

秸秆厌氧消化领域发展态势分析

王 阳

(中国科学院文献情报中心, 北京 100190)

摘 要: 农业废弃物秸秆是一种重要的自然资源, 利用厌氧消化技术处理秸秆, 不仅可以生产清洁能源, 又能缓解农村和城市的环境危机。利用文献计量法, 针对文献数据库, 客观地分析国内外秸秆厌氧消化领域的发展动态。通过该领域的发文数量、文章被引次数、发文地域分布、主要研究机构和主题词的分析, 绘制可视化图谱, 揭示秸秆厌氧消化技术领域的国家、机构、研究趋势以及研究热点, 以此帮助科研人员快速了解和把握本领域的研究概貌及发展脉络。

关键词: 秸秆; 厌氧消化; 文献计量; 态势分析

doi: 10.13304/j.nykjdb.2016.454

中图分类号: S216 文献标识码: A 文章编号: 1008-0864(2017)04-0001-09

Bibliometrics Evaluation on Anaerobic Digestion Technology of Straw

WANG Yang

(Discipline Consulting Service, National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: Straw is an important natural resource which can be reused by anaerobic digestion technology. It can not only produce clean energy, but also reduce the environment pollution of rural and urban. This article analyzed status and trends of straw anaerobic digestion in the world based on bibliometrics. Issues including major institutions, international cooperation, status, trends and frontiers were analyzed. These co-countries maps and keywords clustering analysis could reveal co-countries and hotspots in this field. These results could help the researchers get an overview of this field quickly and accurately.

Key words: straw; anaerobic digestion; bibliometric analysis; development trends analysis

农业废弃物秸秆是一种重要的自然资源, 高效的综合利用可使其变废为宝。我国是农业大国, 秸秆资源极为丰富, 但由于受到经济成本、交通运输、地域分散等因素的影响, 秸秆资源化利用受到了一定程度的制约。近年来, 秸秆就地焚烧现象屡禁不止, 是雾霾天气的成因之一, 引起了社会和科研人员的极大关注^[1, 2]。

秸秆经厌氧消化技术处理后可转化生成可燃性生物气体——沼气, 发酵产生的沼渣沼液也是一种良好的有机肥料, 实现资源利用和污染治理的双重目的。科技经过了数年的迅速发展, 秸秆厌氧消化技术愈发成熟, 逐渐从单一化演变成多

元化, 研究内容涵盖了整个厌氧消化的工艺流程, 包括前端的预处理、中端的工艺参数测定选择以及后端的沼气、沼渣和沼液的提纯、净化和合理利用^[3-6]等。

文献计量学以其严谨的数量统计分析方法, 可以对某一学科领域的技术发展时间轴、未来趋势走向、行业竞争力等重要因素通过直观的数据宏观地体现出来, 是对学科领域进行定量测度的重要方法之一。目前, 文献计量法被广泛应用于农业学科领域, 如农作物栽培^[7-10]、畜牧和资源环境^[11-13]、生物技术^[14, 15]和农业问题^[16, 17]等, 从不同角度揭示了相关领域文献的时空分布情况、

收稿日期: 2016-07-22; 接受日期: 2016-12-19

基金项目: NSTL“水体污染控制与治理”科技重大专项(2015XM40)资助。

作者简介: 王 阳, 馆员, 博士, 主要从事能源与环境相关学科的情报分析研究。E-mail: wangyang@mail.las.ac.cn

发展趋势及研究热点。

本文运用文献计量学和统计学原理,将秸秆厌氧消化技术领域的科技文献进行系统的分析,从而寻求秸秆厌氧消化的技术演变规律,揭示研究热点和前沿,以期为科研人员的研究布局提供参考信息。

1 研究方法和数据收集

1.1 研究方法

本文利用文献计量法对秸秆类厌氧消化领域的文章进行统计学角度的分析,运用统计数据来描述该研究领域文献的变化规律,并辅以文本挖掘软件 Thomson Data Analyzer(TDA)、社会网络分析与可视化工具 Netdraw 对文本数据进行多角度的深入挖掘和可视化全景分析。此外,由于技术关键词的复杂多样性是数字化软件无法准确识别的,所以在分析过程中结合了专业的人工判读和校验,从而整体提高了全文分析的准确性。

1.2 数据收集

本文的分析数据以 Web of Science 数据库为检索数据源,文献检索式为 $TS = ((" * straw " or " * stalk * " or " * stover " or " cellulose * " or " fiber ") and (" anaerobic ") and (" ferment * " or " digest * " or " treatment "))$,检索年限为 1942-2016 年。在构建检索式时充分考虑了不同国家及地区对于秸秆类物质的称呼差异,最终获得的有效检索结果为 2 725 条。由于 2016 年的收录数据尚不完整,因此本文重点分析了截止到 2015

