显著。B20、B30、B40、B50、B60 处理间总干物质量没有显著性差异,但分别高于 B10 处理 17.81%、15.17%、17.33%、7.18%、20.57%。

根冠比是反映作物地下和地上生长状况的一个重要指标。由表 2 可知,施用生物炭对冬小麦根冠比的影响不显著,各处理下冬小麦根冠比表现为 B60 > B20 > B40 > B50 > CK > B30 > B10,其中 B10 和 B30 处理冬小麦根冠比低于其他处理。

2.3 生物炭对土壤含水量的影响

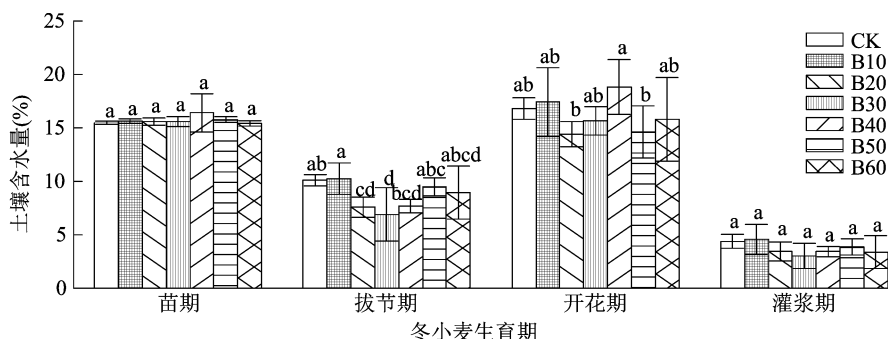
作物正常生长需要适宜的水分供给,土壤水分是其主要来源。由图 3 可以看出,施用生物炭对土壤含水量产生了一定的影响,与对照相比,B10 处理可以增加冬小麦 4 个时期的土壤含水量。在冬小麦的苗期,B10、B20、B30、B40、B50 处理的土壤含水量均高于对照,B60 土壤含水量低于对照,施用生物炭

表 2 不同处理对冬小麦生物量($\bar{x} \pm s$)的影响

处理	地上干物质量 (g)	地上秸秆含水量 (%)	地下干物质量 (g)	总干物质量 (g)	根冠比 (%)
CK	19.45 ± 1.28b	61.38 ± 9.21a	5.77 ± 1.46c	25.22 ± 2.52c	29.48 ± 6.43a
B10	23.14 ± 2.26a	66.22 ± 6.74a	6.12 ± 0.62bc	29.26 ± 2.78bc	26.49 ± 1.60a
B20	25.72 ± 2.00a	69.73 ± 4.34a	8.76 ± 1.79ab	34.47 ± 2.59a	34.27 ± 7.77a
B30	26.12 ± 0.62a	70.46 ± 6.94a	7.58 ± 2.44abc	33.70 ± 2.36ab	29.07 ± 9.57a
B40	25.82 ± 3.17a	55.79 ± 13.76a	8.51 ± 1.99abc	34.33 ± 4.26a	33.13 ± 7.05a
B50	23.94 ± 3.76a	63.38 ± 19.72a	7.42 ± 1.69abc	31.36 ± 5.32ab	30.81 ± 3.51a
B60	26.07 ± 2.20a	63.39 ± 10.61a	9.21 ± 3.24a	35.28 ± 3.83a	35.61 ± 13.49a

对土壤含水量没有显著性差异。在冬小麦的拔节期, CK 和 B10 处理土壤含水量高于其他处理, 其中 B20、B30 处理土壤含水量显著低于 CK。在冬小麦的开花期, 与对照相比, B10、B40 处理土壤含水量分别增加 3.69%、12.08%, 其他生物炭处理的土壤含水量均能

不同程度地降低土壤含水量, B40 处理土壤含水量显著高于 B20、B50 处理。在冬小麦的灌浆期, B10 处理土壤含水量高于对照 4.34%, B20、B30、B40、B50、B60 处理下的土壤含水量均低于 CK 和 B10 处理, 施用生物炭对土壤含水量的影响不显著。



