



## 关于秸秆微生物降解的文献计量分析

朱丹<sup>1,2</sup> 王敬敬<sup>\*1,2</sup> 赵思崎<sup>1,2</sup> 杨榕<sup>1,2</sup> 徐松<sup>1,2</sup> 黄志勇<sup>\*1,2</sup>

1 中国科学院天津工业生物技术研究所 天津工业生物系统与过程重点实验室 天津 300308

2 国家合成生物技术创新中心 天津 300308

**摘要:** 随着可再生生物质能源研究的快速发展, 秸秆的微生物降解成为世界范围内的研究热点。客观分析当前秸秆微生物降解领域的发展态势, 可为我国秸秆降解领域工作人员提供情报动态, 推进我国在新型生物质能源方面的深入研究。本文基于 Web of Science 数据库, 利用 HisCite 和 VOSviewer 软件分析工具, 对世界范围内关于秸秆微生物降解领域的发文数量、高发文国家、高发文期刊及高发文机构等数据进行分析。分析结果发现秸秆微生物降解研究自 21 世纪以来出现逐年递增的趋势, 全球范围内对秸秆微生物降解的研究主要集中在应用微生物、农业和生物技术等方面。其中, 美国、中国、德国和日本在秸秆微生物降解研究领域处于国际领先地位。美国的发文量和发文的影响力位列首位。我国在该领域发文量位列第二名, 表明我国在秸秆微生物降解领域的研究具有一定的基础, 但影响力较低, 需要加强高水平的研究, 带动我国在该领域研究实力的整体提升。

**关键词:** 秸秆降解, 微生物, 文献计量分析, Web of Science

## Bibliometric analysis of straw degradation by microorganisms

ZHU Dan<sup>1,2</sup> WANG Jing-Jing<sup>\*1,2</sup> ZHAO Si-Qi<sup>1,2</sup> YANG Rong<sup>1,2</sup> XU Song<sup>1,2</sup>  
HUANG Zhi-Yong<sup>\*1,2</sup>

1 Tianjin Key Laboratory for Industrial Biological Systems and Bioprocessing Engineering, Tianjin Institute of Industrial Biotechnology, Chinese Academy of Sciences, Tianjin 300308, China

2 National Technology Innovation Center of Synthetic Biology, Tianjin 300308, China

**Abstract:** Straw degradation by microorganisms has become a research hotspot in the world with the rapidly development in renewable biomass energy. This paper aimed to analyze the trend of straw degradation by microorganisms, and provide information for the researchers in the field of straw degradation and promote the development of new biomass energy in China. This paper analyzed the number of papers, top countries, journals, institutes and authors in the field of straw degradation by microorganisms using the Web of Science database and the HisCite and VOSviewer software. The worldwide researches on straw degradation by

**Foundation items:** National Key Research and Development Program of China (2018YFA0902200); Tianjin Synthetic Biotechnology Innovation Capacity Improvement Project (TSBICIP-PTJS-001); Tianjin Science and Technology Plan Project (18YFZCNC01180); National Natural Science Foundation of China (41807395)

**\*Corresponding authors:** E-mail: WANG Jing-Jing: wang\_jj@tib.cas.cn; HUANG Zhi-Yong: huang\_zy@tib.cas.cn

**Received:** 22-11-2019; **Accepted:** 28-03-2020; **Published online:** 16-04-2020

**基金项目:** 国家重点研发计划(2018YFA0902200); 天津市合成生物技术创新能力提升行动项目(TSBICIP-PTJS-001); 天津市科技计划(18YFZCNC01180); 国家自然科学基金(41807395)

**\*通信作者:** E-mail: 王敬敬: wang\_jj@tib.cas.cn; 黄志勇: huang\_zy@tib.cas.cn

**收稿日期:** 2019-11-22; **接受日期:** 2020-03-28; **网络首发日期:** 2020-04-16

microorganisms mainly focused on applied microorganisms, agriculture and biotechnology. The researches on straw degradation by microorganisms had been increasing year by year since the new century, among which the United States, China, Germany and Japan were in international leading level. The United States ranked first in terms of volume and influence. Although China ranked second in terms of volume and has a certain foundation, but its influence is still low. So it is necessary to strengthen the high-level research to promote the overall improvement of straw degradation by microorganisms in China.