年的数据。

2 结果与分析

2.1 论文产出年度变化趋势

根据检索结果,关于秸秆厌氧消化的研究论文最早是 1942 年由美国农业部的细菌学者 Straka 和爱荷华州立大学的化学工程师 Nelson 合作撰写的,研究对比了 4 种金属材料(不锈钢、铁皮、镀锌铁和铜材质)和玻璃材料的容器对玉米秸秆高温厌氧消化的影响^[18]。

从发文趋势图(图 1)中可以看出,秸秆厌氧消化的研究基本上可以划分为三个阶段,第一个阶段 1942-1990 年,本阶段的发文量一直处于较低的产出水平,年均发文量不足 10 篇,属于摸索研究的起步阶段;第二阶段是 1991-2007 年的平稳发展阶段,1991 年发文量有了明显的提升,达到 44 篇,此后至 2007 年,年均发文量稳定在 48 篇左右;第三阶段是 2008-2015 年的快速发展阶段,发文数量呈现直线上升的激增态势,年均发文量均超过 110 篇,到 2015 年发文量达到了 360 篇。这与全球对秸秆类生物质能关注度的提升是密不可分的,多国针对生物质能陆续颁布了政策法规。中国 2008 年发布的《国务院办公厅关于加快推进农作物秸秆综合利用意见的通知》以及 2012 年国家能源局发布的《生物质能发展“十二五”规划》中均明确提出了“有序发展以秸秆为原料的生物质能”、“积极利用秸秆生物气化(沼气)”、“加强技术研发”、“加大资金投入”;美国

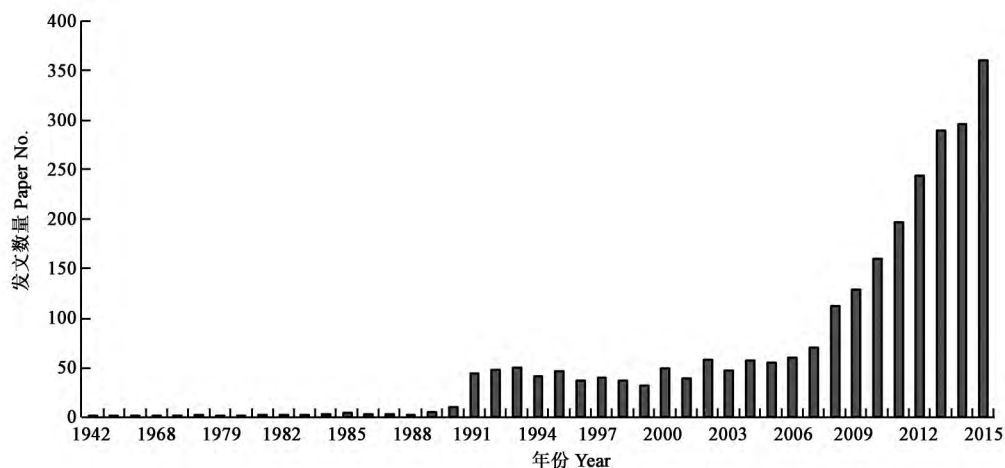


图 1 1942-2015 年全球论文产出趋势

Fig.1 Annual paper output from 1942-2015.

2005 年颁布的《能源政策法》规定了一系列的鼓励生物能发展的政策措施,包括税收激励、强制性联邦政府购买可再生能源产品配额、生物质技术研发支持、贷款担保等;欧盟 2006 年发布《欧盟生物质能行动计划》提出了强制性规章和基于市场的政策手段^[19-21]。这些政策性指导文件大力推动了生物质能的研究,从而使秸秆消化领域文章呈现快速上升的发展态势。

2.2 重要国家发文情况分析

2.2.1 重要国家年发文章产出趋势

全球共有 8 个国家的总发文章超过了 100 篇,分别是中国、美国、日本、德国、法国、印度、加拿大和英国。其中,

1990 年之前,这 8 个国家的发文情况只是零星发布;从 1990 年起,各国的发文章量才呈现萌芽状态,故从 1990 年开始按照时间顺序对论文产出趋势进行分析,如图 2 所示。除中国和美国外,日本、印度、加拿大、法国和德国的年度发文章量一直维持在 0~13 篇范围的稳定趋势;中国自 2008 年起,发文章数量骤增,自 2010 年起超越美国跃居世界第一位,主导了全球的发文趋势;美国虽然在 2008 年发文章数量大幅度增加,但与中国相比是呈现稳定缓慢上升的趋势。中国和美国发文章量远远高于其他国家或地区,这与近年来中美在秸秆类厌氧消化领域的大量投入是密不可分的。

