生物炭对土壤重金属污染修复研究

何振嘉 (陕西省土地工程建设集团有限责任公司,陕西西安 710075)

摘要 土壤污染是我国当前面临的一项严峻的土地利用、粮食安全和生态环境问题,重金属污染由于其稳定性强、不易迁移、难以降解以及含有毒性成分等特点,严重危害土壤系统和生态系统。生物炭由于其自身比表面积、孔隙率较大以及官能团丰富等特点,对土壤重金属污染修复具有显著的效果。研究了生物炭对土壤重金属修复机理,综述了不同生物炭及改性生物炭复合材料对土壤重金属修复和改良情况,并结合实际,提出了加强针对多种重金属污染的生物炭修复技术研究和加强修复土壤重金属污染之后的土地利用研究等展望及建议。

关键词 生物炭;土壤修复;重金属污染;土壤
中图分类号 X53 **文献标识码** A
文章编号 0517-6611(2019)21-0012-02
doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2019.21.004
开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Study on Biochar's Remediation of Heavy Metal Pollution in Soil

HE Zhen-jia (Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710075)

Abstract Soil pollution is a serious problem of land use, food security and ecological environment in China. Due to its strong stability, difficulty in migration, degradation and toxic components, heavy metal pollution seriously endangers the soil system and ecological system. Due to its large specific surface area, porosity and abundant functional groups, biochar has a significant effect on soil heavy metal pollution remediation. In this paper, the mechanism of biochar on the repair of heavy metals in soil was studied, the repair and improvement situation of soil heavy metals by different biochar and modified biochar composites were reviewed, and combined with the actual situation, the paper put forward some prospects and suggestions for strengthening the research on biochar repair technology for various heavy metal pollution and strengthening land use research after remediation of soil heavy metal pollution.

Key words Biochar;Soil remediation;Heavy metal pollution;Soil

由于我国经济迅猛增长,推动了工业生产规模的不断扩大,同时,矿产开发、冶炼、化肥施用以及化工产业等废水、废气、废渣的大量外排,所携带的重金属成分通过径流、空气降尘以及随土壤迁移等方式,土壤中重金属污染程度逐年加剧[1-2]。据统计,我国已有超过 2 000 万 hm^2 土地受 Hg、Zn、Pb 以及 Cd 等重金属的污染[3],由此引起粮食作物减产、土地利用程度降低以及严重的生态环境危害。由于重金属污染持久性强、不易迁移、降解难度大以及具有高毒性,对土壤生态系统和地下水循环系统会产生极大的破坏,且通过生物循环系统对人体健康安全造成很大程度的影响[4-5]。目前,针对土壤重金属污染的治理措施主要有物理、化学、生物及复合修复技术,但此类修复方式大多存在除污效率低下、操作复杂及投入成本较高等缺陷[6-8]。生物炭是一种将农业废弃木材及秸秆等在缺氧情况下经热解炭化形成的高含碳固态物,可利用其较大的比表面积、较高的阳离子交换容量和发达的孔隙率进行土壤重金属污染物吸附和固定,并能有效改善土壤理化性质和减少温室气体排放[9-10],具有无污染、经济投入低以及治理土壤重金属污染效果显著等特点,在土壤重金属修复领域具有广阔的应用前景。

