

安显金, 李 维. 基于CNKI的我国生物炭研究趋势文献计量学分析[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(6): 483-491.

AN Xian-jin, LI Wei. Bibliometric analysis on research trend of biochar in China based on CNKI[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018, 35(6): 483-491.

基于CNKI的我国生物炭研究趋势文献计量学分析

安显金^{1,2}, 李 维^{3*}

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院, 贵阳 550001; 2. 国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵阳 550001; 3. 贵阳学院, 贵阳 550002)

摘 要:为客观全面地分析我国生物炭领域的发展脉络及研究动态,利用CNKI中国期刊全文数据库的出版年份、论文数量、研究机构、资助资金等指标,结合Citespace关键词可视化分析方法,系统阐述我国生物炭研究领域的概况,综合分析我国生物炭研究的主要热点及趋势。结果表明:我国生物炭领域的研究处在快速发展阶段,总发文量呈指数增长;发文量最多的研究机构是南京农业大学,被引频次最多的是西北农林科技大学;我国生物炭领域的研究主要受国家层面的基金引导;南京农业大学的潘根兴发表生物炭文章最多,被引频次最多的作者是西北农林科技大学的耿增超;发文量和总被引频次最多的期刊均是《农业环境科学学报》,篇均被引用次数最多的期刊是《应用生态学报》;我国生物炭研究的热点主要集中在肥料、土壤有机碳、土壤养分、吸附、解吸、改良剂等方面。总体而言,我国生物炭研究热点从农业领域向环境领域转变,土壤环境污染修复、土壤质量改善和土壤可持续发展、碳库储量提升是我国未来生物炭研究的主要趋势。

关键词:生物炭;研究趋势;Citespace;文献计量学

中图分类号:X71

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2018)06-0483-09

doi: 10.13254/j.jare.2018.0159

Bibliometric analysis on research trend of biochar in China based on CNKI

AN Xian-jin^{1,2}, LI Wei^{3*}

(1. School of Karst Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang 550001, China; 3. Guiyang University, Guiyang 550002, China)

Abstract: In order to reflect the development of biochar in our country objectively and comprehensively, provide macroscopical guidance for further research and enlighten researchers to quickly understand the development of biochar research in China, based on the database of CNKI, using the indicators of publication year, the number of papers, research institutions, funding and so on, combined with the Citespace keyword visualization analysis method, the general situation of China's biochar research field and the main hot spots and trends of biochar research in China were expounded systematically. The results showed that the research in the field of biochar in China was at the stage of rapid development, the total number of papers was increasing exponentially, the most frequently cited research institution was Nanjing Agricultural University, and the most frequently cited was Northwest A&F University. Research on biochar field guided by national fund. PAN Gen-xing of Nanjing Agricultural University published most biochar articles and the author cited most frequently was GENG Zeng-chao of Northwest A&F University. The journals with the highest number of articles published and the most frequently cited journals both gained by *Journal of Agro-Environmental Science*. The most cited journal per article was the *Journal of Applied Ecology*. The research focus of biochar in China was mainly in the fields of fertilizer, soil organic carbon, soil nutrients, adsorption, desorption, modifier and so on. In general, the research focus of biochar in China has changed from agriculture to environment. Remediation of soil environmental pollution, improvement of soil quality, sustainable development of soil and enhancement of carbon pool are the main trends of biochar research in China in the future.

Keywords: biochar; research trend; Citespace; bibliometric

收稿日期:2018-06-20 录用日期:2018-07-06

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0502603);贵州省科技合作计划项目[黔科合LH字[2017]7348号];贵州师范大学博士基金(GZNUD[2017]10号)

作者简介:安显金(1986—),男,四川绵阳人,博士,副教授,从事土壤生态环境研究。E-mail: xianjin_an@163.com

*通信作者:李 维 E-mail: Liwei210@126.com

随着现代农业的快速发展,农作物秸秆的合理利用成为国家、政府和科学家关心的热点话题。近年来,作物秸秆在缺氧条件下通过热裂解过程产生的生物炭,由于具有高度稳定性和较强吸附性能而被广泛研究,如:固碳缓解全球变暖,降低土壤环境污染和替代能源等领域的研究。国际顶尖期刊 *Science*、*Nature*、*PNAS* 等相继发表生物炭在降低大气 CO_2 浓度、改变土壤环境行为等方面的研究报道^[1-3]。生物炭对提高土壤肥力^[4],增加土壤碳库贮量^[1]和维持土壤生态系统平衡^[5]具有重大意义。生物炭研究的文献众多,以文献阅读、总结归纳、定性探讨为主要方法的传统文献综述存在一定的局限性,无法客观全面地反映该领域的发展脉络以及研究动态。因此有必要运用文献计量学和更加直观分析软件对生物炭的研究进行梳理,获得生物炭领域的发展动态。