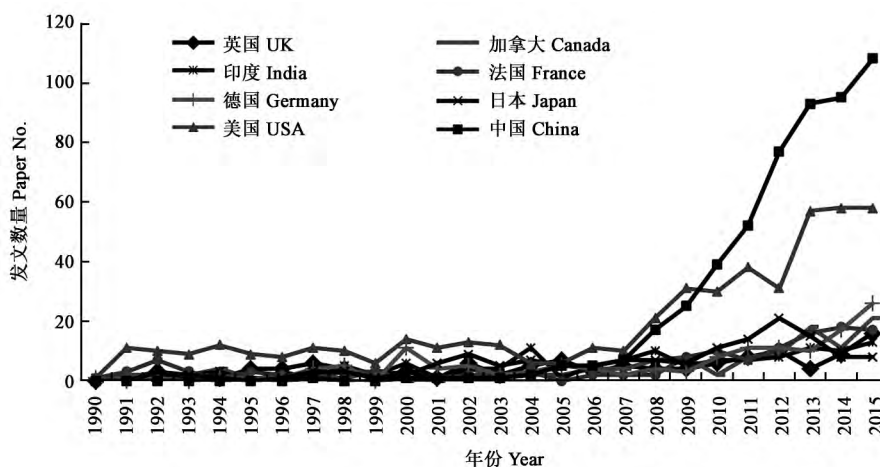


图 2 年发文章量大于 100 篇的国家论文产出趋势

Fig.2 Trends of output paper in countries with annual paper over 100.

2.2.2 重要国家论文被引频次分析

文章产出数量的多少能够一定程度反映出国家对该领域研究的热度,而某篇文章的被引用次数可以有效反映文章的质量,被引用次数排在学科前列的论文,在一定程度上代表了学科的研究进展,具有重要的研究意义^[22]。经过统计分析后(表 1),发文章量位于前 10 位的国家中,文章的平均被引频次排名前三的国家分别是丹麦、美国和加拿大,平均被引频次分别为 30.8 次、25.3 次和 24.3 次;英国位于第四位,平均被引频次为 24.0 次。而对于中国而言,平均被引频次相对较低,为 10.4 次,说明我国秸秆类厌氧消化领域发表的论文质量有待提高。

2.3 国家(地区)合作发文情况分析

网络关系图可以直观显示两个国家/地区的共同合作发文情况,若两个国家/地区的共同合作

发文,则会用箭头线段相连;箭头越大、线段越粗说明这两个国家/地区的合作程度越紧密。

对发文章量大于 10 篇的国家/地区合作进行深入分析,从图 3 中可见,比利时、荷兰、英国、法国和德国的发文章合作国家/地区的数量均超过 15 个,合作地区也较为宽泛,在欧洲、北美洲、大洋洲等区域均有较为活跃的合作动向。这是由于欧盟多年来一直重视生物质能的技术发展和研究开发,并制定了一系列的政策法规和指令性文件扶持生物质能的发展,目前已经形成了成熟的技术开发模式和产业体系,位于国际领先地位^[23-24],是各国学习合作的首要选择。

对于中国而言,合作区域分布在地理位置邻近的中亚和东南亚地区,以及早在 1959 年便有农业合作的非洲地区^[25-26],相对而言,合作区域较为集中。

表 1 发文量前 10 的国家发文情况分析
Table 1 Total paper output of top 10 countries.

排名 Rank	国家 Country	发文量 Paper No.	总被引次数 Total citations	篇均被引次数 Citations per paper
1	中国 China	482	4 996	10.4
2	美国 USA	400	10 105	25.3
3	日本 Japan	116	2 165	18.7
4	印度 India	114	2 109	18.5
5	德国 Germany	104	2 234	21.5
6	法国 France	97	1 715	17.7
7	加拿大 Canada	93	2 263	24.3
8	英国 England	80	1 920	24.0
9	丹麦 Denmark	78	2 404	30.8
10	意大利 Italy	71	998	14.1

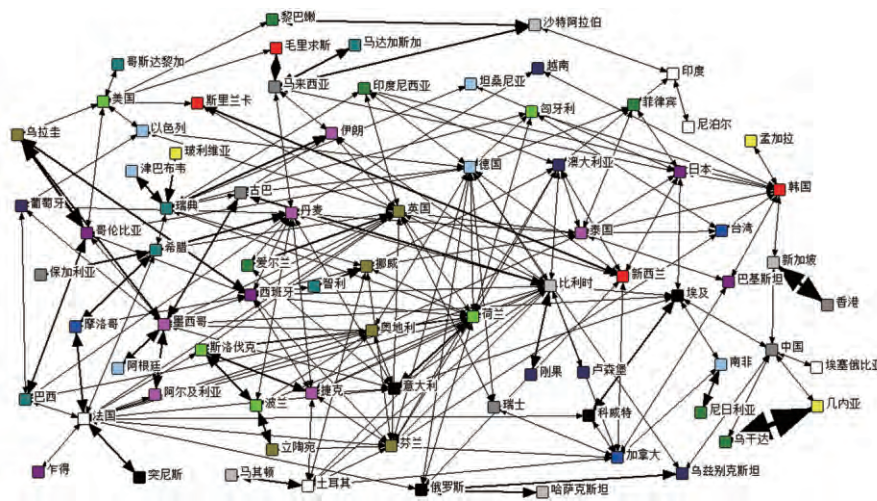


图 3 国家/地区发文合作网络关系图

Fig.3 Cooperation network diagram of the countries/regions.