1 生物炭对土壤重金属污染修复机理

生物炭比表面积较大,且拥有丰富的官能团和孔隙结构,通过生物炭表面携带负电荷的表面络合、离子交换以及静电作用,对土壤中重金属元素进行吸附固定,降低重金属污染物在土壤中的扩散程度和有毒害物质的迁移[11-12]。表面吸附是在生物炭分子与重金属离子间范德华力共同的作用下产生的,比表面积和孔隙率越大,其之间的范德华力也越大,对重金属的吸附作用也越强。生物炭表面拥有丰富的含氧官能团,通过官能团中氧原子的孤电子会结合重金属离子形成形态稳定的络合物,对重金属离子的固定作用显著。有研究发现,Cu、Pb、Ag、Al 等均能被生物炭表面络合反应固定[13-14]。生物炭可以通过其含有的含氧官能团影响土壤中重金属进行氧化还原作用,通过离子交换改变土壤理化性质,降低土壤生物毒性[15-16]。生物炭中由于含有大量的可溶性碳酸盐和磷酸盐等成分,会与土壤中的重金属元素发生化学反应,通过生产相应的化学盐等物质进行沉淀;另外,有研究表明,对土壤施加生物炭,会导致土壤 pH 偏碱性,会结合土壤中的 Zn、Pb 及 Cd 等生成氢氧化物沉淀[17-18]。

2 生物炭在土壤重金属污染修复中的应用

由于土壤环境的复杂性和重金属污染稳定性强、不易发生迁移等特点,生物炭吸附法处理土壤重金属污染具有更加突出的优势。周金波等[19]研究了水稻秸秆制备的生物炭对土壤 Cd 的吸附作用,结果表明,生物炭对 Cd 元素的固定效果显著,且提高了作物产量。侯艳伟等[20]研究了不同秸秆生物炭施用量对土壤重金属累积和富集系数的影响,结果表明,在生物炭施用后,Pb、Cd 的富集系数减小,而 As 富集系数增大。王丹丹等[21]研究了不同温度条件下牛粪制备的生物炭对 Cd 去除效果的影响,结果表明,牛粪生物炭制备温度越高,土壤 pH 则越高,对 Cd 的吸附作用也越显著。王红等[22]研究了水葫芦生物炭对土壤 Pb 和 Zn 吸附性能的影响,结果表明,生物炭制备问题与对重金属的吸附性能成正比,生物炭添加量越大,对 Pb 和 Zn 的吸附作用越显著。周

作者简介 何振嘉(1988—),男,陕西西安人,工程师,硕士,从事土地工程方面研究。
收稿日期 2019-07-22

强等[23]研究了稻壳生物炭对 Zn 吸附作用的影响,结果表明,施用生物炭与对 Zn 的吸附性呈正相关关系,制备温度越低,对 Zn 吸附的活性越高。秦婷婷等[24]研究了花椰菜生物炭对土壤 Pb 的影响,结果表明,生物炭携带的阳离子越多,越不利于对 Pb 的吸附。Houben 等[25]研究发现生物炭施用对降低土壤中重金属 Pb、Zn 的生物有效性显著。Fellet 等[26]研究指出,生物炭施用对减少植物体内的重金属元素效果也十分显著。马建伟等[27]研究了不同材料生物炭对土壤中 Cu、Hg、Ni 以及 Cr 的影响,结果表明生物炭可显著降低土壤中 Cu 和 Zn 的含量。张艺腾等[28]研究了 300 ℃条件下制备鸡粪生物炭对土壤 Cu 和 Zn 形态以及植物吸收的影响,结果表明,鸡粪生物炭施用既可促进作物生长,抑制 Zn 的释放,又对土壤 Cu 和 Zn 固定效果明显,降低了植物对 Cu 和 Zn 的吸收。生物炭施加量显著影响土壤重金属固定特性,但针对不同重金属污染土地现状,应选择适宜的污染土壤修复方式,否则会对作物造成减产或毒害作物[29]。