文献计量学具有客观性、量化、模型化等优势,已被用来宏观研究各领域、各学科的发展^[6]。Citespace 可视化分析软件是美国德雷塞尔大学英籍华裔陈超美教授在 2004 年基于 Java 环境开发的引文网络分析工具,该软件可以准确、便利和高效地显示某科学领域的发展新趋势和新动态。尽管有研究利用文献计量学分析国际生物炭研究的动态发展^[7],但运用 Citespace 可视化分析探讨生物炭领域的研究热点以及我国在该领域的研究历程至今还鲜见报道。本文就生物炭领域的相关文献进行计量和可视化分析,以便科研工作者准确掌握该领域的研究概况和前沿动态,以及我国的整体情况,旨在为我国更深入的生物炭研究提供宏观战略性的指导。

1 数据来源与统计方法

1.1 数据来源

数据来源于 CNKI 中国期刊全文数据库,利用高

级检索工具检索以“生物炭”或“生物质炭”为主题的期刊论文,时间不限,来源类别为全部期刊,检索时间为 2018 年 5 月 14 日,共获取文献 2552 篇,逐篇剔除不相关文献 33 篇,获得生物炭相关研究文献 2519 篇。

1.2 研究方法

研究利用 CNKI 自带的统计功能,利用 Excel 结合 Citespace(5.2.R2 Version)软件,分析我国生物炭研究领域发文量、主要研究机构、资助基金、主要作者、主要期刊等指标,并通过 Citespace 文献共被引和文献聚类分析揭示我国生物炭研究领域的动态和趋势。Citespace 参数设置:时间段以 1 年为时间切片,节点类型选取被引文献和关键词,文献选取标准为每个时间间隔内被引量前 50 的文章,选择寻径剪枝方式。

2 结果与讨论

2.1 发文量

发文量是科学界对某一领域关注程度的总体表征,可一定程度上反映该领域的发展速度和发展历程。2018 年 5 月 14 日前,CNKI 数据库收录的生物炭相关的论文总计 2519 篇(手工剔除不相关文献),总体呈上升趋势(由于 2018 年只有上半年的数据,因此图 1 数据只截取到 2017 年 12 月 31 日)。由拟合趋势线发现,我国生物炭研究文献数量年度变化趋势呈指数增长, R^2 为 0.80,说明我国学者对生物炭的研究越来越重视,其关注度迅猛增加。由统计分组学方法看,我国生物炭研究大体经历了两个阶段:1982—2010 年为起步阶段,总计发文量 144 篇,年均发文 5.76 篇,发展较为缓慢;2011 年至今为快速发展阶段,截至统计时,总计发文量 2375 篇,年均发文 296.9 篇,发展非常迅猛。根据我国有关生物炭文献发表总量和逐年增加的态势可以预见,在未来一段时间内,我国生物炭研究仍将是学术界关注的热点。

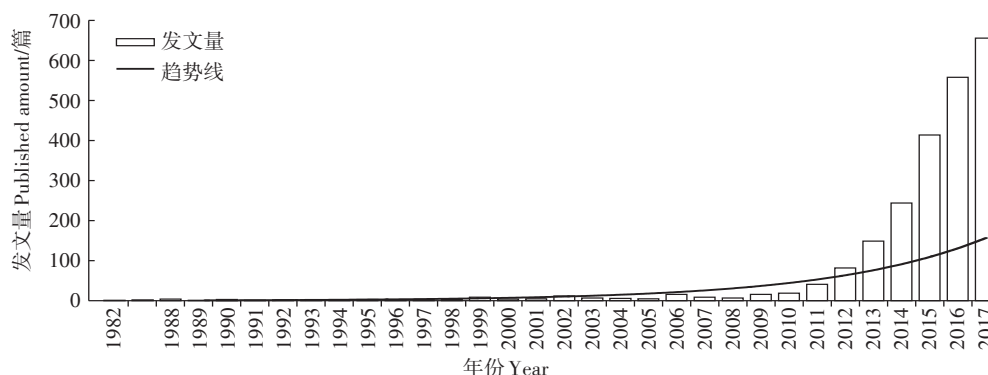


图1 我国生物炭研究年度发文量变化趋势

Figure 1 The trend of annual published papers of biochar research in China

我国生物炭研究最早的文献报道是1982年荆一凤在《环境保护》上发表的论文《生物炭法处理毛纺染色废水的探讨》。关于生物炭制备的最早报道是1995年夏祖璋在《农业工程学报》上发表的文章《农业生物质热裂解实验研究》。生物炭对土壤环境的影响最早是刘玉学2009年在《应用生态学报》上发表篇名为《土壤生物炭环境行为与环境效益》的文章,该文章也是我国生物炭领域至今被引频次最高的文章,被引424次。

2.2 主要研究机构

期刊论文被重要数据库收录的数量和被引频次反映了该研究机构的整体科研能力和影响力。CNKI数据库检索关于我国生物炭研究发文量前10的机构,如表1所示。发文量最多的研究机构是南京农业大学,共发表123篇。我国生物炭研究主要集中在高校,科研院所较少,二者发文量比例为4:1。由表1可知,我国生物炭研究文献被引频次前10位依次是西北农林科技大学、中国科学院南京土壤研究所、沈阳农业大学、南京农业大学、浙江大学、中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所、南开大学、中国科学院大学、中国农业科学院农业资源与农业区划研究