2.4 重点研究机构分析

研究机构的发文情况如表 2 所示,全球发文量位于前 10 位的研究机构发文量均大于 30 篇。其中,中国科学院发表论文数量最多,为 88 篇;其次是法国国家农业研究院,发表文章 74 篇,这两家研究机构的发文量遥遥领先于其他研究机构。

在全球发文量排名的前 10 名中,美国所属的研究机构有 4 家,中国的研究机构有 3 家,可见中国和美国是秸秆类物质厌氧消化的重点研究国家。其中,位于前两位的中国科学院和法国国家农业研究院(INRA)的发文数量分别是 80 篇和 73 篇,遥遥领先于其他研究机构。这两家机构均是国家级的权威科研机构,具有学科分支广、下属

研究单元多、研究资金雄厚等有利因素,所以在秸秆厌氧消化领域的发文数量名列前茅。中国 3 家机构的发文起始时间都是在 2000 年以后,也间接反映出强劲的发展势头。此外,从被引频次上看,丹麦科技大学文章被引频次高、发文质量较高,而中国机构的发文质量尚有进一步提升的空间。

此外,对发文机构所属的产、学、研分布情况进行了归纳。其中,大学发文的比例最高,占 75%;研究所或研究单元占 24%;产业机构仅占 1%。这说明秸秆厌氧消化技术领域的主导研究机构是大学和研究所,而产业化方面明显不足。在前 100 机构中仅有一家产业机构,即美国的 Mascoma 公司,Mascoma 是一家致力于先进的低碳能源的生物技术公司。这也表明美国在秸秆

表 2 发文量前 10 的研究机构发文情况分析
Table 2 Paper output of top 10 research institutes.

排名 Rank	机构名称 Organization	发文量 Paper No.	总被引次数 Total citations	篇均被引次数 Citations per paper
1	中国科学院 Chinese Academy of Sciences	88	960	10.91
2	法国国家农业研究院 Institut National de la Recherche Agronomiqueh	74	1 325	17.91
3	丹麦科技大学 Technical University of Denmark	49	1 854	37.84
4	北京化工大学 Beijing University of Chemical Technology	46	634	13.78
6	美国农业部 United States Department of Agriculture	46	788	17.13
7	俄亥俄州立大学 Ohio State University	44	1 175	26.7
8	加州大学 University of California	42	852	20.29
9	瑞典隆德大学 Lund University	39	352	24.67
9	中国农业大学 China Agricultural University	36	962	9.778
	美国威斯康星大学 University of Wisconsin	36	644	17.89

厌氧消化技术领域中的产业规模优势显著,目前处于国际领先地位。

2.5 研究主题分析

2.5.1 研究领域分析 对秸秆厌氧消化领域的文章所涉及的研究领域进行归类分析,结果如图 4 所示。秸秆厌氧消化的研究文献共涉及 74 个研究领域(按 Web of Science 类别进行分类),其中,以生物技术/应用微生物学领域发文数量最多,为 1 097 篇,占总发文量的 38%;其次是能源

燃料学,发文量为 903 篇,占总发文量的 31%;此外,农学、工程学、环境科学/生态学、微生物学和化学所占比例分别为 29%、21%、17%、11%和 8%。

2.5.2 基于关键词的研究主题分析 通过对文章的关键词进行统计分析,可以了解秸秆厌氧消化领域的研究发展方向和热点。利用 TDA 软件对 1942-2015 年秸秆厌氧消化论文的关键词进行合并、归类统计,表 3 是 1942-2015 年秸秆厌氧

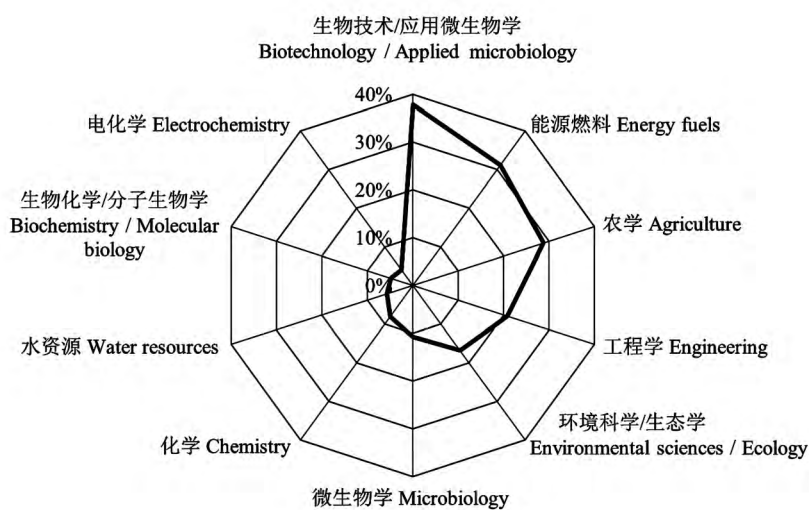


图 4 发文量位于前 10 的学科分布

Fig.4 Top 10 research areas of papers.