有研究表明,对生物炭添加改性材料,对提高生物炭比表面积及降低土壤中重金属含量效果显著。董双快等[30]研究了铁改性棉花秸秆生物炭对土壤 As 的影响,结果表明,铁改性生物炭会引起土壤 pH 降低,增加了土壤中正电荷数量,土壤对 As 的吸附能力得到了增强,铁改性能够显著提高生物炭固定 As 的能力。高瑞丽等[31]将生物炭和蒙脱石混合后,研究其对土壤重金属污染的影响,结果表明,生物炭和蒙脱石混合处理显著降低 Cu、Pb、Zn、Cd 在土壤中的迁移能力和有效态含量。杨兰等[32]研究了油菜秸秆制备改性炭材料对土壤中 Cd 的影响,结果表明,$NaOH$、$KMnO_4$、$FeCl_3$ 改性炭材料均降低了土壤有效态 Cd 含量,原炭及 $NaOH$、$KMnO_4$ 改性生物炭有利于土壤 pH 的提高,与土壤有机碳和盐基离子含量呈正相关关系,与土壤 Cd 活性形态含量呈负相关关系,而 HNO_3 改性生物炭显著降低了土壤 pH,提高了土壤有效态和可交换态 Cd 含量,可促进土壤 Cd 生物有效性。于志红等[33]研究了炭-锰复合材料和生物炭对砷(Ⅲ)的吸附性能的影响,结果表明,生物炭与炭-锰复合材料对砷(Ⅲ)的吸附均较迅速,而炭-锰复合材料的吸附能力较生物炭单独施加更为显著。吴萍萍等[34]研究了负载铁前后的小麦秸秆生物炭对复合污染土壤中 Cd、Cu、As 淋失量及赋存形态的影响,结果表明,负载铁生物炭能够不同程度地降低 Cd、Cu 和 As 的淋失及其有效态含量,促进了其向稳定态转化,对于修复土壤复核污染和 As 污染效果显著。牛晓丛等[35]研究了酵素渣和秸秆生物炭复合对土壤重金属修复的效果,结果表明,酵素渣和秸秆生物炭对土壤 pH、土壤过氧化氢酶活性、阳离子交换量以及固体废物毒性浸出试验提取态 Pb、Cd、Zn 均有不同程度的影响,而酵素渣对 Zn、Cd 的钝化修复效果优于秸秆生物炭。朱司航等[36]研究了不同比例纳米羟基磷灰石与小麦秸秆生物炭混合对土壤重金属铜的吸附能力,结果表明,生物炭表面附着纳米羟基磷灰石可以提高生物炭的热稳定性,生物炭改性材料可使 Cu 的最大吸附速率提高 100% 以上。于志红等[37]将不同生物炭-锰氧化物复合材料作为吸附材料研究其对红壤吸附铜的能力影响,结果发现,生物炭-锰氧化物复合材料含量越大,对土壤 Cu 吸附量越大,但对 pH 无较大影响,同时,该复核材料温度越高,对土壤 Cu 吸附能力也越强。

3　展望

近年来,国内对污损土地尤其是受重金属污染的土地修复投入了大量的财力和人力,同时对重金属污染修复机理和技术进行了广泛研究,发现利用作物秸秆、动物粪便及农业林业废弃树木制备生物炭均可显著对 Cu、Pb、Ag、Al、Zn、Cd 等重金属进行吸附,同时对提高土壤 pH、改善土壤理化特性和降低土壤酶化程度效果明显。对单一的生物炭材料进行改性复配,能更大程度地提高其对重金属污染修复和土壤修复的效果和能力。利用生物炭进行保持水土、减少土壤养分流失、降低温室气体外排、固定土壤中重金属物质等达到污损土壤修复是可行且具有广阔前景。但结合相关研究可以看出,目前对重金属污染土壤的修复主要集中于单一污染或重金属成分较少的土壤,而实际生产生活中,往往遇到的土壤污染问题较为复杂,多为几种或以上重金属污染物同时存在,在利用生物炭进行吸附固定时,不仅要考虑其对不同种类重金属污染物的修复,还要考虑不同重金属之间可能出现的协同、抵触和屏蔽等作用。另外,大量研究围绕生物炭或改性生物炭对土壤重金属污染物吸附及固定的影响,但在土壤修复时间成本和财物成本方面以及修复后土壤中作物生长状况和产量、品质的研究较少,因此今后的研究要以修复土壤重金属污染之后的土地利用情况为主,全面地实现生物炭多层次利用。

参考文献

[1] 李江遐,吴林春,张军,等. 生物炭修复土壤重金属污染的研究进展[J]. 生态环境学报,2015,24(12):2075-2081.