同一生育期柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

图3 生物炭对冬小麦不同生育期土壤含水量的影响

3 讨论与结论

生物炭本身含有一定量的氮(N)、磷(P)、钾(K)等矿质养分,且其较强的吸附能力可以提高土壤的阳离子交换量,从而提高土壤肥力,促进作物的生长^[16-18]。有研究表明,在酸性土壤中施加 10 t/hm² 的生物炭,小麦株高提高 30% ~ 40%^[19]。Devereux 等研究表明,施用生物炭对小麦株高没有显著影响,但同时指出生物炭具有改善作物生长的潜力^[20]。本试验结果表明,施用生物炭各处理在不同时期均可以提高冬小麦的株高,但在冬小麦开花期的株高测量中, B60 处理下的冬小麦株高低于对照(CK),生物炭对冬小麦的生长产生了抑制影响。这可能是由于 B60 处理,生物炭添加量过高导致 C/N 增大,微生物对 N 产生强烈的固定作用,出现植物对 N 的利用率下降,从而影响冬小麦的生长^[21]。张晗芝等研究发现,生物炭对玉米苗期生长的抑制作用随着时间的推移而逐渐消失^[22]。这与

本试验结果相似,在冬小麦灌浆期的株高测量中, B60 处理对冬小麦株高的抑制影响消失,并发现该处理下冬小麦株高最高。

孙海妮等研究发现,添加生物炭处理的小麦地上生物量比对照增加 13.3% ~ 21.3%^[23]。本试验中,施用生物炭对冬小麦的地上干物质量、地下干物质量和总干物质量均具有促进作用,可提高冬小麦总干物质量 16.02% ~ 39.89%。这说明施用生物炭能促进地下根系生长,能够为冬小麦植株提供所需要的水分、养分等,从而提高冬小麦生物量。但代红翠等研究碱性沙土发现,小麦株高、地上部生物量、根质量均随生物炭施用量的增加而呈降低趋势^[24]。这与本试验结果不一致,本试验发现 B60 处理对冬小麦的株高、地下和总干物质量效果最好,没有发现生物炭施用量增加导致生物量降低的现象。谢迎新等研究与本试验相同类型的潮土发现,连续施用生物炭可以增加小麦的生物量^[25]。

生物炭本身具有疏松多孔、比表面积大的特

性,可以改善土壤的结构性状,增加土壤的持水性和水分利用效率,从而减少水土流失^[26-27]。张娜研究发现,当土壤含水量整体水平较低时,施用少量的生物炭可以促进土壤水分的保持^[28]。本试验结果与之相似,在冬小麦的拔节期和灌浆期主要依靠降水,土壤含水量整体较低,与对照相比,仅 B10 处理可以增加土壤含水量,其他生物炭处理土壤含水量均低于对照,这可能是由于生物炭施加量过高,导致土壤孔隙增大,加大了土壤水分的损失。

本试验通过对比分析不同小麦秸秆生物炭施用量对冬小麦生长及土壤含水量的影响,主要得出以下结论:(1)添加生物炭可促进冬小麦株高的生长,冬小麦施用生物炭的株高表现为 B60 > B30 > B10 > B40 > B50 > B20 > CK,其中,B10、B30、B40、B60 处理下的株高分别比对照显著增加 10.01%、14.99%、9.38%、18.94%。(2)与不施加生物炭相比,施用生物炭处理均可提高冬小麦的地上和地下生物量,总干物质质量提高 16.02%~39.89%,大小表现为 B60 > B20 > B40 > B30 > B50 > B10 > CK,对冬小麦的地上秸秆含水量和根冠比的增加也有一定的促进作用,但影响不显著。(3)B10 处理土壤含水量在冬小麦的苗期、拔节期、开花期和灌浆期均高于对照,其他生物炭处理均能在冬小麦的 4 个时期不同程度地降低土壤含水量。

参考文献:

