

生物炭在农业上的研究进展

廖依丹, 贺秋华* (南华大学, 湖南衡阳 421000)

摘要 近年来,随着亚马逊黑土增产作用的出现,对于生物炭的研究不断深入,发现其良好的理化性质可作为土壤改良剂、肥料缓释载体及碳封存剂,开始成为农业领域的研究热点。生物炭农用作是碳减排的过程,将废弃生物质生产成生物炭,不仅解决了废弃生物质问题,而且给农业生产带来显著效果。通过国内外有关研究成果的综合分析,重点阐述了生物炭对土壤性质和作物生长的影响。

关键词 生物炭;废弃生物质;农用;作物生长

中图分类号 S154.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2017)34-0112-02

Research Advance of Biochar in Agriculture Field

LIAO Yi-dan, HE Qiu-hua* (University of South China, Hengyang, Hunan 421000)

Abstract In recent years, with the emergence of increase production on black earth in Amazonian, the investigation on biochar has been deepened, and it has been found that its good physical and chemical properties could be used as soil amendment, slow-release carrier for fertilizer and carbon sequestrating agent, and it became a hotspot in agricultural field. Agricultural utilization of biochar can reduce carbon emissions, the abandoned biomass was made into biochar, not only solve the problem of waste biomass, but also produce a significant effect of agricultural production. Through the comprehensive analysis of the research results at home and abroad, effect characteristics of biochar on soil property and crop growth were mainly discussed.

Key words Biochar; Waste biomass; Agricultural utilization; Growth of crop

生物质是指所有的植物、微生物以及以植物、微生物为食物的动物及其生产的废弃物。废弃物的开发利用是永恒的话题。生物炭(Biochar),又称生物质炭,是生物质在缺氧条件下高温裂解形成的物质。最初人们并没有意识到生物炭的存在,在农田、草地和森林,经常可以看到火烧的黑色物质,但并不知道该物质的名字和用途。西周时期已经开始将杂草、秸秆和枯枝落叶燃烧成灰,中国农民从实践中逐步认识到,将这种灰还田有利于作物的生长,但并没有系统的命名和关注这种有利于作物生长的物质。全球对生物炭的认识起源于亚马逊黑土增产作用的出现^[1-2],直至2007年澳大利亚第一届国际生物炭会议上对其进行统一命名。

国内文献研究以中国知网数据库为数据来源,以“生物炭”为关键词搜索2009—2017年,共得到文献1820篇,其中2009年仅有12篇(图1)。生物炭不仅可以改善土壤的理化性质^[3-4],而且可以持续给土壤和农作物提供肥力^[5],在气候变暖、环境污染、能源短缺、粮食危机和农业可持续发展等宏观背景下,它的出现为我们解决这一系列问题带来了曙光。因此,“生物炭”在出现的短短10余年时间由最初的知之甚少到受到广泛关注。目前许多研究小组正在研究生物炭对农业生态系统的影响。

1 生物炭对土壤性质的影响

1.1 生物炭对土壤物理性质的影响

土壤的物理性质主要包括土壤质地、土壤水分、土壤孔隙度、土壤结构、土壤比重和土壤容重等。生物炭的作用主要是改善土壤的表面积、土壤容重和土壤含水量。

生物炭具有容重小、疏松多孔、比表面积大的特性,施加

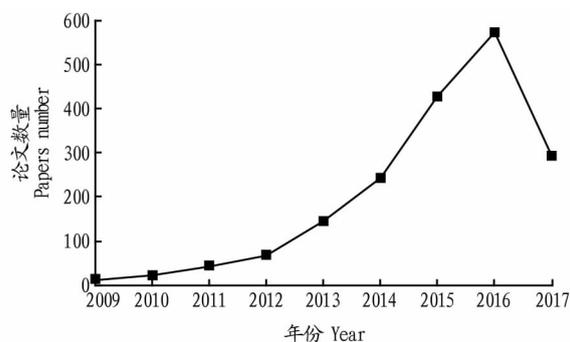


图1 有关生物炭研究的科学论文统计

Fig.1 Statistic of scientific papers involving biochar researches

生物炭可以增大比表面积,减小容重。文曼等^[6]利用离心机法测定添加不同粒径(2.00~1.00 mm, <1.00~0.25 mm, <0.25 mm)、不同比例(0、10、50、100、150 g/kg)生物炭的土壤收缩特征,并采用三直线模型模拟,发现随着生物炭含量增加,土壤比容增大。活化后的生物炭更能增加其表面积。李玉梅等^[7]在土壤中施入水稻秸秆生物炭,施用量在2~32 mg/kg范围内,容重平均降低0.126 g/cm³,Chen等^[8]和Laird等^[4]也得出了相同的研究结果。刘园等^[9]研究表明土壤容重随生物炭施入量增加而降低,在中、高量处理下四季作物土壤容重降低了2.99%~10.40%;土壤田间持水量随生物炭施入量增加而增加,且6.75~11.30 t/hm²生物炭连续施用四季后土壤水分含量和田间持水量显著增加。从改良土壤物理性状来看,适宜的生物炭施用量能产生显著的效果。

