

农业废弃物基生物炭的应用效应研究进展

杜 蕙^{1,2}, 蒋晶晶^{1,2}, 漆永红^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院植物保护研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 农业农村部天水作物有害生物科学观测实验站, 甘肃 天水 741000)

摘要: 生物炭因结构和理化性质独特、原材料丰富及应用前景广阔等特点, 在农业及环境污染治理等领域的应用较为广泛。基于相关文献, 综述了农业废弃物基生物炭在改善土壤理化性质、提高土壤养分、改善土壤微生态环境、促进作物生长、修复污染土壤及缓解连作障碍等方面的效应, 旨在为农业废弃物基生物炭在农业生产中的应用提供参考。

关键词: 农业废弃物; 生物炭; 连作障碍; 应用效应

中图分类号: X71; S141.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-2172(2024)03-0203-05

[doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2024.03.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-2172.2024.03.002)

Research Progress on Application Effects of Agricultural Waste Biochar

DU Hui^{1,2}, JIANG Jingjing^{1,2}, QI Yonghong^{1,2}

(1. Institute of Plant Protection, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. Scientific Observing and Experimental Station of Crop Pests in Tianshui, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianshui Gansu 741000, China)

Abstract: Biochar has been widely used in agriculture and environmental pollution improvement due to its unique structure, physical and chemical properties, abundant raw materials and broad application prospects. In this paper, the application effects of agricultural waste biochar on improving soil physical and chemical properties, enhancing soil nutrients, improving soil micro-ecological environment, promoting crop growth, recovering polluted soil, and relieving continuous cropping obstacles were reviewed. The future application prospects were also expected, aiming to provide reference for application and extension of agricultural waste biochar in agriculture.

Key words: Agricultural waste; Biochar; Continuous cropping obstacle; Application effect

生物炭最早源于南美洲亚马逊盆地一种人造的富碳黑土^[1], 有独特的结构特征(疏松多孔、比表面积大、具有高度羧酸酯化和芳香化结构等)和富碳性能(含碳量 70%左右)^[2]。农业废弃物基生物炭是以农业废弃物(如作物秸秆、谷壳、稻壳、花生壳、蔗渣)为原料, 在高温缺氧条件下热解形成的一种高碳物质^[3]。据统计资料显示, 在我国每年产生的农业废弃物中, 仅农作物秸秆就有 9 亿 t 以上^[4], 传统的处理方式一般为焚烧或直接还田, 焚烧易造成严重的空气污染和资源浪费, 直接还田在北方地区秸秆不易腐烂, 易造成有害生物在土壤中的累积而加重土传病害的发生, 且这种方式对土壤改良的有效期较短。将农业废弃

物如秸秆等制备成生物炭还田无疑是改良土壤和实现农业废弃物资源化利用的有效方式。同时, 生物炭可以将温室气体转化成稳定的碳储存在土壤中, 是大气中的碳封存的重要方式。在全球受气候变暖、生态环境恶化、能源和粮食短缺等威胁的背景下, 将农业废弃物以生物炭的形式用于农业生产, 对提高耕地地力、增加作物产量, 促进农业绿色可持续发展和实现“双碳”目标具有重要意义。

1 生物炭在农业生产中的应用效应

1.1 增加土壤养分, 提高作物产量

生物炭的性质决定了其本身富含碳和其他营养元素, 施入土壤可增加土壤有机碳及其他养分

收稿日期: 2023-08-23; 修订日期: 2024-01-06

基金项目: 甘肃省农业科学院重点研发计划(2021GAAS17); 国家重点研发计划(2022YFD1401200); 甘肃省科技计划(20JR10RA458)。