- [1] Tripathi M, Sahu J N, Ganesan P. Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: a review [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 55: 467–481.
- [2] Özçimen D, Ersoy – Meriçboyu A. Characterization of biochar and bio-oil samples obtained from carbonization of various biomass materials [J]. *Renewable Energy*, 2009, 35(6): 1319–1324.
- [3] Rebecca R. Rethinking biochar [J]. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41(17): 5932–5933.
- [4] Antal M J, Gronli M. The art, science, and technology of charcoal production [J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2003, 42(8): 1619–1640.
- [5] 周志红, 李心清, 邢英, 等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用 [J]. *地球与环境*, 2011, 39(2): 278–284.
- [6] 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.
- [7] 吴翰萍, 李雅颖, 周萍, 等. 不同原料及热解条件下农业废弃物生物炭的特性 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(8): 230–233.
- [8] Huang M, Yang L, Qin H D, et al. Quantifying the effect of biochar amendment on soil quality and crop productivity in Chinese rice paddies [J]. *Field Crops Research*, 2013, 154: 172–177.
- [9] 陈温福, 张伟明, 孟军. 生物炭与农业环境研究回顾与展望 [J]. *农业环境科学学报*, 2014, 33(5): 821–828.
- [10] Zhang A, Liu Y, Pan G, et al. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain [J]. *Plant and Soil*, 2012, 351(1/2): 263–275.
- [11] 黄超, 刘丽君, 章明奎. 生物质炭对红壤性质和黑麦草生长的影响 [J]. *浙江大学学报(农业与生命科学版)*, 2011, 37(4): 439–445.
- [12] 代快, 计思贵, 张立猛, 等. 生物炭对云南典型植烟土壤持水性及烤烟产量的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017(4): 44–51.
- [13] 陈芳, 张康康, 谷思诚, 等. 不同种类生物质炭及施用量对水稻生长及土壤养分的影响 [J]. *华中农业大学学报*, 2019, 38(5): 57–63.
- [14] Jones D L, Rousk J, Edwards – Jones G, et al. Biochar – mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2012, 45: 113–124.
- [15] 阚正荣, 刘鹏, 李超, 等. 施用生物炭对华北平原土壤水分和夏玉米生长发育的影响 [J]. *玉米科学*, 2019, 27(1): 142–150.
- [16] Gaskin J W, Steiner C, Harris K, et al. Effect of low – temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use [J]. *Transactions of the ASABE*, 2008, 51(6): 2061–2069.
- [17] 陈温福, 张伟明, 孟军. 农用生物炭研究进展与前景 [J]. *中国农业科学*, 2013, 46(16): 3324–3333.
- [18] 孟莉蓉, 俞浩丹, 杨婷婷, 等. 2 种生物炭对 Pb、Cd 污染土壤的修复效果 [J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(4): 835–841.
- [19] Van Zwieten L, Kimber S, Downie A, et al. Papermill char: benefits to soil health and plant production [C]//Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative, 2007.
- [20] Devereux R C, Sturrock C J, Mooney S J. The effects of biochar on soil physical properties and winter wheat growth [J]. *Royal Society of Edinburgh Scotland Foundation*, 2012, 103(1): 13–18.
- [21] 武玉, 徐刚, 吕迎春, 等. 生物炭对土壤理化性质影响的研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2014, 29(1): 68–79.
- [22] 张晗芝, 黄云, 刘钢, 等. 生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响 [J]. *生态环境学报*, 2010, 19(11): 2713–2717.
- [23] 孙海妮, 王仕稳, 李雨霖, 等. 生物炭施用量对冬小麦产量及水分利用效率的影响研究 [J]. *干旱地区农业研究*, 2018, 36(6): 159–167.
- [24] 代红翠, 陈源泉, 王东, 等. 生物炭对碱性砂质土壤小麦出苗及幼苗生长的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2018, 23(4): 1–7.
- [25] 谢迎新, 刘宇娟, 张伟纳, 等. 潮土长期施用生物炭提高小麦产量及氮素利用率 [J]. *农业工程学报*, 2018, 34(14): 115–123.
- [26] Lehmann J, Rillig M C, Thies J, et al. Biochar effects on soil biota: a review [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43(9): 1812–1836.
- [27] Solaiman Z M, Murphy D V, Abbott L K. Biochars influence seed germination and early growth of seedlings [J]. *Plant and Soil*, 2012, 353(1/2): 273–287.
- [28] 张娜. 生物炭对麦玉复种体系作物生长及土壤理化性质的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.