消化领域出现频率较高的排名前 20 的关键词,结果显示秸秆厌氧消化的研究主要集中在以下几个方面:一是秸秆厌氧消化的预处理技术,包括了酸处理、碱处理、高温处理、微生物菌群处理等;二是对秸秆厌氧消化的各个参数进行分析研究,包括温度、发酵浓度、C/N、pH 等;三是对秸秆厌氧消化转化机理进行建模及评价,如利用反应曲面法、

动力学等方法评价其秸秆的生物产甲烷潜力、降解效率等指标。

表 4 列举了近 5 年秸秆厌氧消化领域出现频率较高的排名前 10 的关键词,可以侧面反映出新进前沿热点。与表 3 数据进行对比,可以发现“预处理”和“混合厌氧消化”近 5 年出现频率猛增,是研究的热点方向,值得科研人员重点关注。

表 3 1942-2015 年出现频率排名前 20 的关键词

Table 3 Top 20 key words by the frequency between 1942-2015.

排名 Rank	关键词 Key word	出现频次 Frequency	出现年 Year	排名 Rank	关键词 Key word	出现频次 Frequency	出现年 Year
1	厌氧消化 Anaerobic digestion	813	1991	11	预处理 Pretreatment	148	1992
2	秸秆 Stalk	381	1990	12	厌氧菌 Anaerobic fungi	134	1991
3	沼气 Biogas	312	1991	13	粪便 Manure	131	1992
4	纤维素 Cellulose	297	1991	14	混合厌氧消化 Anaerobic co-digestion	128	1998
5	甲烷 Methane	236	1991	15	生物产甲烷潜力 Biomethane potential (BMP)	120	1991
6	生物制氢 Biohydrogen	225	1991	16	生物质 biomass	108	1991
7	瘤胃发酵 Rumen fermentation	179	1991	17	热纤梭菌 <i>Clostridium thermocellum</i>	81	1992
8	废水 Waste water	161	1991	18	高温厌氧消化 Thermophilic anaerobic digestion	73	1995
9	乙醇 Ethanol	156	1993	19	微生物群落 Microbial community	71	1992
10	动力学 Kinetics	148	1991	20	降解率 Digestibility	67	1991

表 4 2001-2015 年出现频率排名前 10 的关键词

Table 4 Top 10 keywords by the frequency between 2001-2015.

排名 Rank	关键词 Key word	出现频次 Frequency	出现年 Year	排名 Rank	关键词 Key word	出现频次 Frequency	出现年 Year
1	厌氧消化 Anaerobic digestion	452	1991	6	生物制氢 Biohydrogen	129	1991
2	秸秆 stalk	267	1990	7	预处理 Pretreatment	111	1992
3	沼气 Biogas	228	1991	8	混合厌氧消化 Anaerobic co-digestion	93	1998
4	纤维素 Cellulose	140	1991	9	废水 Wastewater	86	1991
5	甲烷 Methane	236	1991	10	动力学 Kinetics	86	1991

2.5.3 研究热点分析 在 2 725 篇文献中,将标题和关键词中涉及到“预处理”的文章首先筛选出来,其中将综述类、建模类和评价指标体系这三类文章剔除,只保留涉及到预处理技术的科技文章,再人工对每篇文章的技术关键点统一,进而深

入地研究判读。

结果表明秸秆厌氧消化预处理技术可分为物理方法、化学方法和生物方法。其中,物理方法主要包括了 thermal、steam explosion、microwave、comminution、ultrasonic、steam explosion、drying、

freezing、ultraviolet 等; 化学方法主要包括碱性预处理(sodium hydroxide、aqueous ammonia soaking、hydrogen peroxide、calcium hydroxide、calcium oxide、lime、urea、potassium hydroxide 等)、酸性预处理(sulfuric acid、HCl、acetic acid、maleic acid 等)、气液等离子体预处理(ionic liquid、CO₂ plasma、NH₃ plasma)、臭氧预处理(ozone pretreatment); 生物方法主要包括了 enzymatic pretreatment、mixed anaerobic、clostridium thermocellum pretreatment、caldicellulosiruptor bescii pretreatment、fungal pretreatment、phanerochaete chrysosporium pretreatment、trichoderma viride pretreatment 等。

图 5 是前 10 关键技术点的发展柱状图, 可以看出, 运用氢氧化钠预处理技术的文章数量最多且起始年代早, 这是由于氢氧化钠等碱性物质对纤维素的润胀能力强、材料常见易得、经济性好; 此外, 残余碱可以调节发酵料液的 pH, 降低酸抑制作用^[27-28]。但当碱浓度过高时, 在预处理过程