作者简介: 杜 蕙(1970—), 女, 甘肃临洮人, 研究员, 主要从事植物病害及防治研究工作。Email: dh0928@163.com。

含量^[5-6]。同时,生物炭具有丰富的孔隙结构和较大的比表面积,吸附能力强,施入土壤后可调节土壤 pH 和土壤吸附和释放阳离子的能力(Cation Exchange Capacity, CEC)^[7-8],改善土壤理化性质,提高土壤肥力,增加作物产量^[9-10]。Vaccari 等^[11]研究发现,在种植小麦的土壤中施用一定量的生物炭可显著增加小麦产量。另有研究者发现,在玉米田施用生物炭提高了土壤氮含量,土壤肥力提高,玉米产量增加^[12-13]。杨彩迪等^[14]经长期定位试验研究发现,施入生物炭后土壤中有益阳离子(如 K⁺、Ca²⁺ 等)含量提高,而 Na⁺ 含量降低,有机质、磷含量均不同程度增加,种植的水稻、油菜和玉米产量均有提高。有学者在种植中药材、烟草、黄瓜的土壤中施用生物炭后,发现土壤理化性质及酶活性均得到改善,土壤肥力明显提高^[15-18]。许云翔等^[19]的研究表明,在施用生物炭 6 a 后的稻田土壤中,有机碳、有效磷和速效钾仍保持较高含量,土壤中各种酶活性也保持较高水平。可见生物炭不仅可以改善土壤肥力,且对土壤肥力的改善具有持久性。

1.2 增加土壤微生物多样性,改善土壤微生态环境

生物炭的多孔疏松结构及高芳香烃结构能给微生物提供良好的栖息微环境,土壤中施入生物炭后,作物根际土壤的细菌、真菌丰度发生明显变化,微生物多样性也有了较大改变^[20-24]。顾美英等^[25]的研究发现,在棉田用棉秆炭后,棉花根际土壤的微生物多样性显著提高,土壤微生物群落结构发生明显改变,并使连作棉田生态系统得到很好的恢复。韩光明^[26]用玉米芯生物炭处理不同土壤类型菠菜田,结果表明土壤有益细菌的数量和微生物的多样性均有增加,促进了菠菜生长。冯慧琳等^[27]将生物炭与绿肥一起翻压于柑橘地,提高了土壤细菌群落的多样性,改善了其群落结构,使柑橘根际土壤微生态平衡得到改善。黄修梅等^[28]研究发现生物炭处理降低了土壤真菌丰度,提高了马铃薯产量和商品薯数量。周丽靖等^[29]在百合田施用生物炭后,引起百合枯萎病的镰刀菌数量下降,降低了百合枯萎病的发病率,提高了百合产量。生物炭也可增加土壤中固氮菌的数量,增强土壤的固氮作用^[30]。总之,生物炭可增加土

壤微生物多样性,改变微生物的群落结构,改善作物根际土壤微生态环境,使其更有利于作物生长发育。

1.3 修复被污染的土壤

重金属(如汞、镉、铅、铬、铜、镍等)和有机污染物是农田土壤的主要污染源。生物炭独特的性质能够将重金属离子通过离子交换和化学沉淀的方式吸附固定,降低其迁移造成的污染^[31-32]。王昆艳等^[33]在连作 5 a 三七的土壤中施用生物炭后,土壤中有效态铅含量较对照降低了 0.62 mg/kg;有学者在被铜污染的苎麻田施用生物炭后,发现土壤中有效态铜含量显著低,植株中铜含量也显著降低,苎麻植株的抗逆性增强^[34]。在孔四新^[35]的研究中,冬凌草田施用生物炭后,冬凌草吸收的铅离子明显下降,说明土壤中可吸收的铅含量降低了。生物炭对土壤中金属离子的吸附效果因其种类的不同而有差异。有学者研究发现,玉米秸秆炭对土壤中二价铅离子的吸附作用较麦秆炭和花生壳炭强^[36-37]。

生物炭在修复治理被有机物(如酚类、苯和甲苯等)污染的土壤方面也表现出良好的效果^[38-39]。有学者 2009 年首先报道,施用生物炭可有效降低植物对农药的吸收^[40]。Spokas 等^[41]的研究发现,生物炭可大量吸收土壤中的莠去津和乙草胺等 2 种除草剂,降低它们在土壤中的残留污染,减轻除草剂对后茬作物造成的影响。随着作物种植结构及栽培模式的改变,农用地膜使用量大面广,土壤中增塑剂(邻苯二甲酸二乙酯 Diethyl Phthalate, 简称 DEP)成为又一生态污染源,其经挥发、淋溶、降解及植物吸收等方式造成对大气、水体及土壤的污染。Fang 等^[42]的研究表明,生物炭产生的羟基可降解 DEP,在一定程度上能减轻农用地膜造成的生态污染。