1.2 生物炭对土壤化学性质的影响

生物炭不仅能改良土壤物理性质,还能间接影响土壤化学性质。土壤的化学性质主要包括pH、阳离子交换量(CEC)、盐基饱和度(BSP)、养分等。

1.2.1 土壤pH

生物炭的pH大多呈碱性,随着生物炭的施用量增加,土壤pH提高,但作用程度与土壤类型、制炭原材料以及制炭技术等有关^[4,10]。Liu等^[11]在中国浙江省进行了为期2年(2011和2012年)的田间试验,结果表明竹生物

作者简介 廖依丹(1994—),女,湖南衡阳人,硕士研究生,研究方向:生物炭。*通讯作者,副教授,博士,从事环境影响评价与规划研究。

收稿日期 2017-05-20

炭和稻草生物炭第 1 年对土壤 pH 影响很小但显著, 稻草生物炭最大提高土壤 pH 0.18, 其次是竹生物炭提高了 0.15。Yuan 等^[10] 研究表明, 南方典型老成土施用生物炭后, 土壤 pH 提高了 0.10~0.46。Xu 等^[12] 研究发现, 油菜秸秆炭、小麦秸秆炭、玉米秸秆炭、水稻秸秆炭和豆科植物秸秆炭均能提高土壤的 pH, 其中豆科植物秸秆炭提高土壤 pH 效果最好。

1.2.2 土壤阳离子交换量 (CEC)。CEC 是指土壤胶体所能吸附各种阳离子的总量, 其数值以 1 kg 土壤中含有各种阳离子的物质的量来表示, 单位是 mol/kg。土壤阳离子交换量是影响土壤缓冲能力高低, 也是评价土壤保肥能力、改良土壤和合理施肥的重要依据。

生物炭本身含有羟基、羧基、苯环等丰富的官能团, CEC 值较高^[13]。袁帅等^[14] 分析了 33 个生物炭的 CEC, 其中包括秸秆炭 17 个、壳类 1 个、木质 7 个、粪污 1 个、污泥 2 个, 其他类 5 个, 发现生物炭的 CEC 分布范围较大, 为 0~500 cmol/kg, 平均为 71.91 cmol/kg。土壤中施加生物炭, 土壤电荷总量增加, CEC 提高了 20%^[4]。陈红霞等^[15] 在华北平原高产农田 3 年试验研究表明, 施用生物炭 4 500 kg/hm² 增加了 0~15 cm 土层的 CEC 24.5%。

1.2.3 土壤盐基饱和度 (BSP)。土壤盐基饱和度是指土壤胶体上的交换性盐基离子占全部交换性阳离子 (总量) 的百分比, 也是指土壤吸附交换性盐基总量的程度。土壤盐基饱和度真正反映土壤有效 (速效) 养分含量的大小, 是改良土壤的重要依据之一。

植物所需的速效养分主要由盐基离子提供, 盐基离子包括 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 和 NH⁴⁺ 等。由于生物炭表面积较大和表面含有丰富的有机官能团, 能够吸附更多的盐基离子, 从而提高土壤盐基饱和度。并且生物炭呈碱性, 它的施用会提高土壤 pH, 进而提高土壤盐基饱和度。Yuan 等^[16] 研究表明在酸性及砂质土壤应用生物炭可以大大增加土壤对 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 和 NH⁴⁺ 的吸持能力。

1.2.4 土壤养分 (N、P)。生物炭多孔结构、较大的比表面积和丰富的有机官能团对土壤和植物所需的营养元素有较强的吸附能力。康日峰等^[17] 将不同数量的生物炭制作的肥料添加到土壤中, 发现生物炭基肥料显著提高小麦对 N、P 的吸收, 并且随着生物炭的增加, N、P 的吸收也增加, 其中小麦 N 吸收平均提高了 19.07%, P 吸收平均提高了 15.00%。刘方等^[18] 在贵阳市郊区种植蔬菜和玉米的土壤中添加生物炭, 土壤中有效氮、有效磷和有效钾含量分别增加了 10.48%~42.85%、3.09%~16.49% 和 11.61%~61.02%, 能明显提高土壤养分。Magrini - Bair 等^[19] 也认为施用生物炭可缓释旱地土壤氮素。