中木质素的降解会产生如芳香族化合物等抑制性物质, 这对产甲烷菌有较强的抑制作用^[29]。所以, 随着研究的深入开展, 研究内容也逐渐由单纯氢氧化钠处理演变为氢氧化钠与其他预处理技术相辅相成、共同作用。

生物预处理的文章数量位于第二位, 年发文章量也呈现逐年上升的态势。其中, 白腐真菌作为一个庞大的微生物家族, 能够分泌胞外氧化酶降解木质素^[30-31]; 热纤梭菌分泌的多酶复合物——纤维小体, 可高效快速降解结晶纤维素^[32]; 木霉菌分泌完整的纤维素酶系, 可完全水解天然纤维素^[33]。故上述三类生物降解法由于其公认的高效降解性能而被广泛应用研究。

此外, 如尿素预处理、磷酸预处理、干燥、光催化、冷冻等预处理方法近三年已经不再作为关键词出现在 SCI 文章中, 而臭氧预处理、加压热水预处理(湿氧化)、紫外线预处理等关键词近三年首次出现在 SCI 文章中, 可能会成为未来研究热点, 值得重点关注。

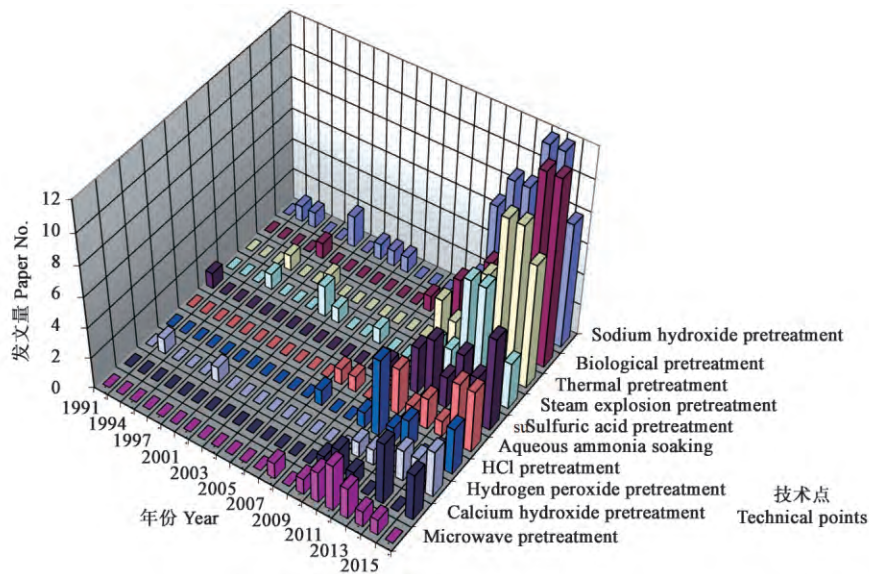


图 5 前 10 关键技术点按照时间年代出现情况

Fig.5 The variation of top 10 key technology points with time.

3 讨论

通过对秸秆类厌氧消化 SCI 论文进行分析可以看出, 我国的发文数量位居全球首位, 发展势头强劲, 在未来有更为广阔的发展空间。但是, 文章被引频次较低, 说明在投入大量研究精力的同时,

未来对于文章质量的保证是需要重点关注的。

首先, 积极开展对外合作交流。我国自 1995 年萌生农业“走出去”的想法, 2007 年中央 1 号文件正式提出将农业“走出去”作为国家战略。经过多年的发展, 我国在秸秆厌氧消化领域与中亚、东南亚地区建立了密切的合作关系, 但区域范围相对狭小。在未来的发展中, 有待进一步与欧盟、

美国等国家进行跨界区域合作来增强科研实力。

其次,重视“产、研”结合发展。从SCI发文情况上看,我国秸秆厌氧消化技术尚处在高校及科研院所的实验室研发阶段,而国内生物质能企业在尖端技术的研发上没有较为突出的表现。对此,文章中提到的美国Mascoma公司的“产、研”结合模式值得学习和借鉴,该公司建立了1.2万m²的技术研发实验室、配备专业的科学家团队,研究规模化发酵、预处理和生物代谢工程,以生产可再生能源和化学制品。所以,建立权威的生物质能技术研发机构、形成完善的产业服务体系,将科研和产业无缝结合是未来生物质能企业蓬勃发展的有效途径。