所、中国科学院地球化学研究所,其中被引频次最高的机构是西北农林科技大学,总被引频次2155,篇均被引23.4次。

2.3 资助基金

某研究领域的基金资助可以反映该领域的关注程度。因此文章统计了我国生物炭研究领域的基金资助情况(图2)。2519篇生物炭文献涉及基金1892个,其中国家级的基金资助(国家自然科学基金、国家科技支撑计划、863计划、973计划、水利部948项目)的研究文章共计1265篇,占总发表论文的50.2%,可见我国生物炭领域的研究受到国家层面的高度关注和重视。除此之外,我国生物炭的研究还受到高等学校专项基金以及地方自然科学基金的资助。我国沿海的省份对生物炭的研究关注度较高,这与所在省份的高校以及科研院所对生物炭的关注有直接关系,如:江苏省自然科学基金资助的文章较多,主要与江苏省包含南京农业大学和中国科学院南京土壤研究所等机构有关。

2.4 主要作者和高被引文献

通过对我国生物炭研究的人员分析,可以大致了解我国在该领域的主要作者,有利于读者了解作者的

表1 我国生物炭研究发文量和总被引频次前20位的研究机构
Table 1 The top 20 research institutions of biochar research in China

序号 Number	研究机构 Research institute	发文量/篇 Published amount	序号 Number	研究机构 Research institute	总被引频次 Total cited
1	南京农业大学	123	1	西北农林科技大学	2155
2	沈阳农业大学	106	2	中国科学院南京土壤研究所	2053
3	西北农林科技大学	92	3	沈阳农业大学	1718
4	中国科学院南京土壤研究所	82	4	南京农业大学	1573
5	河南农业大学	68	5	浙江大学	1242
6	中国科学院大学	55	6	中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所	963
7	中国农业大学	44	7	南开大学	917
8	农业农村部规划设计研究院	41	8	中国科学院大学	860
9	东北农业大学	40	9	中国农业科学院农业资源与农业区划研究所	669
10	南京林业大学	39	10	中国科学院地球化学研究所	493
11	湖南农业大学	39	11	河南农业大学	476
12	内蒙古农业大学	37	12	农业农村部环境保护科研监测所	459
13	华中农业大学	37	13	中国农业大学	395
14	浙江大学	36	14	农业农村部规划设计研究院	391
15	海南大学	35	15	西南大学	390
16	中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所	34	16	南京林业大学	349
17	浙江农林大学	31	17	内蒙古农业大学	341
18	云南农业大学	31	18	华中农业大学	331
19	华南农业大学	30	19	上海交通大学	323
20	农业农村部环境保护科研监测所	29	20	中科院水利部水土保持研究所	316

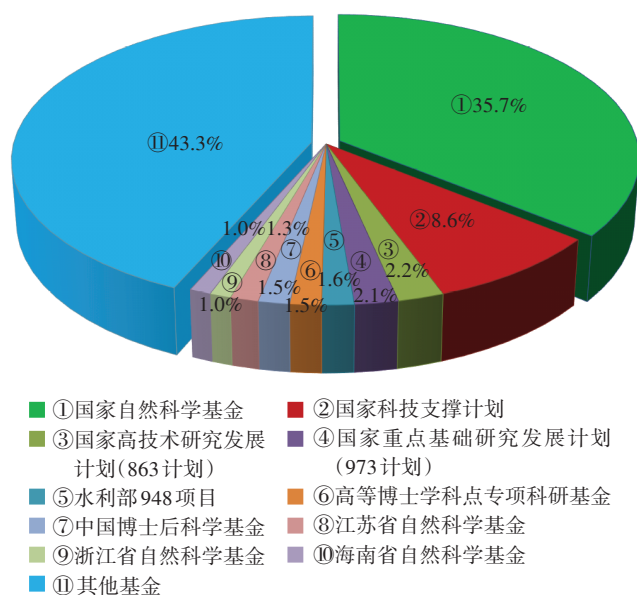


图2 前10位的基金资助项目
Figure 2 Top 10 projects supported by the fund

研究概况,促进该领域学术研究和交流合作。通过对我国生物炭研究领域发文量前20位的作者进行统计,结果(表2)显示:发文量前20位的作者共计发文457篇,占我国生物炭总发文量的18.1%。南京农业大学的潘根兴发表生物炭文章最多,有51篇,篇均被引17.3次;西北农林科技大学的耿增超发表的文章总被引频次最高,为1448,篇均被引53.6次。通过分析表2可知,南京农业大学共有6位学者进入前20位高发文量作者之列,农业农村部规划设计研究院有3位,沈阳农业大学、西北农林科技大学各有2位学者,兰州交通大学、河南农业大学、昆明理工大学、中国地质大学(武汉)、新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所、中国科学院地球化学研究所和中国科学院南京土壤研究所各有1人进入前20,可见这些大学和研究院所的研究人员对我国生物炭领域的发展起到了重要的推动作用。有报道指出,Web of Science收录的生物炭研究论文被引频次排名前20的只有1篇来自我国(作者为上海交通大学曹心德),同时我国文献篇均被引频次也较低,仅为篇均被引频次最高国家的54%^[7],由此可见,我国生物炭领域研究相比国外先进水平还有明显的差距。由于Citespace无法提供CNKI数据库的文献共被引分析,因此作者选取CNKI数据库中被引次数最多的20篇文献进行统计分析(表3),值得注意的是高被引文献和共被引文献有显著差异,共被引文献是生物炭领域的关键,对我国生物炭研究起到了重要的推动作用,而高被引文献往往是该领域