**Keywords:** Straw degradation, Microorganisms, Bibliometric analysis, Web of Science

秸秆是世界上含量最丰富的可再生生物质能源材料, 对其进行有效的降解利用成为新世纪以来备受关注的热点话题。秸秆的全球年产量约 2 000 亿 t<sup>[1]</sup>, 其中以玉米、水稻和小麦秸秆最多。由于秸秆降解成分复杂、降解周期长等原因, 多数秸秆被直接焚烧, 尤其是玉米秸秆。在生产生活中对于秸秆的利用, 包括用于牲畜的饲料、直接还田或以有机肥的形式还田<sup>[2]</sup>, 秸秆降解后的糖类、有机酸等产物还可以用来当作生产生物柴油<sup>[3]</sup>、生物乙醇、丁二醇等化工产品的前体<sup>[4]</sup>。造成秸秆难降解的原因是其组成成分之间复杂的相互作用, 秸秆的主要成分是木质纤维素, 木质纤维素主要由木质素、纤维素和半纤维素组成<sup>[5]</sup>, 还含有少量的蛋白质和果胶。纤维素、半纤维素和木质素之间以氢键相连, 半纤维素和木质素之间除了氢键外, 还通过共价键联结成网状结构将纤维素包围在其中, 形成一种屏障, 使纤维素降解酶类很难直接接触到纤维素, 这就是导致秸秆难降解的主要原因<sup>[6]</sup>。目前已被发现能够降解木质纤维素的微生物主要有细菌和真菌。细菌包括芽孢杆菌、梭状芽孢杆菌、纤维杆菌<sup>[7]</sup>等; 真菌包括木霉、青霉、曲霉、白腐真菌<sup>[8]</sup>等。除了细菌和真菌, 放线菌也是木质纤维素降解的一类重要微生物, 放线菌的降解能力虽不如真菌, 但其比真菌有更强的耐受力。放线菌主要包括链霉菌属、诺卡氏菌属、分枝杆菌属等<sup>[9-10]</sup>。

我国是农业大国, 每年由于种植作物产生的秸秆约 6.4 亿 t<sup>[11]</sup>, 由于秸秆生物降解困难, 我国秸秆只有很少一部分被有效利用。本文基于文献数据库, 客观地分析当前在秸秆微生物降解方面的研究态势, 旨在推进我国在秸秆微生物降解研究领域的发展进程, 并缓解大肆焚烧秸秆给环境带来的压力。

## 1 数据来源

本数据来源于 Web of Science (以下简称 WOS) 核心合集数据库中的 Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED) 数据库, 检索式为 [TS=(stover\* OR straw OR stalk\* OR cornstalk OR maize straw OR crop residue OR lignocellulose OR cellulose OR lignose OR xylogen OR lignin OR hemicellulose)] AND [TS=(straw degradation OR straw decomposition OR biodegradation OR biochemical breakdown OR lignocellulose degrad\* OR cellulose degrad\* OR lignin degrad\*)] AND [TS=(bacteria\* OR fung\* OR microbe\* OR microbial\* OR microorganism)] NOT [TS=(effluent\* OR composite OR PAHs OR chemic\* OR chelator\* OR trace\*)], 检索时间跨度为 1900 年至 2019 年, 检索的文献类型为所有文献类型, 共检索出相关文献 9 505 篇, 检索及下载时间更新为第一次修稿时的 2019 年 12 月 31 日。

## 2 分析方法

根据检索式检索出的 9 505 篇文献, 利用 WOS 的检索结果分析和 HisCite 软件对秸秆微生物降解领域发文量、发文趋势、发文作者、期刊、机构等进行分析, 利用 VOSviewer 软件分析工具对文献的关键词进行分析, 揭示秸秆微生物降解领域的研究热点。

## 3 分析结果

### 3.1 论文类型及数量变化趋势

在统计的 9 505 篇文献中, 其中研究论文 8 882 篇, 占 93.44%; 文献综述 470 篇, 占 4.94%; 会议论文 281 篇, 占 2.96%; 会议文摘 70 篇, 占 0.74%。秸秆微生物降解领域第一篇文章发表在 1931 年, 1931-1990 年, 发文量基本保持低迷状态; 1991 年开始秸秆微生物降解领域的发文量有

了突破性地增高,说明1991年该领域的研究出现了质的飞跃,有了极高的关注度;1991–2000年,每年的发文量没有较大的变化;在进入21世纪以来20年的数据显示,秸秆微生物降解相关论文的年发表数量在2005年以前保持相对持平的状态,在2005年以后整体上呈现持续上升的趋势,到2019年发文数量达到最高,共675篇,占统计范围内发文总量的7.10%,在2007年、2013年和2015年有较小幅度的下降(图1)。

我国的发文趋势如图2所示,我国在秸秆微生物降解领域的第一篇文章发表在1992年,28年内

我国在该领域共发文1527篇,历年的发文趋势基本呈指数形式上升,仅2019年,我国在秸秆微生物降解领域发文254篇,占我国发文总量的16.63%,比1992年的0.07%上升了16.56%;在2008年、2010年、2013年有小幅度下降。

### 3.2 重点国家分析

在统计范围内,秸秆微生物降解相关文献发文量排名前十的国家分别是美国、中国、德国、日本、印度、法国、加拿大、西班牙、英格兰和巴西,这10个国家共发表相关文献7755篇,占统计范围内发文总量的81.61%。其中美国和中国的发文量明