参 考 文 献

- [1] 严文莲,刘端阳,孙燕,等.秸秆焚烧导致的江苏持续雾霾天气过程分析[J].气候与环境研究,2014,19(2):237-247.
Yan W L, Liu D Y, Sun Y, *et al.*. Analysis of the sustained fog and haze event resulting from crop-burning residue in Jiangsu province [J]. Climatic Environ. Res., 2014, 19(2): 237-247.
- [2] 朱佳雷,王体健,邓君俊,等.长三角地区秸秆焚烧污染物排放清单及其在重霾污染天气模拟中的应用[J].环境科学学报,2012,32(12):3045-3055.
Zhu J L, Wang T J, Deng J J, *et al.*. An emission inventory of air pollutants from crop residue burning in Yangtze River Delta Region and its application in simulation of a heavy haze weather process [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2012, 32(12): 3045-3055.
- [3] 李淑兰,梅自力,张国治,等.秸秆厌氧消化预处理技术综述[J].中国沼气,2011,29(5):29-33.
Li S L, Mei Z L, Zhang G Z, *et al.*. Review of pretreatment technology for crop straw anaerobic digestion [J]. China Biogas, 2011, 29(5): 29-33.
- [4] 张荣成,李秀金.作物秸秆能源转化技术研究进展[J].现代化工,2005,25(6):14-17.
Zhang R C, Li X J. Advances in research on energy conversion technologies for crop stalks [J]. Modern Chem. Industry, 2005, 25(6): 14-17.
- [5] 董宇,马晶,张涛,等.秸秆利用途径的分析比较[J].中国农学通报,2010,26(19):327-332.
Dong Y, Ma J, Zhang T, *et al.*. Analysis and comparison of straw utilization [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2010, 26(19): 327-332.
- [6] 吴楠,孔垂雪,刘景涛,等.农作物秸秆产沼气技术研究进展[J].中国沼气,2012,30(4):14-20.
Wu N, Kong C X, Liu J T, *et al.*. Research progress on crop straw biogas technology [J]. China Biogas, 2012, 30(4): 14-20.
- [7] 王宁.基于文献计量分析我国转基因玉米研究现状[J].生物技术通报,2014(10):230-234.
Wang N. Research progress of transgenic maize in China based on bibliometrics [J]. Bio-technol. Bull., 2014(10): 230-234.
- [8] 郎花.中国高粱研究文献计量分析[J].中国农业信息,2016(5):73-76.
- [9] 郑敬业.中国转基因抗虫棉研究文献计量分析[J].农业信息科学,2008,24(7):462-466.
Zheng J Y. Bibliometric analysis of insect-resistant cotton literature in China [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2008, 24(7): 462-466.
- [10] 李晓,陈春燕,郑家奎,等.基于文献计量学的超级稻研究动态[J].中国农业科学,2009,42(12):4197-4208.
Li X, Chen C Y, Zheng J K, *et al.*. Research dynamics on super rice based on bibliometric [J]. Sci. Agric. Sin., 2009, 42(12): 4197-4208.
- [11] 高懋芳,邱建军,刘三超,等.基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析[J].中国农业科学,2014,47(6):1140-1150.
Gao M F, Qiu J J, Liu S C, *et al.*. Status and trends of agricultural diffuse pollution research based on bibliometrics [J]. Sci. Agric. Sin., 2014, 47(6): 1140-1150.
- [12] 薛念涛.畜禽污染防治现状与趋势的文献计量分析[J].农业环境科学学报,2014,33(3):429-434.
Xue N T. Status and trend of control over livestock and poultry pollution based on bibliometrics [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2014, 33(3): 429-434.
- [13] 齐衡,吴玲.我国农地流转研究的文献计量分析[J].农业经济与管理,2012,16(6):17-23.
Qi H, Wu L. Bibliometrics analysis on chinese rural land circulation [J]. Agric. Econ. Manage., 2012, 16(6): 17-23.
- [14] 迟培娟,吴鸣.水稻转基因研究的竞争态势分析[J].中国生物工程杂志,2015,36(6):116-123.
Chi P J, Wu M. Competitive situation analysis of transgenic rice subject [J]. China Biotechnol., 2015, 36(6): 116-123.
- [15] 王宁.基于文献的我国转基因大豆研究发展态势分析[J].大豆科学,2014,33(5):764-772.
Wang N. Research progress of transgenic soybean in china based on bibliometrics [J]. Soybean Sci., 2014, 33(5): 764-772.
- [16] 贺萍,路文如,骆有庆.生物入侵文献计量分析[J].北京林业大学学报,2009,31(3):77-83.
He P, Lu W R, Luo Y Q. A bibliometric analysis on literatures of biological invasion [J]. J. Beijing Forestry Univ., 2009, 31(3): 77-83.
- [17] 李晓,陈春燕,赵颖文,等.基于文献计量学的种业安全态势研究[J].中国农业科技导报,2014,16(3):169-176.
Li X, Chen C Y, Zhao Y W, *et al.*. Studies on seed safety status based upon bibliometrics [J]. J. Agric. Sci. Technol., 2014, 16(3): 169-176.
- [18] Straka R P, Nelson G H. Effect of metal containers on the anaerobic fermentation of cornstalk flour by thermophiles [J]. J. Agric. Res., 1942, 64(1): 19-31.
- [19] 张希良,岳立,柴麒敏,等.国外生物质能开发利用政策[J].农业工程学报,2006,11(1):4-7.
Zhang X L, Yue L, Chai Q M, *et al.*. Foreign policies for