表2 我国生物炭研究发文量居前20位的作者
Table 2 The top 20 authors of biochar research in China

序号 Number	作者 Author	所在机构 Institute	发文量/篇 Published amount	总被引 频次 Total cited
1	潘根兴	南京农业大学	51	881
2	李恋卿	南京农业大学	42	873
3	孟 军	沈阳农业大学	39	916
4	赵立欣	农业农村部规划设计研究院	34	378
5	孟海波	农业农村部规划设计研究院	30	347
6	耿增超	西北农林科技大学	27	1448
7	陈温福	沈阳农业大学	25	819
8	张旭辉	南京农业大学	21	599
9	郑金伟	南京农业大学	20	653
10	姚宗路	农业农村部规划设计研究院	17	124
11	刘晓雨	南京农业大学	17	231
12	郑聚峰	南京农业大学	16	435
13	赵保卫	兰州交通大学	16	138
14	叶协锋	河南农业大学	16	53
15	吴 敏	昆明理工大学	16	113
16	胡学玉	中国地质大学(武汉)	15	197
17	徐万里	新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所	15	135
18	李心清	中国科学院地球化学研究所	14	470
19	谢祖彬	中国科学院南京土壤研究所	13	655
20	陈心想	西北农林科技大学	13	535

专家撰写的综述类文章。

2.5 来源期刊

通过对我国刊载生物炭研究论文的出版物进行统计,可以确定该领域的主要期刊,有助于研究人员选择重点期刊进行投稿和阅读。表4数据显示发文量前20位的期刊发文总量为912篇,占生物炭总文献量的36.2%。《农业环境科学学报》是发表生物炭相关文献最多的期刊,总发文量151篇;总被引频次最高的期刊依然是《农业环境科学学报》,为2366次;而篇均被引频次最高的期刊是《应用生态学报》,为42.5次。

2.6 关键词

关键词是一篇文章的核心,也是对文章主题的高度概括,本文利用Citespace对2519篇我国生物炭研究文章进行关键词聚类分析,相关参数:提取关键词出现频次>10,共现次数>3的文章,获得了我国生物炭研究领域出现最多的关键词。通过Citespace绘制的图3可以展现我国生物炭研究热点的变迁。可以看出,我国生物炭研究领域的热点主要集中在吸附、土壤、重金属、产量、秸秆、烤烟、生物质、热解、玉米、

表3 我国生物炭研究领域总被引频次居前20位的文献

Table 3 The top 20 references in biochar research in China

序号 Number	作者 Author	篇名 Title	总被引 频次 Total cited
1	刘玉学	土壤生物质炭环境行为与环境效应	424
2	袁金华	生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展	365
3	何绪生	生物炭生产与农用的意义及国内外动态	335
4	何绪生	生物炭对土壤肥料的作用及未来研究	327
5	李 力	生物炭的环境效应及其应用的研究进展	312
6	黄 超	生物质炭对红壤性质和黑麦草生长的影响	278
7	张晗芝	生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响	277
8	陈红霞	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	272
9	陈温福	生物炭应用技术研究	240
10	张文玲	生物质炭对土壤性状和作物产量的影响	233
11	陈温福	农用生物炭研究进展与前景	213
12	袁金华	稻壳制备的生物质炭对红壤和黄棕壤酸度的改良效果	202
13	谢祖彬	生物炭研究进展及其研究方向	199
14	安增莉	水稻秸秆生物炭对Pb(II)的吸附特性	176
15	周桂玉	生物质炭结构性状及其对土壤有效养分和腐殖质组成的影响	173
16	周志红	生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用	163
17	武 玉	生物炭对土壤理化性质影响的研究进展	162
18	张伟明	生物炭对水稻根系形态与生理特性及产量的影响	161
19	王 宁	生物炭吸附有机污染物的研究进展	160
20	章明奎	生物质炭对土壤有机质活性的影响	157

理化性质、热解温度、品质、土壤养分、土壤改良、水稻、吸附动力学、土壤修复、秸秆还田、动力学、土壤微生物、温室气体、改良剂和秸秆生物炭方向。图中关键词之间的短线代表两个关键词的直接联系,例如出现“土壤”关键词时,一般会涉及到重金属和秸秆的相关研究。但从关键词突显关系图中只能定性地展现我国生物炭研究热点,无法体现其时间变化关系,而关键词突显分析(表5)则可以定量地表示不同研究年限的研究热点以及变迁规律。从表5结果看,2000年以前,我国生物炭研究的热点主要是肥料、土壤有机碳、玉米秸秆、土壤养分、生物活性炭、印染废水、结构等,而在2000年以后,我国生物炭领域的研究热点出现了快速过渡,每一个研究热点的持续时间都相对较短,这表明,生物炭研究在明确其概念、生产过程以及基本性能后进入了一个快速发展的阶段。由每个阶段的突显关键词分析可知,生物炭结构以及深度处