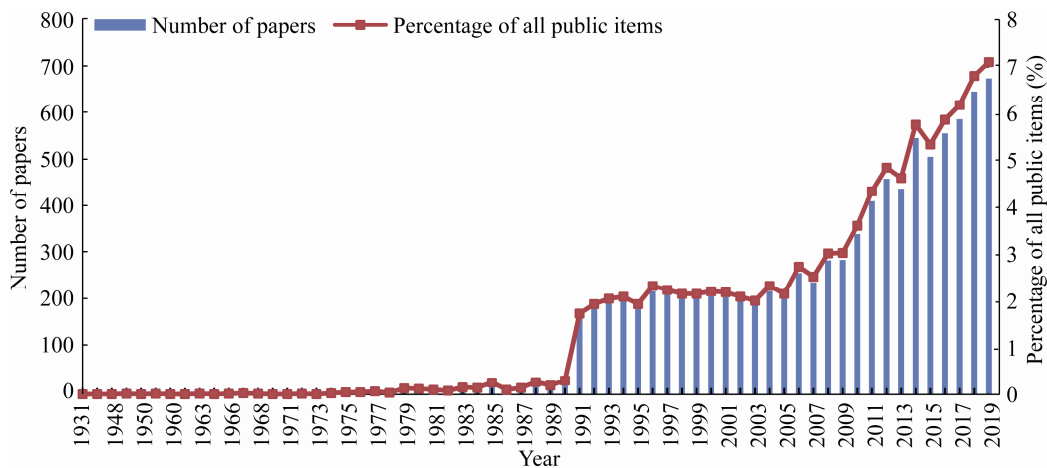


图1 秸秆微生物降解全球历年发文量趋势图

Figure 1 Trend of straw degradation by microorganisms all over the world



图2 秸秆微生物降解中国历年发文量趋势图

Figure 2 Trend of straw degradation by microorganisms in China

显高于其他国家, 分别为 1 977 篇和 1 527 篇, 占比为 20.80% 和 16.07%。 $H$  指数是指将相关统计项目所发表的文章按照被引频次进行从高到低的排序, 至少有  $H$  篇文献被引用了至少  $H$  次<sup>[12]</sup>。 $H$  指数越高, 则代表被引文献的篇数和次数越多, 说明该统计项目的论文影响力越高。从表 1 可以看出, 美国无论是从发文量、总被引次数, 还是从篇平均被引次数和  $H$  指数来看都是居于首位, 说明在秸秆微生物降解的研究中, 美国处于领先地位, 并且有着极高的影响力。而中国虽然发文量排名第二, 但是篇平均被引次数却排名最后, 为 16.22,  $H$  指数为 65, 排名第七, 说明我国在秸秆微生物降解的研究方面还不成熟, 论文整体影响力不高, 还需进一步加强研究力度。发文数量排名较后的法国、加拿大、西班牙和英格兰, 虽然发文数量较少, 分别为 514、435、422、376 篇, 但篇平均被引次数和  $H$  指数却远高于排在其前面的日本和印度两个国家, 说明这 4 个国家虽然论文产出较少, 但其产出的论文却有着很高的影响力, 在秸秆微生物降解研究方向有着引导作用。发文量排名第六的法国,  $H$  指数排名却高居第三位, 说明法国在秸秆微生物降解领域的研究中, 虽论文数量较少, 但较之中国、日本、印度却有着更高的影响力。发文量排名第八的西班牙在  $H$  指数排名上比发文量排名第二、四、

五、七的中国、日本、印度、加拿大都高, 说明在秸秆微生物降解领域的研究影响力较高。

### 3.3 发文期刊分析

在统计范围内, 秸秆微生物降解研究方向发文量排名前十的期刊见表 2。这 10 种期刊总共发文 2 113 篇, 占统计范围内发文总量的 22.22%, 平均影响因子为 4.243。其中, 发文量最多的期刊是 *Applied and Environmental Microbiology*, 共发表秸秆微生物降解相关文献 370 篇, 期刊近 5 年影响因子为 4.701, 总被引、篇平均被引次数和  $H$  指数均以绝对优势排名第一。*Bioresource Technology* 期刊近 5 年影响因子为 6.589, 近 5 年影响因子排名第一, 该期刊虽然影响因子最高, 但其篇平均被引次数却排名第五,  $H$  指数排名第三, 这就说明不能单纯以期刊的影响因子来判断论文的学术价值和影响力。期刊 *Enzyme and Microbial Technology* 虽发文量较少, 只有 155 篇, 篇平均被引次数却远超发文量排在第二、三位的 *Bioresource Technology* 和 *Applied Microbiology and Biotechnology* 期刊, 说明关于秸秆微生物降解的研究在酶类和微生物技术方面受到科研人员更多的关注。从统计数据来看, 该领域的文章分布较分散, 平均影响因子较低, 多集中于环境、土壤和生物技术应用等领域。