1.3 生物炭对土壤生物性质的影响 生活在土壤中的微生物、动物和植物等总称为土壤生物。土壤生物的生命活动在很大程度上取决于土壤的物理性质和化学性质, 土壤微生物的消长又是土壤理化反应的重要“催化剂”, 二者相辅相成, 相互作用。因为土壤微生物具有很高的灵敏度和提供生态相关信息的能力, 所以在评估关键生态系统功能方面具有重

要意义。

在一定范围内, 施用生物炭可提高土壤微生物多样性^[20-21]。生物炭显著影响了微生物生物量氮 (MBN)、微生物生物量磷 (MBP) 和土壤微生物生物量 (MBC)^[22]。但生物炭对土壤微生物生物量的影响很复杂。生物炭对微生物生物量起积极作用^[23-25]。Steiner 等^[26] 发现微生物量与添加率呈正相关, 而 Xu 等^[23] 研究表明, 它们没有直接关系, 低比率 (2% 和 4%) 对微生物生物量没有显著影响, 8% 生物炭添加量显著增加微生物量。

土壤有机质是指存在于土壤中的所含碳的有机物质, 对土壤形成、土壤肥力、环境保护及农林业可持续发展等方面都有着极其重要作用的意义。土壤总有机碳含量均随水稻秸秆生物炭添加量的增加而升高^[27]。

2 生物炭对作物生长的影响

生物炭施入土壤后对作物生长的影响, 国内外相关报道较多, 总体来说起促进作用的居多。最早起源于亚马逊黑土增产作用的出现, 由于黑土中含有丰富的生物炭, 当地种植的甘蔗和烟草产量相比其他地方颇高^[28]。稻草生物炭可提高粮食产量 8.5%~10.7%^[11]。勾芒芒等^[29] 研究发现, 施加生物炭后番茄产量最高增产幅度达 170%。生物炭提高了青菜产量^[30]。Liu 等^[31] 研究结果表明, 碱性土壤的生物炭添加对植物生长和小麦产量影响不大。然而, 对于中性土壤, 添加 2 种生物炭可以改善植物生长并显著增加小麦产量。Jeffery 等^[32] 研究发现, 在土壤中施加生物炭, 可以使作物产量增产达 10%。

3 结论

生物炭在改善土壤性质和提高作物产量上有巨大的潜力。它来源于废弃物, 用之于农业, 具有原料易得、成本较低、易被大众接受、肥效好、无二次污染等优点, 因此, 生物炭将在土壤改性和作物生长方面发挥巨大的作用。

生物炭的研究已初步取得一些进展, 但还需要进一步深入, 生物炭对于作物的影响并不全是积极的作用, 也有抑制作用; 生物炭的生产工艺无法连续作业, 不能投入商业化, 生产机理没有明确定义, 有的控氧, 有的不控氧, 生产出来的生物炭性质各不相同, 无法一概而论; 生物炭的研究没有长期的、系统的实验数据支撑; 生物炭对微生物群落的影响研究较少, 尚无统一的结论支撑; 生物炭种类多, 不同种类生物炭性质不同, 应因地制宜, 研究不同地区的适用范围; 生物炭还田比秸秆还田的优势。

总之, 生物炭的应用前景广阔, 我们应该加强对生物炭的研究, 合理利用其优势, 争取早日在农业应用上取得喜人的成绩, 实现农业可持续发展。

参考文献

- [1] MARRIS E. Black is the new green[J]. Nature, 2006, 442: 624 - 626.
- [2] TENENBAUM D. Biochar: Carbon mitigation from the ground up[J]. Environmental health perspectives, 2009, 117(2): 70 - 73.
- [3] LAIRD D, FLEMING P, WANG B Q, et al. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil[J]. Geoderma, 2010, 158(3/4): 436 - 442.

GIM2.9对葛根苓连汤进行发酵,结果表明发酵后总生物碱含量分别提高24.91%和30.89%。该研究利用复合益生菌发酵复方中草药,提高了中草药中总黄酮、生物碱、粗多糖和总皂苷等生物活性物质的有效含量,取得了与前人研究相似的结果,为中草药功效的提高奠定了基础。

参考文献

[1] 陈娟娟. 发酵中草药在动物生产方面的应用展望[J]. 山西农业(畜牧兽医),2007,13(8):12-14.