表4 我国生物炭研究发文章居前20位的期刊

Table 4 The top 20 journals of biochar research in China

序号 Number	期刊 Journal	发文章/篇 Published amount	总被引 频次 Total cited	篇均被引频次 Cited per article
1	农业环境科学学报	151	2366	15.7
2	环境科学	77	1116	14.5
3	环境工程学报	71	418	5.9
4	环境科学学报	55	398	7.2
5	农业工程学报	51	1086	21.3
6	土壤通报	43	300	7.0
7	水土保持学报	43	660	15.3
8	土壤	42	726	17.3
9	生态环境学报	41	1710	41.7
10	环境化学	41	1049	25.6
11	江苏农业科学	40	95	2.4
12	中国农学通报	35	952	27.2
13	安徽农业科学	34	197	5.8
14	沈阳农业大学学报	31	208	6.7
15	农业机械学报	31	206	6.6
16	植物营养与肥料学报	27	253	9.4
17	应用生态学报	26	1104	42.5
18	农业资源与环境学报	25	165	6.6
19	环境工程	24	129	5.4
20	生态与农村环境学报	24	661	27.5

理技术一直是该领域经久不衰的研究热点。此外,我国生物炭早期的研究热点主要集中在农业方面,如玉米、肥料、土壤有机碳和产量等,而随着该领域研究不断深入,研究热点涌现出有机污染物、竹炭、吸附动力学、解吸、氧化亚氮等一些研究热点,可见我国生物炭研究开始逐渐倾向于环境方面。

2.7 未来我国生物炭研究的趋势

通过对我国生物炭研究领域关键词出现时段的综合分析,以及对国际、国内相关高被引文献的阅读,总结归纳可以发现,未来我国生物炭领域的研究可能有以下三大趋势。

2.7.1 土壤质量改善及土壤可持续发展将是我国生物炭研究的重点

随着我国农业现代化的快速发展,我国每年作物秸秆产生量可达8亿t之多^[8],这些传统的“农业废弃物”由于其独特性质现今在我国农业和环境领域掀起了研究热潮。现代生物质转化技术将这些“农业废弃物”转化为可以利用的生物炭,为土壤质量改善和土壤可持续发展提供有效途径^[9]。生物炭改善土壤质量主要体现在以下方面:(1)生物炭呈碱性,可以作为

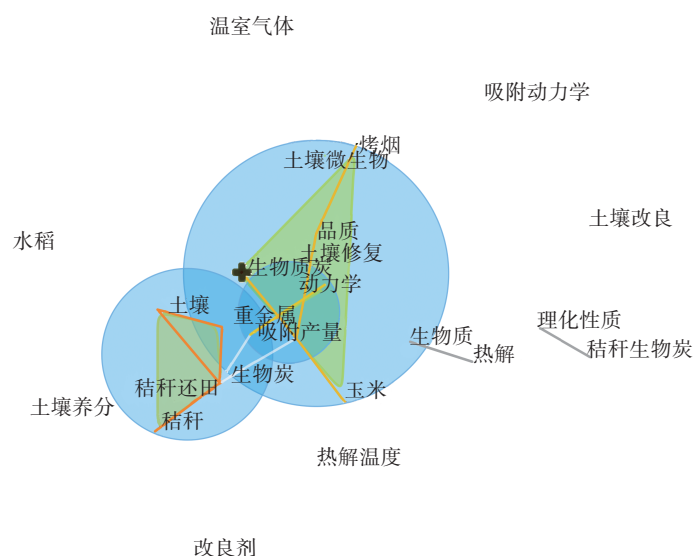


图3 Citespace 分析我国生物炭领域研究的关键词热点

Figure 3 Keywords in biochar research in China by Citespace

表5 我国生物炭研究领域突显关键词随时间变化趋势

Table 5 The trend of keywords changes with time in biochar research in China

关键词 Keywords	强度 Strength	开始年 Start year	结束年 End year	1980—1989	1990—1999	2000—2009	2010—2018
肥料	25.65	1980	2011	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●○○○○○○○○
土壤有机碳	24.47	1980	2010	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●○○○○○○○○
玉米秸秆	21.57	1980	2010	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●○○○○○○○○
玉米	19.79	1980	2010	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●○○○○○○○○
土壤养分	19.70	1980	2010	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●○○○○○○○○
秸秆	15.58	1980	2010	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●○○○○○○○○
产量	7.32	1980	2008	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	○○○○○○○○○○
去除率	3.94	1988	1993	○○○○○○○○●●	●●●●○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○
生物活性炭	4.99	1995	2004	○○○○○○○○○○	○○○○●●●●●●	●●●●●○○○○○	○○○○○○○○○○
印染废水	6.70	1997	2008	○○○○○○○○○○	○○○○○○●●●●	●●●●●●●●●●	○○○○○○○○○○
深度处理	5.62	2001	2012	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○●●●●●●●●●	●●●●○○○○○○
结构	3.95	2001	2013	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○●●●●●●●●●	●●●●○○○○○○
臭氧	5.65	2003	2010	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○●●●●●●●●	●○○○○○○○○
有机污染物	3.72	2009	2014	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○●●	●●●●●○○○○
红壤	4.79	2011	2014	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○●●●●○○○○
土壤肥力	5.13	2012	2015	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○●●●●○○
生物质	3.94	2012	2014	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○●●●○○○○
竹炭	4.39	2013	2015	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○●●●○○
甲烷	4.31	2013	2014	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○●●○○○○
氧化亚氮	4.31	2013	2014	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○●●○○○○
农作物秸秆	3.97	2013	2015	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○●●●○○
吸附动力学	6.74	2014	2016	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○●●●○○
油菜	4.20	2014	2015	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○●●○○
解吸	4.95	2015	2016	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○●●○○
吸附性能	3.80	2015	2016	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○○○○○○○	○○○○●●○○