表 1 秸秆微生物降解发文量前十的国家

Table 1 Top 10 countries in the number of papers on straw degradation by microorganisms

排名	国家	发文量(篇)	发文百分比	总被引次数	篇平均被引次数	$H$ 指数
Rank	Country	Number of papers	Percentage (%)	Total citations	Average citation of per paper	$H$ index
1	USA	1 977	20.80	93 863	47.48	139
2	P.R China	1 527	16.07	24 769	16.22	65
3	Germany	789	8.30	27 545	34.91	75
4	Japan	764	8.04	19 504	25.53	61
5	India	589	6.20	11 273	19.14	49
6	France	514	5.41	21 753	42.32	73
7	Canada	435	4.58	16 087	36.98	67
8	Spain	422	4.44	17 034	40.36	68
9	England	376	3.96	17 567	46.72	66
10	Brazil	362	3.81	7 076	19.55	42

表 2 秸秆微生物降解发文量前十的期刊

Table 2 Top 10 journals on straw degradation by microorganisms

排名 Rank	期刊 Journal	近五年影响因子 Impact factor of past five years	发文量(篇) Number of papers	发文百分比 Percentage (%)	总被引次数 Total citations	篇平均被引次数 Average citation of per paper	H 指数 H index
1	<i>Applied and Environmental Microbiology</i>	4.701	370	3.89	22 279	60.21	86
2	<i>Bioresource Technology</i>	6.589	351	3.69	12 227	34.83	55
3	<i>Applied Microbiology and Biotechnology</i>	3.889	289	3.04	10 998	38.06	54
4	<i>Soil Biology &amp; Biochemistry</i>	6.065	252	2.65	13 220	52.46	64
5	<i>Biotechnology for Biofuels</i>	6.343	183	1.92	4 525	24.73	36
6	<i>PLOS One</i>	3.337	156	1.64	3 784	24.26	33
7	<i>Enzyme and Microbial Technology</i>	3.181	155	1.63	7 543	48.66	49
8	<i>International Biodeterioration &amp; Biodegradation</i>	3.841	140	1.47	3 558	25.41	29
9	<i>Applied Biochemistry and Biotechnology</i>	2.094	112	1.18	1 868	16.68	23
10	<i>World Journal of Microbiology &amp; Biotechnology</i>	2.391	105	1.11	1 906	18.15	26

### 3.4 发文机构分析

在统计范围内,秸秆微生物降解相关发文量在全球排名前十的研究机构如表 3 所示。这 10 个机构共发文 2 289 篇,占统计范围内总发文量的 24.26%。根据表 3 的数据显示,中国关于秸秆微生物降解的研究集中在中国科学院,其发文量最多,共发文 325 篇,占统计范围内发文总量的 3.42%,但是总被引次数、篇平均被引次数和  $H$  指数却远远落后。说明中国在秸秆微生物降解方面虽然论文产出量大,但影响力却很低,还需进一步加强在该领域的研究力度和影响力。美国农业部无论是在总被引次数还是在篇平均被引次数和  $H$  指数上均遥遥领先,总被引 20 726 次,篇平均被引次数为 68.63 次, $H$  指数为 72。在这 10 个研究机构中,所属美国的机构就有 4 个,分别是美国农业部、能源部、林业局和加州大学,说明美国在秸秆微生物降解研究领域处于领先地位且有一定的影响力。发文量排名第八位的美国林业局虽发文量少,但是篇平均被引次数排名第一,为 82.84 次, $H$  指数仅低于发文量排名第四和第六( $H$  指数并列第一)的美国能源部和加州大学,为 57。所属法国的机构有

3 个,分别是法国国立农业研究所、国家科学研究中心和艾克斯马赛大学,这 3 个机构在发文量上分别排名第三名、第五名和第十名。

在统计范围内,秸秆微生物降解相关发文量在中国排名前十的研究机构如表 4 所示。这 10 个机构共发文 945 篇,占统计范围内中国总发文量的 61.89%。根据表 4 的数据显示,我国关于秸秆微生物降解的研究发文量最多的是中国科学院,共发文 325 篇,占统计范围内国内发文总量的 21.28%,总被引次数和  $H$  指数也高居第一位,但篇平均被引次数为 18.58,远低于发文量排名第十位的湖南大学,湖南大学虽然发文量只有 43 篇,排名最后,但是篇平均被引次数却排名第一,为 33.86, $H$  指数排名第三,为 24,说明湖南大学在秸秆微生物降解方面虽然论文产出量小,但影响力却较高,在该领域的研究有较好的深度和广度。