[2] 兰时乐,李立恒,胡超,等. 中草药饲料添加剂发酵菌种的筛选与发酵条件研究[J]. 中国饲料,2010(15):13-17.

[3] 吴德峰,陈佳铭,黄南华,等. 中草药免疫增强剂的药效学和毒理学试验研究[J]. 家畜生态学报,2009,30(6):129-134.

[4] 黄健晖. 中草药添加剂对奶牛抗热应激和提高产奶量的影响[D]. 福州:福建农林大学,2009,9-15.

[5] 夏继桥,姜海龙,何志梅,等. 中草药替代抗生素对育肥猪生长性能和抗生素残留量的影响[J]. 中国畜牧杂志,2013,49(23):68-70.

[6] LEONOUAKIS D, SINGH M, MOHAJER R, et al. Dystroglycan controls signaling of multiple hormones through modulation of STAT5 activity[J]. *Journal of cell science*, 2010, 123(21):3683-3692.

[7] 李芸达,颜祖弟,黄涛,等. 王不留行多糖的提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 天然产物研究与开发,2015(3):446-450.

[8] 蔡晓茵,车镇涛,吴斌,等. 益母草的化学成分[J]. 沈阳药科大学学报,2006,23(1):13-14.

[9] 刘靖. 博落回生物碱对黄羽肉鸡生长的影响[D]. 长沙:湖南农业大学,2010,8-16.

[10] 黄恩福,黄柳梅,阮记明,等. 肠道菌群与中草药有效成分代谢的相互影响的研究进展[J]. 中国兽医学报,2016,36(9):1619-1623.

(上接第113页)

[4] LAIRD D A, FLEMING P, DAVIS D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil[J]. *Geoderma*, 2010, 158(3/4):443-449.

[5] SWIFT R S. Sequestration of carbon by soil[J]. *Soil science*, 2001, 166(11):858-871.

[6] 文曼,郑纪勇. 生物炭不同粒径及不同添加量对土壤收缩特征的影响[J]. 水土保持研究,2012,19(1):46-55.

[7] 李玉梅,王根林,李欣洁,等. 生物炭对土壤物理性状及异噁草松消减的影响[J]. 生态学杂志,2014,33(3):729-734.

[8] CHEN Y, SHINOBI Y, TAIRA M. Influence of biochar use on sugarcane growth, soil parameters, and groundwater quality[J]. *Australian journal of soil research*, 2010, 48:526-530.

[9] 刘园, JAMAL KHAN M, 勒海洋, 等. 秸秆生物炭对潮土作物产量和土壤性状的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4):849-858.

[10] YUAN J H, XU R K, ZHANG H. The forms of alkalis in the biochar produced from crop residues at different temperatures[J]. *Bioresource technology*, 2011, 102(3):3488-3497.

[11] LIU Y X, LU H H, YANG S M, et al. Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons[J]. *Field crops research*, 2016, 191:161-167.

[12] XU R K, YUAN J H. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol[J]. *Soil use and management*, 2011, 27(1):110-115.

[13] SINGH B P, HATTON B J, SINGH B, et al. Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils[J]. *Journal of environmental quality*, 2010, 39(4):1224-1235.

[14] 袁帅,赵立欣,孟海波,等. 生物炭主要类型、理化性质及其研究展望[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(5):1402-1417.

[15] 陈红霞,杜章留,郭伟,等. 施用生物炭对华北平原农田土壤容重、阳离子交换量和颗粒有机质含量的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(11):2930-2934.

[16] YUAN J H, XU R K, QIAN W, et al. Comparison of the ameliorating effects on an acidic ultisol between four crop straws and their biochars[J]. *Journal of soils and sediments*, 2011, 11(5):741-750.

[17] 康日峰,张乃明,史静,等. 生物炭基肥料对小麦生长、养分吸收及土壤肥力的影响[J]. 中国土壤与肥料,2014(6):33-38.

[18] 刘方,冯仕江,张雷一,等. 生物炭对喀斯特山区连作蔬菜地土壤有效养分及水分的影响[J]. 北方园艺,2014(7):158-162.

[11] KOIZUMI M, SHIMIZU M, KOBASHI K. Enzymatic sulfation of quercetin by arylsulfotransferase from a human intestinal bacterium[J]. *Chemical & pharmaceutical bulletin*, 1990, 38(3):794-796.

[12] XU M M, WANG J F, XU C, et al. Microbial transformation of glycosides in traditional Chinese medicine: Mechanism and application[J]. *World science and technology*, 2006, 8(2):24-27.