酸性土壤的改良剂^[10]; (2)生物炭具有大量的孔隙结构,改善土壤结构,增加土壤的持水量,从而提高土壤中可供作物利用的有效水含量,对作物生长产生积极影响^[11-12]; (3)生物炭本身含有丰富的官能团,施入土壤后可提高土壤电荷总量,阳离子交换量(CEC)也显著提高^[13]; (4)生物炭的微小孔隙内吸附和储存大量不同种类的物质,为土壤微生物提供充足的养分来源,影响土壤微生物数量和活性,进而改善土壤质量,增强土壤生态系统功能,实现土壤可持续发展; (5)生物炭与农业肥料配施可以减少肥料养分的流失,有效减少农用肥料的施用,避免土壤板结,改善土壤质量^[14]。尽管生物炭对土壤质量各个方面的改善在小范围内都有报道,但生物炭在我国大面积的土壤障碍和低产田的改造方面的应用还没有开展,同时我国土壤类型众多,不同生物炭对不同类型土壤的修复机理存在差异,当前针对生物炭改善不同类型土壤质量的研究还鲜有报道,生物炭在土壤中的活性还存在不确定性,生物炭对土壤地力的不利影响当前还没有显现出来,因此将来会不可避免地遇到很多未知的问题,因此生物炭在土壤质量改善和土壤可持续发展中的应用研究,在未来很长的一段时间内会是我国该领域的研究热点。

该研究方向的主要切入点有以下几个方面: (1)在不同类型土壤中使用几种典型生物炭对土壤质量的影响; (2)不同生物炭对土壤质量的改善必然不同,针对不同的土壤特性,选取特定的生物炭进行土壤改良势在必行; (3)在国内建立大区域的生物炭适用数据库。

2.7.2 生物炭研究将掀起我国土壤环境污染修复的热潮

据报道我国受污染耕地已达1000万 hm^2 , 占总耕地面积8.3%, 其中大部分为重金属污染和有机污染^[15]。我国每年因土壤污染而损失的粮食约1200万t, 合计经济损失约200亿元^[16], 因此我国土壤环境污染与修复将是未来土壤学、环境学研究的热点趋势。生物炭由于其高稳定性和强吸附性在土壤环境修复中被广泛研究^[17]。研究指出施用生物炭可能通过影响土壤中真菌活性来降低重金属的生物可利用性^[18]。但也有研究指出重金属被生物炭吸附以后, 随着土壤CEC、pH值以及溶解有机碳含量的提高, 重金属的可溶性加强, 生物毒害性也随之增加^[19]。研究表明生物炭对有机污染物的吸附导致其在土壤溶液中浓度降低是影响其生物有效性的关键因素^[20]。生物炭进入

土壤环境后会改变土壤性质、微生物活性等, 但当前研究主要集中在生物炭吸附有机污染物的机理上, 从土壤性质变化来探讨土壤中有机污染物生物有效性的研究报道较为缺乏。生物炭对土壤微生物的影响复杂多变, 其作用机制尚未完全探明, 生物炭与土壤相互作用过程、基本性质对改变和影响土壤理化特性的详细机理研究得还不够全面, 尤其是不同土壤类型、复合污染以及土壤高度异质性的条件下, 生物炭影响土壤重金属和有机污染的研究还十分缺乏; 同时, 生物炭自身的制备过程也会携带一些污染物, 如重金属和多环芳烃等, 如何有效地控制并减少这些污染物给环境带来的危害, 是生物炭制备必须要重点关注的方面, 因此生物炭对土壤污染的研究还需要进一步系统深入的研究。

该研究方向切入点主要包括: (1)降低生物炭制备过程污染物的产生与增加生物炭修复环境污染效率的平衡与协调; (2)生物炭修复环境污染必然受到各种因素的控制, 但目前大多只考虑单一或几种因素, 将来需要在多种因素影响下综合分析生物炭的修复效果; (3)生物炭对环境污染只能起到固定的效果, 并不能将其消除, 因此进一步的研究需要考虑生物炭固定污染物的时效, 并且分析评估污染物二次释放所产生的环境影响。