### 3.5 作者分析

在统计范围内,发文量排名前十的作者如表 5 所示。这 10 名作者来自 8 个国家,其中,美国 2 名,西班牙 2 名,德国、法国、日本、以色列、

表 3 秸秆微生物降解发文量前十的机构

Table 3 Top 10 institutes of straw degradation by microorganisms

排名 Rank	机构 Institute	发文量(篇) Number of papers	发文百分比 Percentage (%)	总被引次数 Total citations	篇平均被引次数 Average citation of per paper	H 指数 H index
1	中国科学院 Chinese Academy of Sciences	325	3.42	6 040	18.58	40
2	美国农业部 United States Department of Agriculture	302	3.18	20 726	68.63	72
3	法国国立农业研究所 Institute National De La Recherche Agronomique	292	3.07	11 355	38.89	54
4	美国能源部 United States Department of Energy	282	2.97	13 570	48.12	58
5	法国国家科学研究中心 Centre National De La Recherche Scientifique	235	2.47	12 592	53.58	55
6	加州大学系统 University of California System	222	2.34	11 948	53.82	58
7	西班牙科学研究高级理事会 Consejo Superior De Investigaciones Cientificas	213	2.41	10 205	47.91	55
8	美国林业局 United States Forest Service	146	1.54	12 095	82.84	57
9	巴西圣保罗大学 Universidade De Sao Paulo	137	1.44	2 557	18.66	31
10	法国艾克斯马赛大学 Aix Marseille University	135	1.42	8 180	60.59	43

表 4 秸秆微生物降解中国发文量前十的机构

Table 4 Top 10 institutes of straw degradation by microorganisms in China

排名 Rank	机构 Institute	发文量(篇) Number of papers	占中国百分比 Percentage (%)	总被引次数 Total citations	篇平均被引次数 Average citation of per paper	H 指数 H index
1	中国科学院 Chinese Academy of Sciences	325	21.28	6 040	18.58	40
2	中国农业大学 China Agricultural University	103	6.75	1 949	18.92	25
3	中国科学院大学 University of Chinese Academy of Sciences	95	6.22	1 017	10.71	17
4	中国农业科学院 Chinese Academy of Agricultural Sciences	85	5.57	1 113	13.09	20
5	山东大学 Shandong University	74	4.85	1 192	16.11	19
6	浙江大学 Zhejiang University	71	4.65	934	13.15	16
7	南京农业大学 Nanjing Agricultural University	55	3.60	779	14.16	17
8	中国西北大学 Northwest University of China	50	3.27	902	18.04	15
9	中国科学院土壤研究所 Institute of Soil Science CAS	44	2.88	957	21.75	16
10	湖南大学 Hunan University	43	2.82	1 456	33.86	24

捷克和荷兰各 1 名作者。这 10 名作者共发表文章 571 篇, 占统计范围内发文总量的 6.01%。来自西班牙的作者 Martinez AT 在发文量和文章影响力方面遥遥领先, 发文量为 108 篇, 篇平均被引次数 66.71 次, *H* 指数为 47; 另一位西班牙的作者 Martinez MJ, 发文 65 篇, 排名第三。这两名西班牙的作者发文总量达到了西班牙国家发文总量的 41%。来自捷克的作者 Hammel KE 虽然发文量为 45 篇, 排名第八, 但发文量达到了所在国家的 37.10%, 篇平均被引次数排名第二, *H* 指数排名第四; 发文量排名第四的来自以色列的作者 Bayer

EA 发文量达到了其所在国家发文量的 42.61%, 说明这两名作者在其国家的影响力是极高的。

### 3.6 研究方向分析

在统计范围内, 发文量排名前十的研究方向如表 6 所示。在这 10 个学科领域中, 生物技术应用微生物学排名首位, 发文量为 3 110 篇, 占统计范围内发文总量的 32.72%, 其次为农业、微生物学、环境生态学、分子生物学等学科, 说明秸秆微生物降解研究更偏向于农业、微生物应用和环境科学的研究。从被引频次和 *H* 指数来看, 微生物学和生物技术应用方面更受读者的关注。

表 5 秸秆微生物降解发文量前十的作者

Table 5 Top 10 authors of straw degradation by microorganisms

排名	作者	国别	发文量(篇)	发文百分比 (%)	占该国发文百分比 (%)	总被引次数	篇平均被引次数	<i>H</i> 指数
Rank	Author	Country	Number of papers	Percentage (%)	Percentage of the country (%)	Total citations	Average citation of per paper	<i>H</i> index
1	Martinez AT	西班牙 Spain	108	1.14	25.36	7 205	66.71	47
2	Henrissat B	法国 France	70	0.74	13.15	6 665	95.21	35
3	Martinez MJ	西班牙 Spain	65	0.68	15.55	4 330	66.62	36
4	Bayer EA	以色列 Israel	52	0.55	42.61	2 054	39.50	25
5	Hatakka A	美国 The U.S.	48	0.51	2.51	3 200	66.67	27
6	Watanabe T	日本 Japan	48	0.51	6.38	1 292	26.92	21
7	Hofrichter M	德国 Germany	47	0.49	6.08	2 608	55.49	26
8	Hammel KE	捷克 Czech Republic	45	0.47	37.10	3 588	79.73	32
9	Baldrian P	美国 The U.S.	44	0.46	2.35	2 683	60.98	28
10	de Vries RP	荷兰 Netherlands	44	0.46	2.14	2 496	56.73	21