[2] 王宏胜,唐朝生,巩学鹏,等. 生物炭修复重金属污染土研究进展[J]. 工程地质学报,2018,26(4):1064-1077.

[3] 罗玉虎,孙婴婴,王楠. 生物炭修复土壤重金属污染的研究进展[J]. 西部大开发(土地开发工程研究),2019,4(1):28-35.

[4] 王振中,张友梅,邓继福,等. 重金属在土壤生态系统中的富集及毒性效应[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1948-1952.

[5] 马鑫雨,杨浩,姚逊,等. 典型养殖型湖泊中的重金属含量及健康风险特征:以宿鸭湖为例[J]. 环境科学学报,2016,36(6):2281-2289.

[6] 樊霆,叶文玲,陈海燕,等. 农田土壤重金属污染状况及修复技术研究[J]. 生态环境学报,2013,22(10):1727-1736.

[7] 嵇东,孙红. 农田土壤重金属污染状况及修复技术研究[J]. 农业开发与装备,2018(12):74-75.

[8] 林荣誉,苏结雯,吴灵. 珠海市农用地土壤重金属污染情况调查[J]. 资源节约与环保,2016(8):180-181.

[9] 陈志良,袁志辉,黄玲,等. 生物炭来源、性质及其在重金属污染土壤修复中的研究进展[J]. 生态环境学报,2016,25(11):1879-1884.

[10] 马献发,李伟彤,孟庆峰,等. 生物炭对土壤重金属形态特征及迁移转化影响研究进展[J]. 东北农业大学学报,2017,48(6):82-90.

[11] 王静,牟珍珍,雷玛特,等. 生物炭对重金属污染土壤修复的研究进展[J]. 湖北农业科学,2018,57(14):5-9,14.

[12] 高敬尧,王宏燕,许毛毛,等. 生物炭施入对农田土壤及作物生长影响的研究进展[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):10-15.

[13] SUN J K,LIAN F,LIU Z Q,et al. Biochars derived from various crop straws:Characterization and Cd(Ⅱ)removeal potential[J]. Ecotox Environ Safe,2014,106(2):226-231.

[14] CHEN J Y,ZHU D Q,SUN C. Effect of heavy metals on the sorption of hydrophobic organic compounds to wood charcoal[J]. Environ Sci Technol,2007,41(7):2536-2541.

(下转第 27 页)

表 6　不同处理对烤后烟叶内在化学成分的影响

Table 6　Effects of different treatments on the inner chemical component of flue-cured tobacco leaves

处理编号 Treatment code	等级 Grade	烟碱 Nicotine %	总糖 Total sugar %	还原糖 Reducing sugar %	总氮 Total N %	钾 K %	氯 Cl %	糖碱比 Sugar-alkali ratio	氮碱比 N-alkali ratio	钾氯比 K-Cl ratio	两糖比 Two sugar ratio
A1B1	B2F	3.18	26.87	23.86	2.09	2.10	0.14	7.50	0.66	15.00	0.89
	C3F	1.84	35.73	29.06	1.39	2.40	0.02	15.79	0.76	120.00	0.81
	X2F	1.59	32.05	26.39	1.55	2.90	0.18	16.60	0.97	16.11	0.82
A1B2	B2F	2.92	26.92	22.57	1.69	1.68	0.12	7.73	0.58	14.00	0.84
	C3F	2.08	31.27	25.22	1.40	2.49	0.15	12.13	0.67	16.60	0.81
	X2F	1.40	35.66	26.41	1.36	2.82	0.15	18.86	0.97	18.80	0.74
A2B1	B2F	2.84	25.02	19.46	2.07	2.75	0.15	6.85	0.73	18.33	0.78
	C3F	2.33	33.16	25.84	1.69	2.57	0.05	11.09	0.73	51.40	0.78
	X2F	1.79	29.86	22.64	1.70	3.19	0.23	12.65	0.95	13.87	0.76
A2B2	B2F	2.62	27.05	21.54	1.75	2.41	0.07	8.22	0.67	34.43	0.80
	C3F	1.86	33.95	26.58	1.42	2.30	0.05	14.29	0.76	46.00	0.78
	X2F	1.34	34.72	26.79	1.37	3.00	0.13	19.99	1.02	23.08	0.77