2.7.3 减缓全球温室效应是未来我国生物炭研究的趋势

据统计全球化石燃料排放的二氧化碳相当于60多亿t碳, 二氧化碳排放被认为是全球气候变暖的主要因素之一^[21]。生物炭固碳减排的机制主要是: 自身含碳量高, 且稳定性高^[22]; 促进作物生长, 提供碳利用效率; 减少化肥使用, 降低生产能耗; 抑制温室气体的排放^[23]。生物质能源的使用可减少化石能源的依赖, 生物质能源利用大气二氧化碳形成有机物, 在转化为能源后将二氧化碳重新释放到大气中, 因此不会增加大气二氧化碳浓度。研究表明土壤生物炭在土壤中可保存数千年, 生物炭是稳定的碳固定载体^[24], 因此生物炭对固碳储量的提升意义重大。生物炭每年减排温室气体量是目前人类温室气体排放总量的12%, 可以减缓气候变暖^[2]。预计到2100年, 全球有 9.5×10^{10} t碳以生物炭的形式封存于土壤中^[25]。我国大部分土壤有机碳含量低于世界平均水平约20%, 耕层土壤碳密度不足世界平均值的70%, 因此我国土壤生态系统固碳减排潜力巨大^[26-27]。我国对生物炭的生产工艺与生物炭的性质、特征都缺乏系统研究, 也

缺乏统一的生物炭相关标准,标准不统一难以比较研究结果,研究的可靠性也无法得到保证。生物炭大规模的施用在我国还较少,国家对生物炭碳固定及碳减排的作用还未足够重视。因此,固碳减排、减缓全球温室效应将是我国生物炭研究的热点趋势之一。

生物炭减缓全球温室效应的研究切入点主要有:

(1)生物炭制备的标准化;(2)国家如何宏观控制生物炭使用,平衡生物炭对土壤质量提升与固碳效率的作用;(3)改进生物炭制备技术,有效控制制备过程所带来的二氧化碳,建立不同生物炭固碳效率数据库,针对不同农业区域,寻找最小成本、最大效率的生物炭固碳原材料;(4)建立广泛模型,精确计算生物炭固碳能力和效率。

3 结论

(1)我国生物炭领域的研究从发文量来看正处在快速发展的阶段,但实际上我国生物炭研究与国际研究水平还相差较大。

(2)我国生物炭领域研究发文量最多的机构是南京农业大学,被引频次最多的机构是西北农林科技大学;发文量最多的研究者是南京农业大学的潘根兴,被引频次最多的论文作者是西北农林科技大学的耿增超;我国生物炭的研究主要以国家层面的基金资助为主,占到50.2%;我国生物炭研究的热点主要集中在肥料、土壤有机碳、土壤养分、结构、有机污染物的吸附解吸等方面。

(3)我国生物炭研究热点有由农业领域到环境领域转变的趋势。未来我国生物炭领域的研究趋势可能主要集中在土壤质量改善和土壤可持续发展、土壤环境污染修复、固碳减排减缓温室效应3个方面。

参考文献:

- [1] Sohi S P. Carbon storage with benefits[J]. *Science*, 2012, 338(6110): 1034-1035.
- [2] Woolf D, Amonette J E, Street-Perrott F A, et al. Sustainable biochar to mitigate global climate change[J]. *Nature Communications*, 2010, 1(5):56.
- [3] Molina M, Zaelke D, Sarma K M, et al. Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO₂ emissions[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106(49):20616-20621.
- [4] Schulz H, Dunst G, Glaser B. Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility[J]. *Agronomy for Sustainable Development*, 2013, 33(4):817-827.
- [5] Zeng G, Wu H, Liang J, et al. Efficiency of biochar and compost (or composting) combined amendments for reducing Cd, Cu, Zn and Pb bioavailability, mobility and ecological risk in wetland soil[J]. *RSC Advances*, 2015, 5(44):34541-34548.
- [6] Li Y, Wang Y, Rui X, et al. Sources of atmospheric pollution: A bibliometric analysis[J]. *Scientometrics*, 2017, 112(2):1025-1045.
- [7] 范利超, 韩文炎. 基于Web of Science数据库的生物炭研究发展态势分析[J]. *浙江农业科学*, 2017, 58(3):541-546, 551.
FAN Li-chao, HAN Wen-yan. Development trend analysis of biochar research based on Web of Science database[J]. *Zhejiang Agricultural Science*, 2017, 58(3):541-546, 551.
- [8] 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(12):211-217.
BI Yu-yun, GAO Chun-yu, WANG Ya-jing, et al. Estimation of straw resources in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(12):211-217.
- [9] 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.
WU Yu, XU Gang, LÜ Ying-chun, et al. Effects of biochar amendment on soil physical and chemical properties: Current status and knowledge gaps[J]. *Advances in Earth Science*, 2014, 29(1):68-79.
- [10] Zhu X, Chen B, Zhu L, et al. Effects and mechanisms of biochar-microbe interactions in soil improvement and pollution remediation: A review[J]. *Environmental Pollution*, 2017, 227:98-115.
- [11] Nadeem S M, Imran M, Naveed M, et al. Synergistic use of biochar, compost and plant growth-promoting rhizobacteria for enhancing cucumber growth under water deficit conditions[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(15):5139-5145.
- [12] 曾爱, 廖允成, 张俊丽, 等. 生物炭对壤土土壤含水量、有机碳及速效养分含量的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2013, 32(5):1009-1015.
ZENG Ai, LIAO Yun-cheng, ZHANG Jun-li, et al. Effects of biochar on soil moisture, organic carbon and available nutrient contents in manural loessial soils[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(5):1009-1015.
- [13] Wu H, Lai C, Zeng G, et al. The interactions of composting and biochar and their implications for soil amendment and pollution remediation: A review[J]. *Critical Reviews in Biotechnology*, 2017, 37(6):754-764.
- [14] 何绪生, 张树清, 余雕, 等. 生物炭对土壤肥料的作用及未来研究[J]. *中国农学通报*, 2011, 27(15):16-25.
HE Xu-sheng, ZHANG Shu-qing, SHE Diao, et al. Effects of biochar on soil and fertilizer and future research[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(15):16-25.
- [15] 侯德义, 宋易南. 农田污染土壤的绿色可持续修复:分析框架与相关思考[J]. *环境保护*, 2018, 46(1):36-40.
HOU De-yi, SONG Yi-nan. Green and sustainable remediation of contaminated farmland: Analysis and reflection[J]. *Environmental Protection*, 2018, 46(1):36-40.
- [16] 赵其国, 黄国勤, 钱海燕. 生态农业与食品安全[J]. *土壤学报*, 2007, 44(6):1127-1134.