表 6 秸秆微生物降解发文量前十的研究方向

Table 6 Top 10 research directions of straw degradation by microorganisms

排名	研究方向	发文量(篇)	发文百分比 (%)	总被引次数	篇平均被引次数	<i>H</i> 指数
Rank	Research direction	Number of papers	Percentage (%)	Total citations	Average citation of per paper	<i>H</i> index
1	Biotechnology Applied Microbiology	3 110	32.72	103 842	33.38	127
2	Agriculture	1 839	19.35	52 458	28.53	95
3	Microbiology	1 740	18.30	73 059	41.99	116
4	Environmental Sciences Ecology	1 255	13.20	29 029	23.13	74
5	Biochemistry Molecular Biology	1 130	11.89	41 253	36.51	95
6	Chemistry	730	7.68	16 304	22.33	59
7	Energy Fuels	721	7.59	20 745	28.77	66
8	Engineering	517	5.44	10 760	20.81	50
9	Materials Science	486	5.11	7 337	15.10	42
10	Science Technology Other Topics	473	4.98	18 142	38.36	68

### 3.7 高被引文章分析

在统计范围内, 秸秆微生物降解研究被引总次数排名前十的文章见表 7。从国别来看, 有 3 篇来自美国, 2 篇来自英国, 德国、瑞典、丹麦、法国和荷兰各 1 篇, 再次说明了美国在秸秆微生物降解研究领域的地位。中国尚无文章在此行列。从发表的文章类型来看, 综述文章有 8 篇, 研究论文有 2 篇, 说明在秸秆微生物降解领域大多还是在收集整理相关的研究进展和方法经验, 为该领域更深入、更有针对性地研究打下理论基础。在这 10 篇高被引文章中, 被引次数最高的文章发表在 *Microbiology and Molecular Biology Reviews* 期刊,

17 年总被引次数高达 2 646 次, 该期刊近 5 年的影响因子为 18.72。来自美国的作者 Warnecke F 和 Dimitrios F 分别在 *Nature* 和 *Science* 杂志上发表文章, 这 2 个期刊近 5 年的影响因子分别为 45.819 和 43.644, 说明美国在秸秆微生物降解领域的研究有较重大的突破, 文章也有较高的影响力。

### 3.8 基于 VOSviewer 软件对秸秆微生物降解进行研究热点分析

将根据检索式在 WOS 上搜索到的全部 9 505 条信息导入 VOSviewer, 选取被引次数在 50 次以上的关键词节点, 筛选出符合要求的关键词共 277 个, 分别所属于 4 个聚类(图 3, 每一种

表 7 秸秆微生物降解被引频次排名前十的文章

Table 7 Top 10 articles on straw degradation by microorganisms

排名 Rank	文章名称 Article name	文章类型 Article type	作者 Author	国别 Country	发表年份 Year	总被引次数 Total citations	所属期刊 Journal	期刊近 5 年影响因子 Impact factor of past five years
1	Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology	综述 Review	Lynd LR	德国 Germany	2002	2 646	<i>Microbiology and Molecular Biology Reviews</i>	18.72
2	Enzymatic Combustion-The Microbial-Degradation of Lignin	综述 Review	Kirk TK	美国 The U.S.	1987	1 923	<i>Annual Review of Microbiology</i>	12.138
3	The Structure and Function of Fungal Laccases	综述 Review	Thurston CF	英国 England	1994	1 319	<i>Microbiology-SGM</i>	2.396
4	Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review	综述 Review	Tahezadeh MJ	瑞典 Sweden	2008	1 237	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>	4.331
5	Inhibition of Ethanol-Producing Yeast and Bacteria by Degradation Products Produced During Pre-Treatment of Biomass	综述 Review	Klinke HB	丹麦 Denmark	2004	920	<i>Applied Microbiology and Biotechnology</i>	3.889
6	The Biological Degradation of Cellulose	综述 Review	Beguin P	法国 France	1994	819	<i>Fems Microbiology Reviews</i>	15.734
7	Metagenomic and Functional Analysis of Hindgut Microbiota of A Wood-Feeding Higher Termite	研究论文 Article	Warnecke F	美国 The U.S.	2007	809	<i>Nature</i>	45.819
8	The Paleozoic Origin of Enzymatic Lignin Decomposition Reconstructed From 31 Fungal Genomes	研究论文 Article	Dimitrios F	美国 The U.S.	2012	757	<i>Science</i>	43.644
9	Living A Fungal World: Impact of Fungi on Soil Bacterial Niche Development	综述 Review	de Boer W	荷兰 Netherlands	2005	741	<i>Fems Microbiology Reviews</i>	15.734
10	Cellulases and Related Enzymes in Biotechnology	综述 Review	Bhat MK	英国 England	2000	693	<i>Biotechnology Advances</i>	13.769