1.4 缓解作物连作障碍

一种作物在同一块土壤中连续种植会导致土传病害加重,植物生长发育不良,产量及品质下降等,这种现象即连作障碍。导致连作障碍的原因主要是土壤中有害生物的逐年累积,影响其他有益微生物的繁殖,土壤中的微生物数量和结构发生改变,使得土壤原有的生态平衡被打破,加之作物本身的自毒作用。连作障碍在多年生的作

物或经济效益较高的区域特色作物如中药材、兰州百合等种植过程中较为突出。将生物炭施入连作土壤中, 作物的连作障碍可以得到有效缓解。杨莉等^[43]在连作人参地施用生物炭后, 发现土壤养分及酶活性大幅提升, 促进了人参种苗生长。汪瑞等^[16]在连作白芨地施加生物炭后, 结果表明白芨连作田土壤微生态得到有效改善, 连作障碍得到缓解。周丽靖等^[29]在兰州百合栽培过程施用生物炭后, 枯萎病的为害减轻, 显著提高了百合产量。有学者研究发现, 生物炭能吸附土壤中化感物质而减轻植物自毒作用, 从而缓解作物连作障碍^[9, 16]。可见在土壤中适量施用适宜的生物炭, 是缓解作物连作障碍的有效措施之一。

2 小结与展望

生物炭作为一种优良的缓释材料, 资源丰富, 在农业生产中除了可用于改良修复土壤外, 还可以用来作为载体来开发缓释性肥料, 以减少肥料的施用次数; 生物炭的施用还能提高土壤肥力, 减少化学肥料的施入量, 在化肥减量方面也有很好的应用前景。生物炭可溶性组分中含有的多种萜类化合物可在病害绿色防控方面发挥一定作用。有学者在室内离体试验条件下, 用萜类和萜烯类化合物对梨火疫病进行防效评价, 发现这类化合物对梨火疫病具有较好的防治作用^[44]。

生物炭在农业生产中发挥的良好效果有时要与其他肥料或土壤改良剂配合施用才得以彰显。顾美英等^[25]在连作棉田用棉秆生物炭与生物有机肥配合施用较单施棉秆炭更好地改善了棉花根际土壤微生态环境, 有效缓解了棉花的连作障碍。Saha 等^[45]将生物炭与化肥联合使用大幅提高了细叶沙参的产量和质量。生物炭的正向效应还与生物炭的特性和施用量、土壤性质、植物种类等因素有关。Chan 等^[46]的研究发现, 在种植萝卜的酸性土壤中生物炭与一定量氮肥联合使用才能有效增加萝卜产量。还有学者发现, 生物炭和化肥联合使用在酸性土壤中种植的小麦、大豆和萝卜的产量均有提高, 而在碱性土壤中小麦和萝卜的产量反而下降了, 仅提高了大豆的产量^[47]。