基追肥比例为 8∶2处理田间肥料的释放规律与烟株需肥特性更符合,更能促进烟株田间生长发育。具体而言,在不同的年份降水条件有差异,建议基追肥配比仍要根据起垄时的田间水分多少而定,并配合后期以水调肥的技术措施,确保肥料充分利用和烟株正常生长,从而进一步提高烤后烟在化学成分分配的协调性。

综上所述,建议在烟叶生产中采用湿润育苗的方式,而基追肥比例根据地方气候条件以及起垄时的田间含水量而定,从而有效促进烟株田间生长发育,加快烟株中部叶干物质积累,控制烟碱含量,获得较高的产质量。

参考文献

[1] 徐玮,杨茂凡,方保,等. 不同育苗方式对烟草苗期生长发育的影响[J]. 现代农业科技,2015(15):15-16.

[2] 刘浩宇,马学芳,周朝荣. 不同育苗方式对培育烤烟壮苗的影响[J]. 农业开发与装备,2014(9):87-88.

[3] 李先锋,艾绥龙,牛玉德. 烤烟直播漂浮育苗综合配套技术研究[J]. 吉林农业,2010(12):93-94

[4] 王德勋,单沛祥,段凤云. 不同育苗方式对烤烟生长发育及产质量的影响[J]. 现代农业科技,2011(22):73-74.

[5] 杨剑辉. 广昌晒烟优质高产的相关技术及其效果研究[D]. 南昌:江西农业大学,2016.

[6] 罗子. 烤烟不同育苗技术及烟苗素质的测定[J/OL]. [2019-03-05]. http://wenku.baidu.com/view/1aea1ae0998fcc22bcd10dd7.

[7] 胡国松,郑伟,王震东,等. 烤烟营养原理[M]. 北京:科学出版社,2000.

[8] 段凤云,周廷中,杨红武,等. 基追肥比例对烤烟干物质累积和碳氮代谢的影响[J]. 昆明学院学报,2008,30(4):46-49.

[9] 张珊珊,王雪仁,张瀛,等. 施用不同种类有机肥对烤烟生长发育的影响[J]. 安徽农学通报,2016,22(16):40-41,89.

[10] 张珊珊,林水良,李春亮,等. 施肥后不同覆土方式对烤烟生长发育的影响[J]. 安徽农学通报,2017,23(21):46-49.

[11] 危阜斌,徐茜,陈志厚,等. 不同育苗方式对烟苗素质及烟叶品质的影响[J]. 贵州农业科学,2017,45(10):56-60.

[12] 陈志敏,向世平,戴超. 烤烟不同育苗方式的苗情与成本对比分析[J]. 湖南农业科学,2015(1):23-25,28.

(上接第 13 页)

[15] 安梅,董丽,张磊,等. 不同种类生物炭对土壤重金属镉铅形态分布的影响[J]. 农业环境科学学报,2018,37(5):892-898.

[16] 袁金华,徐仁扣. 生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. 生态环境学报,2011,20(4):779-785.

[17] 周贵宇,姜慧敏,杨俊诚,等. 几种有机物料对设施菜田土壤 Cd、Pb 生物有效性的影响[J]. 环境科学,2016,37(10):4011-4019.