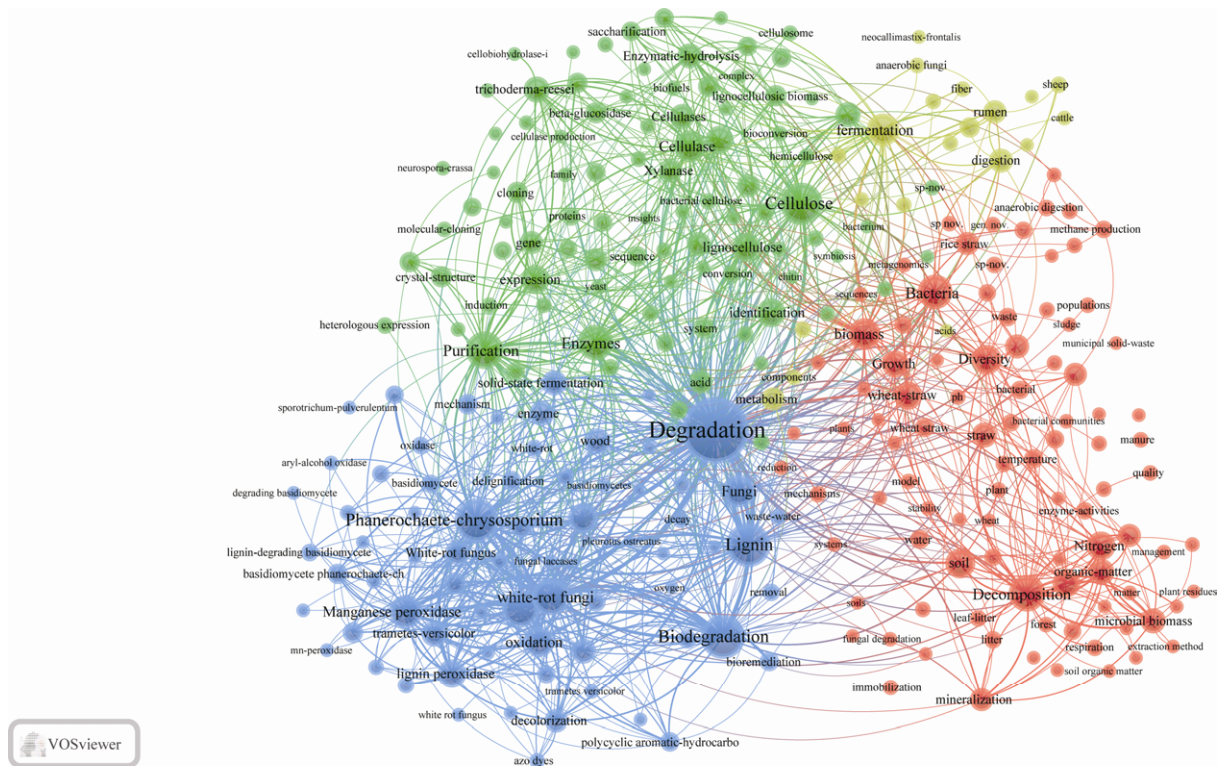


图3 关键词共现知识图谱

Figure 3 Key words co-occurrence knowledge map

颜色代表一种聚类)。聚类 1: 红色区域, 共包括 95 个节点, 以土壤微生物分解作用为主, 主要包括的关键词为分解、土壤、菌群、多样性、碳、氮、生物量等; 聚类 2: 绿色区域, 共包括 92 个节点, 以纤维素降解的基因、酶和蛋白的相互作用为主, 主要包括的关键词为纤维素、纤维素酶、纤维素降解、木质纤维素等; 聚类 3: 蓝色区域, 共包括 70 个节点, 以真菌木质素的生物降解为主, 主要包括的关键词为真菌、木质素、生物降解、漆酶、白腐真菌等; 聚类 4 黄色区域, 共包括 20 个节点, 以微生物的生长代谢为主, 主要包括的关键词为发酵、生长、代谢等。点的大小代表被引频次。

根据关键词共现分析结果, 得出的前 20 个高频关键词见表 8, 从表 8 中所列关键词可以看出, 该领域多集中在纤维素的生物降解、土壤真菌和酶分子等方面的研究。

表 8 秸秆微生物降解排名前 20 的关键词

Table 8 Top 20 keywords on straw degradation by microorganisms

序号	关键词	频次
Order	Key word	Frequency
1	Degradation	1 339
2	Lignin	977
3	Soil	940
4	Microbial	919
5	Cellulose	856
6	Production	851
7	Fungi	799
8	Rot	754
9	Fungus	740
10	Straw	676
11	Characterization	642
12	White	642
13	Fungal	555
14	Degrading	516
15	Effect	487
16	Enzymes	479
17	Phanerochaete	473
18	Bacterial	455
19	Wood	440
20	Chrysosporium	435