- ZHAO Qi-guo, HUANG Guo-qin, QIAN Hai-yan, et al. Ecological agriculture and food safety[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(6):1127-1134.
- [17] 李力, 陆宇超, 刘娅, 等. 玉米秸秆生物炭对Cd(II)的吸附机理研究[J]. *农业环境科学学报*, 2012, 31(11):2277-2283.
- LI Li, LU Yu-chao, LIU Ya, et al. Adsorption mechanisms of cadmium(II) on biochars derived from corn straw[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(11):2277-2283.
- [18] Cui L, Yan J, Yang Y, et al. Influence of biochar on microbial activities of heavy metals contaminated paddy fields[J]. *Bioresources*, 2013, 8(4):5536-5548.
- [19] Beesley L, Inneh O S, Norton G J, et al. Assessing the influence of compost and biochar amendments on the mobility and toxicity of metals and arsenic in a naturally contaminated mine soil[J]. *Environmental Pollution*, 2014, 186:195-202.
- [20] Bielská L, Škulcová L, Neuwirthová N, et al. Sorption, bioavailability and ecotoxic effects of hydrophobic organic compounds in biochar amended soils[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 624:78-86.
- [21] Knox S H, Sturtevant C, Matthes J H, et al. Agricultural peatland restoration: Effects of land-use change on greenhouse gas (CO₂ and CH₄) fluxes in the Sacramento-San Joaquin Delta[J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(2):750-765.
- [22] Santín C, Doerr S H, Merino A, et al. Carbon sequestration potential and physicochemical properties differ between wildfire charcoals and slow-pyrolysis biochars[J]. *Scientific Reports*, 2017, 7(1):11233.
- [23] Zhang D, Yan M, Niu Y, et al. Is current biochar research addressing global soil constraints for sustainable agriculture?[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 226:25-32.
- [24] Tan Z, Lin C S K, Ji X, et al. Returning biochar to fields: A review[J]. *Applied Soil Ecology*, 2017, 116:1-11.
- [25] Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems: A review[J]. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, 11(2):403-427.
- [26] Sheng Y, Zhan Y, Zhu L. Reduced carbon sequestration potential of biochar in acidic soil[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 572:129-137.
- [27] 李飞跃, 汪建飞. 中国粮食作物秸秆焚烧碳排放量及转化生物炭固碳量的估算[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(14):1-7.
- LI Fei-yue, WANG Jian-fei. Estimation of carbon emission from burning and carbon sequestration from biochar producing using crop straw in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(14):1-7.

欢迎订阅2019年《农业环境科学学报》

《农业环境科学学报》是由农业农村部主管、农业农村部环境保护科研监测所和中国农业生态环境保护协会联合主办的全国性学术期刊,是中国科学引文数据库核心期刊(CSCD)、中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国精品科技期刊、中国国际影响力优秀学术期刊、中国权威学术期刊。被Scopus、《化学文摘》(CA)、《剑桥科学文摘(自然科学版)》(CSA(Natural Science))、《国际农业与生物科学研究中心》(CABI)、《史蒂芬斯数据库》(EBSCO)、《文摘杂志》(AJ)、《日本科学技术振兴集团(中国)数据库》(JST China)、《乌利希期刊指南(网络版)》(Ulrichsweb)等数据库收录。开设栏目:专论与综述、污染生态、土壤环境、水体环境、畜禽环境、水产环境、废弃物处理及资源化利用、碳氮循环、面源污染、分析方法、环境影响评价。

《农业环境科学学报》为月刊,每月20日出版,大16开,208页,每册定价75.00元,全年900.00元。国际标准连续出版物号ISSN 1672-2043,国内统一连续出版物号CN 12-1347/S。国内外公开发售,全国各地邮局均可订阅,国内邮发代号6-64,国外发行代号M5872,也可直接与编辑部联系订阅。

地址:天津市南开区复兴路31号(300191)

电话:022-23674336 传真:022-23674336

邮箱:caep@vip.163.com;nyhjxxb@vip.163.com

网址:www.aes.org.cn