[18] 吴琼,赵同科,邹国元,等. 北京东南郊农田土壤重金属含量与环境质量评价[J]. 中国土壤与肥料,2016(1):7-12.

[19] 周金波,汪峰,金树权,等. 不同材料生物炭对镉污染土壤修复和青菜镉吸收的影响[J]. 浙江农业科学,2017,58(9):1559-1560,1564.

[20] 侯艳伟,池海峰,毕丽君. 生物炭施用对矿区污染农田土壤上油菜生长和重金属富集的影响[J]. 生态环境学报,2014,23(6):1057-1063.

[21] 王丹丹,林静雯,丁海涛,等. 牛粪生物炭对重金属镉污染土壤的钝化修复研究[J]. 环境工程,2016,34(12):183-187.

[22] 王红,夏雯,卢平,等. 生物炭对土壤中重金属铅和锌的吸附特性[J]. 环境科学,2017,38(9):3944-3952.

[23] 周强,李嘉雨,黄兆琴,等. 培养条件下生物炭对土壤锌的吸附作用[J]. 土壤通报,2017,48(4):969-974.

[24] 秦婷婷,王兆炜,朱俊民,等. 花椰菜基生物炭对水中 Pb(Ⅱ)的吸附性能[J]. 环境科学学报,2017,37(8):2977-2988.

[25] HOUBEN D,EVRARD L,SONNET P. Beneficial effects of biochar application to contaminated soils on the bioavailability of Cd,Pb and Zn and the biomass production of rapeseed(*Brassica napus* L.)[J]. Biomass & bioenergy,2013,57(11):196-204.

[26] FELLET G,MARMIROLI M,MARCHIOL L. Elements uptake by metal accumulator species grown on mine tailings amended with three types of biochar[J]. Science of the total environment,2014,468/469:598-608.

[27] 马建伟,王慧,罗启仕,等. 电动力学-新型竹炭联合作用下土壤镉的迁移吸附及其机理[J]. 环境科学,2007,28(8):1829-1834.

[28] 张艺腾,范禹博,徐笑天,等. 鸡粪生物炭对土壤铜和锌形态及植物吸收的影响[J]. 农业环境科学学报,2018,37(11):2514-2521.

[29] 唐行灿,张民. 生物炭修复污染土壤的研究进展[J]. 环境科学导刊,2014,33(1):17-26.

[30] 董双快,徐万里,吴福飞,等. 铁改性生物炭促进土壤砷形态转化抑制植物砷吸收[J]. 农业工程学报,2016,32(15):204-212.

[31] 高瑞丽,唐茂,付庆灵,等. 生物炭、蒙脱石及其混合添加对复合污染土壤中重金属形态的影响[J]. 环境科学,2017,38(1):361-367.

[32] 杨兰,李冰,王昌全,等. 改性生物炭材料对稻田原状和外源镉污染土钝化效应[J]. 环境科学,2016,37(9):3562-3574.

[33] 于志红,黄一帆,廉菲,等. 生物炭-锰氧化物复合材料吸附砷(Ⅲ)的性能研究[J]. 农业环境科学学报,2015,34(1):155-161.

[34] 吴萍萍,李录久,李敏. 生物炭负载铁前后对复合污染土壤中 Cd、Cu、As 淋失和形态转化的影响研究[J]. 环境科学学报,2017,37(10):3959-3967.

[35] 牛晓丛,何益,金晓丹,等. 酵素渣和秸秆生物炭钝化修复重金属污染土壤[J]. 环境工程,2018,36(10):118-123.

[36] 朱司航,赵晶晶,楚龙港,等. 纳米羟基磷灰石改性生物炭对铜的吸附性能研究[J]. 农业环境科学学报,2017,36(10):2092-2098.

[37] 于志红,谢丽坤,刘爽,等. 生物炭-锰氧化物复合材料对红壤吸附铜特性的影响[J]. 生态环境学报,2014,23(5):897-903.