## 4 结论

本文通过利用 Web of Science 数据库中的 Science Citation Index Expanded 数据对秸秆微生物降解领域的相关文献进行检索, 并利用 VOSviewer 等分析工具对发文量、发文国家、发文期刊、发文机构等指标进行分析, 从中得出结论:

(1) 21 世纪(2000–2019 年)以来, 该领域发文数量呈逐渐上升趋势, 发文量从 2000 年的 2.21% 上升到 2019 年的 7.10%, 上升幅度为 4.89%, 这说明国际上越来越重视对秸秆微生物降解的研究。

(2) 在统计的 123 个国家中, 美国在秸秆微生物降解领域的发文量、总被引次数、篇平均被引次数和  $H$  指数均排名第一, 说明美国在秸秆微生物降解领域的研究处于领先地位, 并具有较高的影响力。

(3) 在统计的 123 个国家中, 中国在秸秆微生物降解领域的发文量排名第二, 但是篇平均被引次数和  $H$  指数较低, 说明我国在秸秆微生物降解领域具有一定的研究基础, 但影响力较低, 还需进一步提高研究水平。

(4) 在秸秆微生物降解领域发文前十的期刊中, 平均影响因子为 4.243, 说明关于该领域的研究还有更多可以挖掘的潜在研究价值。

综上所述, 我国在秸秆微生物降解领域的研究有着一定的实力和影响力, 并且具有巨大的科研潜力有待发掘, 秸秆微生物降解的研究越来越受到广大科研机构和科研人员的重视。今后我国应更加注重高水平论文的发表, 加强和其他高水平研究机构的合作, 带动我国在该领域研究实力的整体提升。

## REFERENCES

- [1] Monlau F, Sambusiti C, Barakat A, et al. Predictive models of biohydrogen and biomethane production based on the compositional and structural features of lignocellulosic materials[J]. Environmental Science & Technology, 2012, 46(21): 12217-12225
- [2] Wang RF, Zhang JW, Dong ST, et al. Present situation of maize straw resource utilization and its effect in main maize production regions of China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(6): 1504-1510 (in Chinese)  
王如芳, 张吉旺, 董树亭, 等. 我国玉米主产区秸秆资源利用现状及其效果[J]. 应用生态学报, 2011, 22(6): 1504-1510
- [3] Zhang K, Xu R, Abomohra AEF, et al. A sustainable approach for efficient conversion of lignin into biodiesel accompanied by biological pretreatment of corn straw[J]. Energy Conversion and Management, 2019, 199: 111928
- [4] Li LX, Li K, Wang K, et al. Efficient production of 2, 3-butanediol from corn stover hydrolysate by using a thermophilic *Bacillus licheniformis* strain[J]. Bioresource Technology, 2014, 170: 256-261
- [5] Adler PR, Sanderson MA, Weimer PJ, et al. Plant species composition and biofuel yields of conservation grasslands[J]. Ecological Applications, 2009, 19(8): 2202-2209
- [6] Alvira P, Tomás-Pejó E, Ballesteros M, et al. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: a review[J]. Bioresource Technology, 2010, 101(13): 4851-4861
- [7] Lin YS, Wang J, Wang XM, et al. Optimization of butanol production from corn straw hydrolysate by *Clostridium acetobutylicum* using response surface method[J]. Chinese Science Bulletin, 2011, 56(14): 1422-1428
- [8] Zhang ST, Lan X, Li Z, et al. Research progress of microbial degradation of corn straw[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2016, 38(5): 517-522 (in Chinese)  
张斯童, 兰雪, 李哲, 等. 微生物降解玉米秸秆的研究进展[J]. 吉林农业大学学报, 2016, 38(5): 517-522
- [9] Větrovský T, Steffen KT, Baldrian P, et al. Potential of cometabolic transformation of polysaccharides and lignin in lignocellulose by soil *Actinobacteria*[J]. PLoS One, 2014, 9(2): e89108
- [10] Wang C, Dong D, Wang HS, et al. Metagenomic analysis of microbial consortia enriched from compost: new insights into the role of Actinobacteria in lignocellulose decomposition[J]. Biotechnology for Biofuels, 2016, 9: 22
- [11] Han LJ, Yan QJ, Liu XY, et al. Straw resources and their utilization in China[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3): 87-91 (in Chinese)  
韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87-91
- [12] Ding N, Zhou YB, Ye Y. The Progress of the Studies on h-index and h-type Indices[J]. Document, Information & Knowledge, 2008(1): 72-77 (in Chinese)  
丁楠, 周英博, 叶鹰. h 指数和 h 型指数研究进展[J]. 图书情报知识, 2008(1): 72-77