- exploitation and utilization of biomass energy [J]. *Trans. CSAE*, 2006, 11(1): 4-7.
- [20] Zhou Y H, Kong L X, Chen Q. Support policies on the development biomass energy in the United States and China [J]. *Biomass Chem. Engin.*, 2011, 45(1): 1-9.
- [21] 张平, 张晔, 代木林. 全球生物能源政策比较及启示 [J]. *中国地质大学学报(社会科学版)* 2014, 14(4): 93-99.
Zhang P, Zhang Y, Dai M L. A comparison on the global bio-energy industrial policies [J]. *J. China Univ. Geosciences (Soc. Sci.)*, 2014, 14(4): 93-99.
- [22] 祝清松, 冷伏海. 基于引文内容分析的高被引论文主题识别研究 [J]. *中国图书馆学报* 2014, 40(209): 39-49.
Zhu Q S, Leng F H. Topic identification of highly cited papers based on citation content analysis [J]. *J. Library Sci. China*, 2014, 40(209): 39-49.
- [23] 田宜水, 赵立欣, 孟海波, 等. 欧盟固体生物质燃料标准技术进展 [J]. *可再生能源* 2007, 25(4): 61-64.
Tian Y S, Zhao L X, Meng H B, *et al.*. Status of solid biofuel standards of EU [J]. *Renew. Energy Resour.*, 2007, 25(4): 61-64.
- [24] 车长波, 袁际华. 世界生物质能源发展现状及方向 [J]. *天然气工程* 2011, 31(1): 104-106.
Che C B, Yuan J H. Developing trend of biomass energy sources in the world [J]. *Nat. Gas Ind.*, 2011, 31(1): 104-106.
- [25] 孙丽英, 田宜水. 东盟国家生物质能源发展比较研究及对我国启示 [J]. *中国人口·资源与环境* 2010, 20(5): 80-83.
Sun L Y, Tian Y S. A comparative study on biomass energy development in Asean countries and its inspiration to China [J]. *China Population · Resour. Environ.*, 2010, 20(5): 80-83.
- [26] 刘晓佳, 安海忠, 丛琳, 等. 东盟国家新能源政策及启示 [J]. *资源与产业* 2013, 15(6): 130-135.
Liu X J, An H Z, Cong L. Reference of new energy policies of Asean countries [J]. *Resour. Industries*, 2013, 15(6): 130-135.
- [27] 郑明霞, 李来庆, 郑明月, 等. 碱处理对玉米秸秆纤维素结构的影响 [J]. *环境科学与技术* 2012, 35(6): 27-31.
Zheng M X, Li L Q, Zheng M Y, *et al.*. Effect of alkali pretreatment on cellulosic structural changes of corn stover [J]. *Environ. Sci. Technol.*, 2012, 35(6): 27-31.
- [28] 陈广银, 郑正, 罗艳, 等. 碱处理对秸秆厌氧消化的影响 [J]. *环境科学* 2010, 31(9): 2208-2213.
Chen G Y, Zheng Z, Luo Y, *et al.*. Effect of alkaline treatment on anaerobic digestion of rice straw [J]. *Environ. Sci.*, 2010, 31(9): 2208-2213.
- [29] 马磊, 王德汉, 王梦男, 等. 矿物材料预处理对餐厨垃圾高温厌氧消化过程的影响 [J]. *环境科学学报* 2008, 28(11): 2277-2283.
Ma L, Wang D H, Wang M N, *et al.*. Effect of mineral pretreatment thermophilic anaerobic digestion of food waste [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(11): 2277-2283.
- [30] 柳珊, 吴树彪, 张万钦, 等. 白腐真菌预处理对玉米秸秆厌氧发酵产甲烷影响实验 [J]. *农业机械学报* 2013, 44(2): 124-142.
Liu S, Wu S B, Zhang W Q, *et al.*. Effect of white-rot fungi pretreatment on methane production from anaerobic digestion of corn stover [J]. *Trans. Chin. Soc. Agric. Mach.*, 2013, 44(2): 124-142.
- [31] 杨立霞, 马欣然, 王玉英, 等. 三种白腐菌生物学特性与木质纤维素酶基因遗传多样性 [J]. *生态学报* 2016, 36(7): 2034-2043.
Yang L X, Ma X R, Wang Y Y, *et al.*. Biological characteristics of three white-rot fungi and genetic diversity of lignocellulose enzyme related genes [J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2016, 36(7): 2034-2043.
- [32] 陈林, 王禄山, 张怀强. 热纤梭菌高效降解木质纤维素过程的组学研究进展 [J]. *微生物学报* 2014, 54(2): 121-128.
Chen L, Wang L S, Zhang H Q. Mics of the clostridium thermocellum in lignocellulose degradation —— A review [J]. *Acta Microbiol. Sin.*, 2014, 54(2): 121-128.
- [33] 屈海泳, 刘连妹, 吴纯. 木霉菌液体发酵对秸秆的降解作用 [J]. *江苏农业科学* 2014, 42(7): 283-285.

(责任编辑: 温小杰)