中国是一个人口大国, 耕地面积有限, 要保证粮食安全, 只有通过农业资源高效利用和耕地质量改善提高粮食单产水平来增加粮食总量。有

学者提出将农业废弃资源循环利用, 通过农业废弃物炭化还田技术提高耕地质量来增加粮食产量^[48]。因此, 在全球气候变化和粮食短缺的大背景下, 生物炭在实现固碳减排、农业可持续发展和保障国家粮食安全方面具有重要意义和非常广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 袁 帅, 赵立欣, 孟海波, 等. 生物炭主要类型、理化性质及其研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(5): 1402-1417.
- [3] 王智慧, 殷大伟, 王洪义, 等. 生物炭对土壤养分、酶活性及玉米产量的影响[J]. 东北农业科学, 2019, 44(3): 14-19.
- [4] 薛 泽. 石屏县农作物秸秆综合利用现状调查、分析与未来发展研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2023.
- [5] 勾茫茫, 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(1): 137-142.
- [6] WOOLF D, AMONETTE J E, STREET-PERROTT F A, et al. Sustainable biochar to mitigate global climate change[J]. Nature Communications, 2010, 1: 1-9.
- [7] ZHAO X, WANG S Q, XING G X. Nitrification, acidification, and nitrogen leaching from subtropical cropland soils as affected by rice straw-based biochar: laboratory incubation and column leaching studies[J]. Journal of Soils and Sediments, 2014, 14(3): 471-482.
- [8] LIANG B, LEHMANN J, SOLOMON D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(5): 1719-1730.
- [9] YILANGAI R, MANU S, PINEAU W, et al. The effect of biochar and crop veil on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentus* Mill) in Jos, North central Nigeria [J]. Current Agriculture Research Journal, 2014, 2(1): 37-42.
- [10] GENESIO L, MIGLIETTA F, BARONTI S, et al. Biochar increases vineyard productivity without affecting grape quality: Results from a four years field experiment in Tuscany[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, 201: 20-25.
- [11] VACCARI F P, BARONTIA S, LUGATOA E, et al.

- Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat[J]. *European Journal of Agronomy*, 2011, 34(4): 231–238.
- [12] ZHENG H, WANG Z, DENG X, et al. Impacts of adding biochar on nitrogen retention and bioavailability in agricultural soil[J]. *Geo-derma*, 2013, 2(6): 32–39.
- [13] 唐光木, 葛春辉, 徐万里, 等. 施用生物黑炭对新疆灰漠土肥力与玉米生长的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2011, 30(9): 1797–1802.
- [14] 杨彩迪, 宗玉统, 卢升高. 不同生物炭对酸性农田土壤性质和作物产量的动态影响[J]. *环境科学*, 2020, 41(4): 1914–1920.
- [15] 姚 彤, 胡晓龙, 贾永红, 等. 玉米秸秆生物炭对天人菊土壤理化性质及根际土壤真菌群落结构的影响[J]. *南方农业学报*, 2021, 52(4): 942–950.
- [16] 汪 瑞, 李泽成, 王豪吉, 等. 烟秆炭对白及连作地的改良效果研究[J]. *云南师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 40(1): 68–73.
- [17] 冯慧琳, 徐辰生, 何欢辉, 等. 生物炭对土壤酶活和细菌群落的影响及其作用机制[J]. *环境科学*, 2021, 42(1): 422–432.
- [18] 李 明, 胡 云, 黄修梅, 等. 生物炭对设施黄瓜根际土壤养分和菌群的影响[J]. *农业机械学报*, 2016, 47(11): 172–178.
- [19] 许云翔, 何莉莉, 刘玉学, 等. 施用生物炭 6 年后对稻田土壤酶活性及肥力的影响[J]. *应用生态学报*, 2019, 30(4): 1110–1118.
- [20] JIN H. Characterization of microbial life colonizing biochar and biochar-amended soils[D]. Ithaca: Cornell University, 2010.
- [21] 何秀峰, 赵丰云, 于 坤, 等. 生物炭对葡萄幼苗根际土壤养分、酶活性及微生物多样性的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2020(6): 19–26.
- [22] 王雪玉, 刘金泉, 胡 云, 等. 生物炭对黄瓜根际土壤细菌丰度、速效养分含量及酶活性的影响[J]. *核农学报*, 2018, 32(2): 370–376.
- [23] 李发虎, 李 明, 刘金泉, 等. 生物炭对温室黄瓜根际土壤真菌丰度和根系生长的影响[J]. *农业机械学报*, 2017, 48(4): 265–230.
- [24] 赵 君, 姚 彤, 李 明, 等. 生物炭对干旱胁迫下蓝盆花生长及根际土壤真菌丰度的影响[J]. *北方园艺*, 2019(14): 93–99.
- [25] 顾美英, 杨 蓉, 徐万里, 等. 棉秆炭配施生物有机肥对连作棉花根际土壤微生态和棉花生长的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2019, 21(10): 47–57.
- [26] 韩光明. 生物炭对不同类型土壤理化性质和微生物多样性的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2013.
- [27] 冯慧琳, 周 旋, 任天宝, 等. 生物炭与绿肥翻压对柑橘根际细菌群落结构的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2021, 55(3): 514–522.
- [28] 黄修梅, 李 明, 戎素萍, 等. 生物炭添加对马铃薯根际土壤真菌多样性和产量的影响[J]. *中国蔬菜*, 2019(1): 51–56.
- [29] 周丽靖, 王亚军, 谢忠奎, 等. 生物炭对兰州百合 (*Lilium davidii* var. *unicolor*) 连作土壤的改良作用[J]. *中国沙漠*, 2019, 39(2): 134–143.
- [30] 邓建强, 谭 军, 施河丽, 等. 生物炭对土地整治区土壤微生物调控效应[J]. *中国烟草学报*, 2018, 24(3): 46–52.
- [31] HUA L, WU W, LIU Y, et al. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment[J]. *Environmental Science & Pollution Research*, 2009, 16(1): 1–9.
- [32] 龚沛云, 孙丽娟, 宋 科, 等. 农业废弃物基生物炭对水溶液中镉的吸附效果与机制[J]. *中国环境科学*, 2021, 21(10): 47–57.
- [33] 王昆艳, 王豪吉, 李双丽, 等. 施加生物炭对三七连作土壤铅有效态含量的影响[J]. *云南师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 39(5): 53–57.
- [34] MUZAMMAL R. 氮肥和生物炭对铜污染土壤苜蓿生长和铜吸收及抗逆性影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [35] 孔四新. 冬凌草对重金属铅的反应及其调控[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [36] 刘莹莹, 秦海芝, 李恋卿, 等. 不同作物原料热裂解生物炭对溶液中 Cd^{2+} 和 Pb^{2+} 的吸附特性[J]. *生态环境学报*, 2012, 21(1): 146–152.
- [37] UCHIMIYA M, WARTELLE L H, KLASSON K T, et al. Influence of pyrolysis temperature on biochar property and function as a heavy metal sorbent in soil[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(6): 2501–2510.
- [38] BERGLUND L M, DE LUCA T H, ZACKRISSON O. Activated carbon amendments to soil alters nitrification rates in Scot spine forests[J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, 36(12): 2067–2073.
- [39] BORNEMANN L C, KOOKANARS, WELP G. Differential sorption behaviour of aromatic hydrocarbons on charcoals prepared at different temperatures from grass and wood[J]. *Chemosphere*, 2007, 67(5): 1033–1042.