[13] 王丽敏,郑灿龙,高贵良,等. 月见草叶中总黄酮提取工艺条件研究[J]. 中国食物与营养,2013,19(2):49-53.

[14] 付君叶,宋秋华. 利用超声法从益母草中提取总生物碱的研究[J]. 江西理工大学学报,2012,33(1):18-20.

[15] 蔡文燕,吴水金,蔡欣. 益母草多糖提取工艺的研究[J]. 热带农业科学,2008,28(6):39-42.

[16] 李青,潘再良,吴洁,等. 王不留行多糖提取工艺研究及其含量测定[J]. 食品工业科技,2014,35(12):299-302.

[17] 洪奎,陈小凤,冯磊,等. 王不留行总皂苷提取工艺优选[J]. 中国实验方剂学杂志,2014,20(7):27-30.

[18] 韩春杨,刘翠艳,牛钟相. 中药制剂发酵前后成分的变化及对肉鸡部分免疫指标和生长的影响[J]. 畜牧兽医学报,2005,36(11):1223-1227.

[19] 秦哲. 黄芪发酵后主要有效成分变化分析及多糖对大鼠实验性肝纤维化影响[D]. 兰州:甘肃农业大学,2012:19-26.

[20] 宗凯,刘国庆,张黎利,等. 蒲公英发酵及其粗提物中黄酮类物质含量的影响[J]. 农产品加工(创新版),2010,25(2):38-41.

[21] 李艳宾,张琴,陶呈宇,等. 微生物发酵提高甘草渣中黄酮类物质提取率的研究[J]. 食品研究与开发,2010,31(9):156-159.

[22] 陈琦,王义,孙亮,等. 植物乳杆菌发酵转化人参皂苷的研究[J]. 中国中药杂志,2014, 39(8):1435-1440.

[23] 杜晨晖,闫艳,冯前进,等. 葛根苓连汤发酵前后总黄酮和总生物碱含量变化研究[J]. 中华中医药杂志,2016,31(11):4850-4853.

[19] MAGRINI-BAIR K A, CZERNIK S, PILATH H M, et al. Biomass derived, carbon sequestering, designed fertilizers[J]. *Annals of environmental science*, 2009, 3(1):217-225.

[20] 陈伟,周波,束怀瑞. 生物炭和有机肥处理对平邑甜茶根系和土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 中国农业科学,2013,46(18):3850-3856.

[21] MEYNET P, HALE S E, DAVENPORT R J, et al. Effect of activated carbon amendment on bacterial community structure and functions in a pah impacted urban soil[J]. *Environmental science and technology*, 2012, 46(9):5057-5066.

[22] ZHU L X, XIAO Q, CHENG H Y, et al. Seasonal dynamics of soil microbial activity after biochar addition in a dryland maize field in North-Western China[J]. *Ecological engineering*, 2017, 104:141-149.

[23] XU N, TAN G C, WANG H Y, et al. Effect of biochar additions to soil on nitrogen leaching, microbial biomass and bacterial community structure[J]. *European journal of soil biology*, 2016, 74:1-8.

[24] LEHMANN J, RILLIG M C, THIES J, et al. Biochar effects on soil biota: A review[J]. *Soil Biol Biochem*, 2011, 43(9):1812-1836.

[25] BRUUN E W, HAUGGAARD-NIELSEN H, IBRAHIM N, et al. Influence of fast pyrolysis temperature on biochar labile fraction and short-term carbon loss in a loamy soil[J]. *Biomass bioenergy*, 2011, 35(3):1182-1189.

[26] STEINER C, GLASER B, GERALDES T W, et al. Nitrogen retention and plant uptake on a highly weathered central Amazonian Ferralsol amended with compost and charcoal[J]. *J Plant Nutr Soil Sci*, 2008, 171:893-899.

[27] 柯跃进,胡学玉,易卿,等. 水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其CO₂释放的影响[J]. 环境科学,2014,35(1):93-99.

[28] EMMA M. Black is the new green[J]. *Nature*, 2006, 442:624-626.

[29] 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(1):137-142.

[30] 钱嘉文,宿贤超,徐丹,等. 生物炭对土壤理化性质及作物生长的影响[J]. 现代农业,2014(1):15-16.

[31] LIU X, LIU M D, GAO Z G, et al. Effect of different biochars on yield and yield components of wheat on different soils[J]. *Advanced materials research*, 2013, 726-731:2665-2669.

[32] JEFFERY S, VERHEIJEN F GA, VAN DER VELDE M, et al. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis[J]. *Agriculture, ecosystems and environmental*, 2011, 144(1):175-187.