- [40] YU X Y, YING G G, KOOKANA R S. Reduced plant uptake of pesticides with biochar additions to soil[J]. *Chemosphere*, 2009, 76 (5): 665–671.
- [41] SPOKAS K A, KOSKINEN W C, BAKER J M, et al. Impacts of woodchip biochar additions on greenhouse gas production and sorption / degradation of two herbicides in a Minnesota soil[J]. *Chemosphere*, 2009, 77 (4): 574–581.
- [42] FANG G D, ZHU C Y, DIONYSIOS D, et al. Mechanism of hydroxyl radical generation from biochar suspensions: Implications to diethyl phthalate degradation[J]. *Bioresource Technology*, 2015, 176: 210–217.
- [43] 杨 莉, 文子伟, 付 婧, 等. 生物质炭对连作参地人参种苗与土壤质量的影响及回归分析[J]. *中药材*, 2020, 43(4): 791–796.
- [44] SCORTICHINI M, ROSSI M P. Preliminary *in vitro* evaluation of the antimicrobial activity of terpenes and terpenoids towards *Erwinia amylovora*[J]. *Journal of Applied Bacteriology*, 1991, 71(2): 109–112.
- [45] SAHA A, BASAK B B, GAJBHIYE N A, et al. Sustainable fertilization through co-application of biochar and chemical fertilizers improves yield, quality of *Andropogon paniculata* and soil health[J]. *Industrial Crops and Products*, 2019, 140 (4): 111–607.
- [46] CHAN K Y, VAN ZWIETEN L, MESZAROS I, et al. Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45(8): 629–634.
- [47] VAN ZWIETEN L, KIMBER S, MORRIS S, et al. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility[J]. *Plant and Soil*, 2010, 327: 235–246.
- [48] 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.